

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE AVENUE FOCH

Avril-Décembre 2018

Novembre 2019





L'Observatoire de l'air en Île-de-France



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF D'AVENUE FOCH (STATION DE REFERENCE) RESULTATS D'AVRIL A DECEMBRE 2018

Novembre 2019

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

SYNTHESE

Un premier programme de partenariat entre la SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif était de mieux connaître et améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines. Dans ce cadre, des mesures ont été entreprises pour deux ans (septembre 2016 à août 2018) à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, quai A, direction Gare Austerlitz).

Un deuxième programme a été signé en juillet 2017 pour la réalisation de **mesures en continu en gare RER C d'Avenue Foch** à partir d'avril 2018 et pour une durée de deux ans. En parallèle, un autre site de référence est opérationnel en gare de Magenta (RER E), géré par l'Agence d'Essais Ferroviaires (AEF).

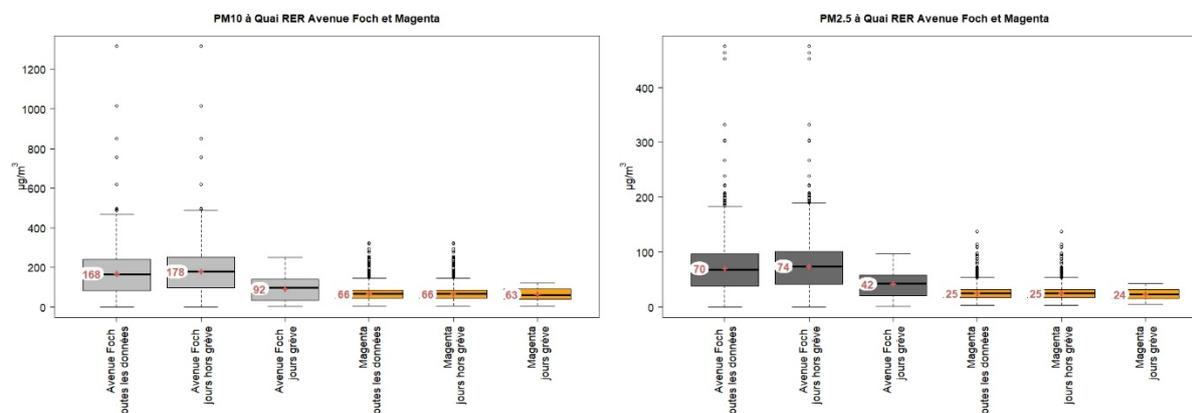
Les particules fines (PM_{10}) et très fines ($PM_{2.5}$) ont été suivies, ainsi que les métaux et les oxydes d'azote (NO et NO_2).

Le présent rapport présente les résultats des mesures enregistrées en 2018.

Les principaux résultats en particules

Les teneurs en particules fines PM_{10} mesurées sur les quais du RER C en gare d'Avenue Foch, entre avril et décembre 2018, sont en moyenne de $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le maximum horaire atteint étant de $1318 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (enregistré le 12 avril entre 2 et 3h).

Les niveaux moyens en particules très fines $PM_{2.5}$ atteignent $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la même période, pour un maximum horaire de $476 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (atteint au même moment que pour les PM_{10}).



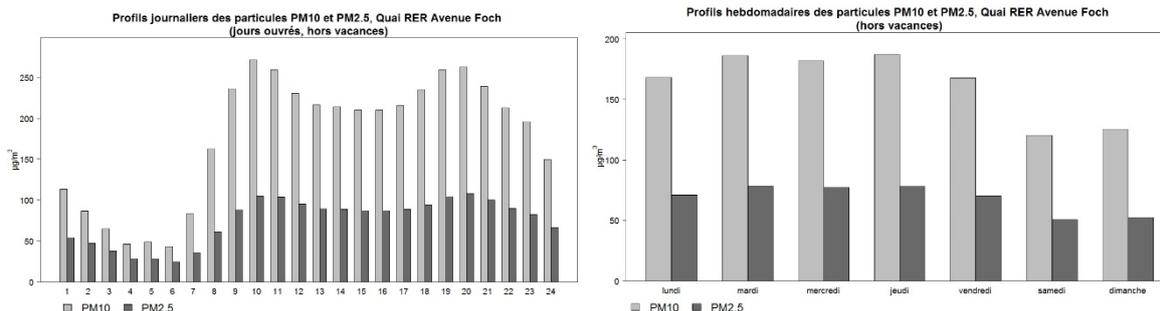
Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Magenta ? Les niveaux moyens en PM_{10} et $PM_{2.5}$ sont largement supérieurs à ceux de la station de référence Magenta (respectivement de 74 et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enregistrés sur la même période).

Ce résultat s'explique essentiellement par la configuration différente des deux gares : gare récente, avec de grands volumes et un système de ventilation en place (favorisant l'évacuation de la pollution aux particules) à Magenta, la gare d'Avenue Foch étant plus ancienne, plus petite et avec une ventilation naturelle.

Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle mensuelle, hebdomadaire, horaire) ?

Les variations temporelles sont fortement liées au nombre de trains RER en circulation, qui fluctue fortement au cours de la journée.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, ceci pour les PM₁₀ (- 31 %) et les PM_{2.5} (- 32 %), en lien avec la baisse de fréquentation et de trafic le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).

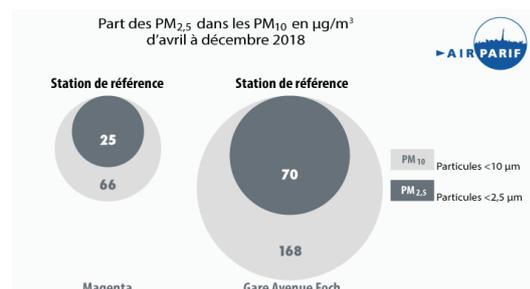


Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes sont les plus faibles, avec en moyenne 61 µg/m³ en PM₁₀ et 35 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales le matin vers 9-12h et le soir (19-21h). Les concentrations dépassent alors 254 µg/m³ en moyenne en PM₁₀ et 100 µg/m³ en PM_{2.5}.

Les concentrations sont plus importantes en service commercial que sur une journée de 24h, de l'ordre de 12 % pour les PM₁₀ et 10 % pour les PM_{2.5}.

Ratio PM_{2.5}/PM₁₀ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ sur les quais de la gare RER C d'Avenue Foch est en moyenne de 0,47, comparable à celui enregistré à Magenta (0,41). Les ratios varient peu à l'échelle mensuelle ou hebdomadaire. Le profil journalier montre des ratios stables en journée (0,42 entre 7h et 24h), et en hausse la nuit (autour de 0,6), conformément avec l'émission de particules plus grossières liée à la circulation des trains.



Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ?

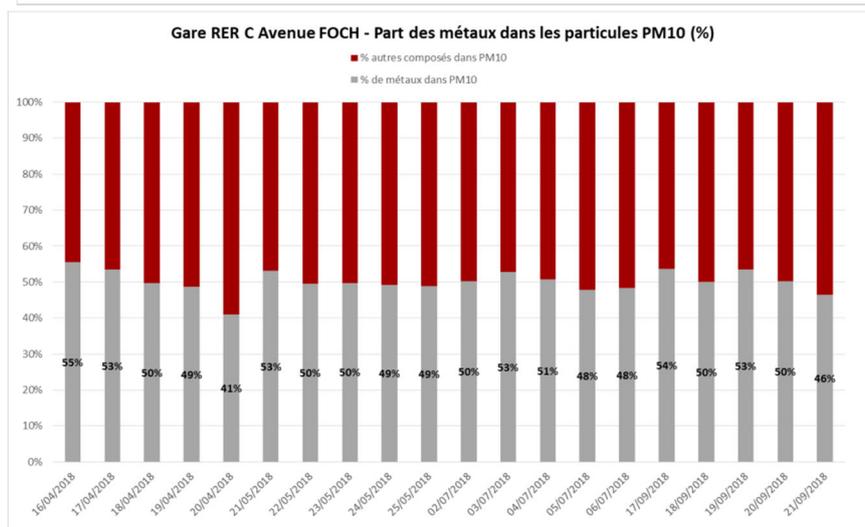
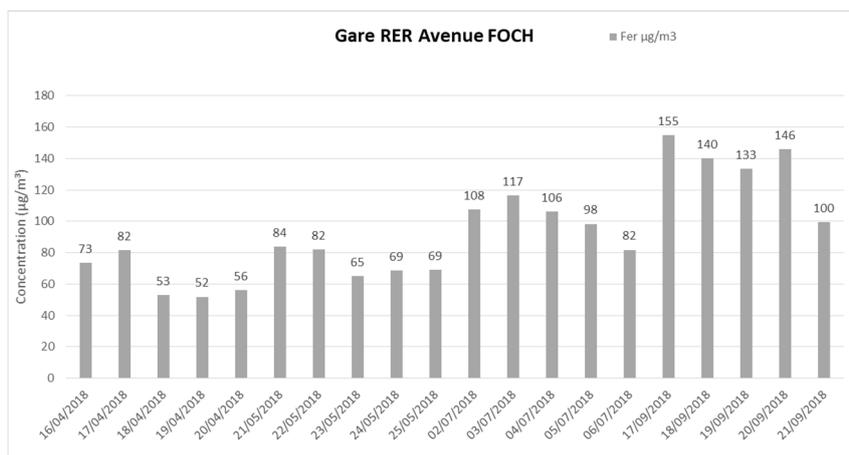
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 41 à 55 % sur les 20 journées de mesure réalisées entre avril et décembre 2018. Elle est en moyenne de 50%.

Quelle est la répartition entre les onze métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Avenue Foch. Suivent ensuite l'**Aluminium** (1.1 %), le **Zinc** (0.9 %), le **Manganèse** (0.8 %), le **Cuivre** (0.7 %) et le **Chrome** (0.4 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et Nickel sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

Est-ce que la part des métaux est variable dans le temps ?

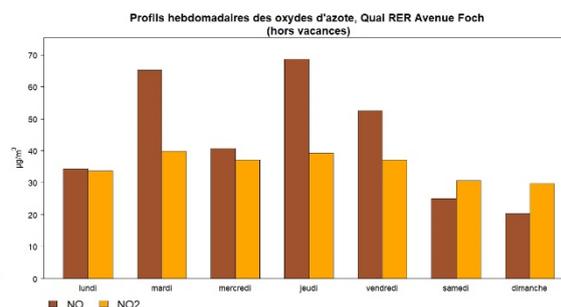
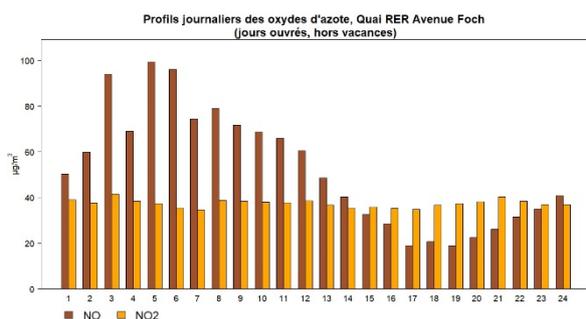
Les relevés journaliers des métaux sont variables selon les jours de mesures, en lien avec les niveaux de particules en gare. Les relevés journaliers du mois de septembre présentent des teneurs plus importantes. La part des métaux dans les particules est relativement constante sur l'ensemble de la période de mesure



Les principaux résultats des autres composés suivis : oxydes d'azote (NO et NO₂)

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C d'Avenue Foch est de 38 µg/m³ en NO (entre avril et octobre 2018) et 35 µg/m³ pour le NO₂.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, de l'ordre de -50 % pour le NO et de façon plus limitée pour le NO₂ avec une diminution de -18 %, en partie en lien avec l'absence de travaux le week-end.



Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes sont les plus forts, avec en moyenne 81 µg/m³ en NO et 39 µg/m³ en NO₂. Cela correspond à la période des travaux de maintenance réalisés sur le réseau souterrain, voire uniquement à des passages de trains à locomotive diesel. Contrairement aux particules, les variations temporelles en NO_x ne sont pas liées à la circulation des trains commerciaux. Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée : en moyenne la teneur en NO entre 6 et 23h est de 47 µg/m³ et celle de NO₂ avoisine 37 µg/m³.

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions plus importantes en NO qu'en NO₂. Le mois présentant les teneurs en NO₂ les plus faibles est le mois de décembre 2018.

Quels sont les principaux facteurs d'influence des concentrations observées sur les quais ?

- **Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules sur le quai**, aussi bien en particules fines PM₁₀ que très fines PM_{2,5}, d'où des maxima observés aux heures de pointe les jours ouvrés.
- Les niveaux en CO₂, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules illustrant les heures de pointe en gare d'Avenue Foch.
- L'impact de l'air extérieur sur les d'oxydes d'azote sur les quais de la gare a été mis en avant, notamment lors de fortes concentrations en air extérieur. Pour les particules PM₁₀, l'influence de l'air extérieur est négligeable par rapport aux teneurs observées sur les quais.
- L'impact de la ventilation n'a pas pu être étudié en gare d'Avenue Foch, car elle n'est pas mise en place dans cette gare. La comparaison avec les résultats en gare de Magenta montre toutefois que c'est un paramètre important sur les concentrations observées sur les quais. L'existence d'un système de ventilation dans la gare permet de réduire les niveaux de particules en gare.

SOMMAIRE

SYNTHESE	4
SOMMAIRE	8
GLOSSAIRE	9
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS	10
1. DESCRIPTION DE LA STATION DE REFERENCE AVENUE FOCH.....	12
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	12
1.2 PERIODE DE MESURE	13
2. NIVEAUX DE POLLANTS RENCONTRES DANS LA GARE	14
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI : PM ₁₀ , PM _{2.5} ET NO _x (MESURES AUTOMATIQUES)	14
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	16
2.1.2. PARTICULES PM _{2.5}	17
2.1.3. OXYDES D'AZOTE (NO _x)	18
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM ₁₀ , PM _{2.5} ET NO _x	20
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE	20
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	21
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	28
2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE	31
2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL	33
2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	36
2.3.1. NIVEAUX MOYENS	36
2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	37
2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	38
2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE.....	39
2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL.....	40
2.4 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	41
2.4.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	41
2.4.2. REPARTITION DES METAUX.....	43
2.4.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	44
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	46
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	46
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	48
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	49
4. CONCLUSION	52
ANNEXE	53

GLOSSAIRE

µg/m³ micro gramme par mètre cube

ng/m³ nano gramme par mètre cube

Percentile un centile est chacune des 99 valeurs qui divisent les données triées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon de population

JOB : Jour Ouvré de Base (mardi, mercredi, jeudi)

AEF : Agence d'Essais Ferroviaires. L'AEF participe à l'homologation de matériel ferroviaire (aspect sécurité et environnement des transports), à l'amélioration de l'environnement aux alentours des emprises ferroviaires (qualité de l'air, bruit) et au développement d'outils à l'usage de ses clients (WIFI, géolocalisation, etc.).

CO₂ Dioxyde de carbone

NO Monoxyde d'azote

NO₂ Dioxyde d'azote

NO_x (NO+NO₂) Oxydes d'azote

PM₁₀ Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

PM_{2.5} Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

FDMS Filter Dynamics Measurement System : méthode de mesure des particules intégrant la partie volatile.

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

Les résultats présentés dans ce rapport sont à l'heure locale. La mesure de l'heure H représente la teneur observée entre H-1 et H.

Airparif est l'Observatoire indépendant de la qualité de l'air (association loi 1901) en Ile-de-France. Conformément à la Loi sur l'Air et l'utilisation rationnelle de l'Energie, Airparif rassemble les différents acteurs impliqués dans les enjeux atmosphériques et susceptibles d'agir pour son amélioration. Les quatre collègues qui la composent (Etat, collectivités, acteurs économiques, milieu associatif et personnalités qualifiées) assurent son interaction avec les attentes de la société et lui garantissent indépendance et transparence dans ses orientations et ses activités.

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

- **Surveiller** par une combinaison technologique (modélisation, stations, émissions) permettant de renseigner 7 millions de points toutes les heures en Ile-de-France ;
- **Comprendre** la pollution atmosphérique et ses impacts en lien avec le climat, l'énergie et l'exposition des personnes ; prévoir la qualité de l'air au jour le jour, les épisodes de pollution et les évolutions futures ;
- **Accompagner** les décideurs dans l'amélioration de la qualité de l'air sur leur territoire, favoriser la concertation, informer les autorités, les médias et le public.

Airparif est agréée par le Ministère de l'Environnement. **Pour garantir la qualité et la fiabilité de ses résultats, ses activités sont certifiées ISO 9001 par l'AFAQ et accréditées ISO/CEI 17025 Section Laboratoires par l'AFNOR.**

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Un programme de partenariat entre SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif est de mieux connaître et d'améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

Ce programme s'inscrit dans le cadre du renforcement de la surveillance de la qualité de l'air intérieur, prévu par le Grenelle de l'environnement¹, afin de mieux documenter les niveaux et comprendre les facteurs d'influence. Aucun décret d'application spécifique aux enceintes souterraines ferroviaires n'est paru à ce jour et il n'existe pas de normes en vigueur dans ces espaces.

L'objectif de ce programme est de documenter finement les niveaux de particules dans les gares franciliennes souterraines exploitées par la SNCF, afin de faciliter la construction de plans d'amélioration et la priorisation des travaux afférents.

Pendant 2 ans, 23 gares franciliennes souterraines ou mixtes ont été, à tour de rôle, équipées d'une station de mesure de la qualité de l'air. Dans chaque gare ont été mesurées en continu pendant 3 semaines les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5}. S'ajoutent également des mesures de métaux, dont certains sont des traceurs du trafic ferroviaire : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Chrome (Cr). Enfin, les paramètres de confort (CO₂, Humidité et Température) ont été suivis. Les mesures ont été réalisées sur le quai de la gare. Dans le cadre du partenariat, les mesures dans 16 gares ont été assurées par Airparif, les 7 autres gares étant étudiées par AEF².

En parallèle, deux **stations de référence** mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E)³, gérée par AEF et la station Avenue Foch (RER C), gérée par Airparif, qui remplace celle initialement installée à Saint-Michel-Notre-Dame. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2,5}). Des relevés réguliers de métaux y sont également réalisés. Ces deux stations de référence ont été choisies pour leurs caractéristiques différentes : Magenta est une station récente, avec une ventilation contrôlée, alors que la gare Avenue Foch est une station plus ancienne, sans ventilation mécanique.

Par ailleurs, la station Avenue Foch mesure également les oxydes d'azote (NO_x). Il s'agit de polluants issus principalement de l'air extérieur, pour lesquels les niveaux sont problématiques en Ile-de-France, et qui peuvent contaminer les enceintes ferroviaires souterraines, comme tous les bâtiments ayant des ouvertures sur l'extérieur.

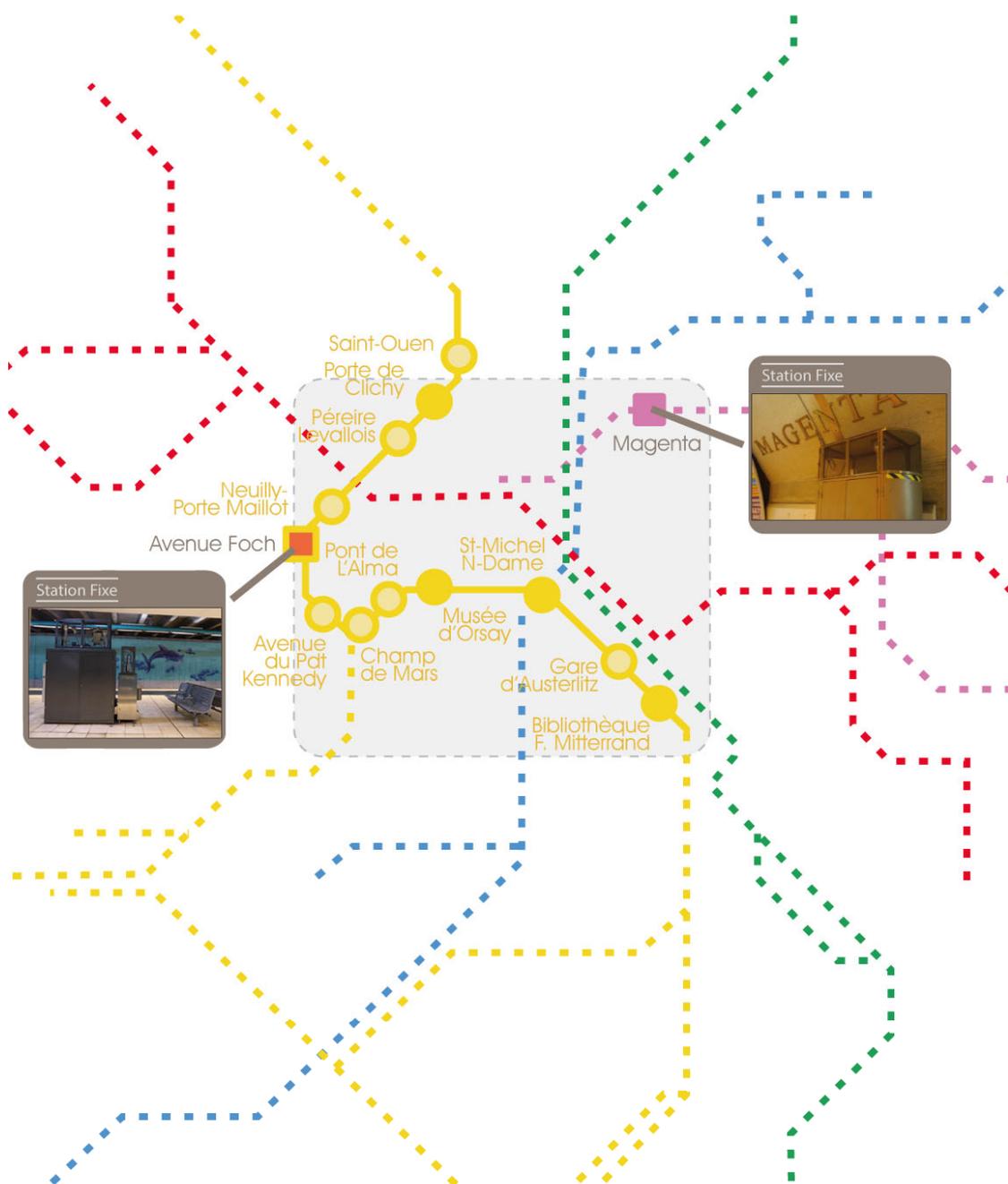
Ce rapport présente les résultats à la station de référence d'Avenue Foch en 2018 (entre avril et décembre 2018).

La figure suivante illustre la localisation des deux stations permanentes sur cette période.

¹ Article 180 de la loi 2010-788 du 12/07/2010 qui impose une surveillance de la qualité de l'air intérieur pour le propriétaire ou l'exploitant des Etablissements Recevant du Public (ERP) déterminé par décret en conseil d'Etat. A ce jour, seuls les ERP recevant des personnes dites sensibles ont bénéficié d'un décret d'application (crèches, écoles).

² AEF : Agence d'Essais Ferroviaires, Laboratoire d'Essais de la SNCF.

³ Détails sur la station de Magenta : <http://www.iseo.fr/sncf/rapports/DOC047931-00.signed.pdf>.



Lignes de RER : **A** **B** **C** **D** **E**

Types de gare : ● souterraine ● mixte : souterraine et aérienne

Paris intra muros □



Figure 1 - Localisation des deux stations fixes (Magenta et Avenue Foch).

1. DESCRIPTION DE LA STATION DE REFERENCE AVENUE FOCH

1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare d'Avenue Foch, sur le RER C (Pontoise/Versailles Château/Saint-Quentin-en-Yvelines – Saint-Martin d'Etampes/Dourdan la Forêt/Massy-Palaiseau) est instrumentée depuis avril 2018.

Elle sert de station de référence, à laquelle sont comparées les gares faisant l'objet de campagnes de mesure de durée plus réduite (3 semaines) en 2018, en remplacement de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Elle permet également de réaliser un suivi à moyen terme des niveaux de pollution sur le quai.

Cette gare est de configuration simple, c'est-à-dire sans correspondances. Elle est située au 85, avenue Foch, à Paris (XVI^{ème}).

La gare RER est souterraine, de faible profondeur (niveau -1). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place mais une ventilation naturelle. Le quai se trouve au niveau -1.

Tous les éléments techniques détaillés sur la gare (matériel roulant, etc.) sont présentés en ANNEXE 1.

Le nombre de voyageurs montant en gare d'Avenue Foch (RER C) est de 1 820 par jour (source SNCF : carte des montants 2016). C'est l'une des gares RER franciliennes les moins fréquentées.

Le nombre de trains circulant par jour en gare d'Avenue Foch (2 sens confondus) est de 170 les jours ouvrés (jours JOB), 143 les samedis et 145 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la période de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai central comme illustré à la Figure 2.

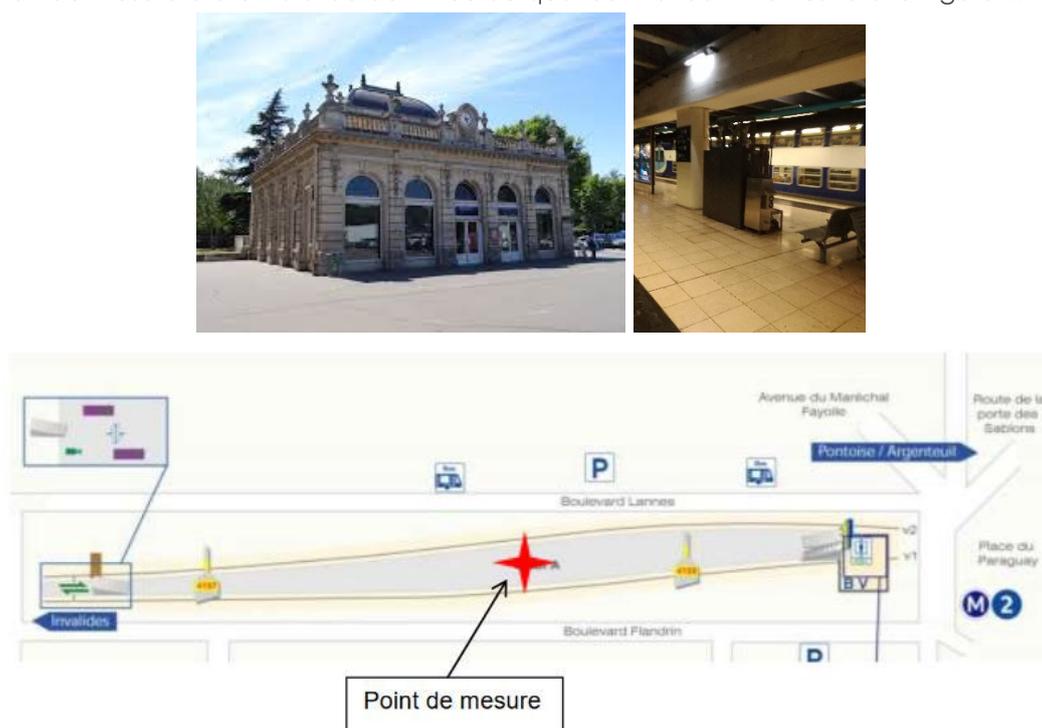


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare d'Avenue Foch, ligne RER C, quai central) et photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare

Les détails sur les indicateurs de pollution retenus, les appareils de mesure mis en œuvre et la qualité des résultats, sont présentés en ANNEXE 2.

Pour rappel, des mesures de particules PM₁₀, PM_{2,5}, de métaux et d'oxydes d'azote (NO et NO₂) ont également été réalisés dans cette gare. Les paramètres de confort complètent le dispositif de mesure avec des relevés en CO₂, humidité et température.

Des informations détaillées sur le site instrumenté dans la gare de Magenta, géré par AEF, sont disponibles dans les bilans annuels de cette gare³.

1.2 PERIODE DE MESURE

La gare d'Avenue Foch a été choisie comme gare de référence en remplacement de la gare Saint-Michel-Notre-Dame, victime d'inondations en janvier 2018. Les mesures de pollution atmosphérique y sont réalisées en continu à partir d'**avril 2018 et pour une durée de deux ans**.

Des travaux de nuit ont régulièrement été réalisés sur la partie de la ligne C au nord de la gare d'Avenue Foch.

De plus, un **mouvement de grève** au sein de la SNCF a perturbé le trafic ferroviaire sur la ligne du RER C de 3 avril au 28 juin, à raison de 2 jours de grève tous les cinq jours. Ce mouvement de grève s'est traduit par une perturbation de la circulation des trains plus ou moins importante selon les jours.

Le présent rapport traite des mesures réalisées en 2018, entre avril et décembre, à l'exception des mesures d'oxydes d'azote, valides jusqu'au 26 octobre seulement⁴.

⁴ Les données de NO et NO₂ ont été invalidées pour un problème technique du 26/10/2018 jusqu'au 01/03/2019.

2. NIVEAUX DE POLLANTS RENCONTRES DANS LA GARE

Ce paragraphe propose une analyse des données : présentation statistique sur la période étudiée et évolution temporelle des relevés à l'échelle horaire, journalière et mensuelle, pour les particules et les oxydes d'azote, ainsi que la teneur en métaux dans les particules PM₁₀.

Les niveaux observés sur le quai de la gare d'Avenue Foch sont comparés aux observations sur les quais de la deuxième station de référence située à Magenta, pendant la même période.

2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI : PM₁₀, PM_{2.5} et NOx (mesures automatiques)

Les principaux résultats (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans les tableaux suivants, pour la gare d'Avenue Foch et pour Magenta sur la même période (12/04/2018 – 31/12/2018).

Sur la période d'avril à juin, des grèves ont perturbé la circulation des trains et la fréquentation de la gare, rendant cette période non représentative d'une situation classique.

Aussi les statistiques présentent d'une part les résultats globaux sur toute la période (cf. Tableau 1) et d'autre part, les résultats uniquement hors grève représentatives de la situation habituelle (cf. Tableau 2).

Du 12/04 au 31/12/18	PM ₁₀ (particules fines)		PM _{2.5} (particules très fines)		NO (monoxyde d'azote)	NO ₂ (dioxyde d'azote)
	Avenue Foch	Magenta	Avenue Foch	Magenta	Avenue Foch	Avenue Foch
Statistiques (µg/m ³)						
Minimum horaire	0	5	0	3	2	13
Percentile 25 (P25)	83	45	38	18	8	26
Médiane ou Percentile 50	165	68	68	25	14	32
Moyenne	168	66	70	25	38	35
Percentile 75 (P75)	241	87	97	32	32	40
Maximum horaire	1318	324	476	137	1467	329
% de données horaires valides	90	79	90	79	91	91

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires aux stations de référence Avenue Foch et Magenta, période du 12/04 au 31/12/2018.

Le niveau moyen en PM₁₀ relevé en gare d'Avenue Foch (période 12/04/2018 au 31/12/2018) est de 168 µg/m³. Il est largement supérieur au niveau moyen relevé en gare de référence de Magenta (66 µg/m³ en moyenne sur la même période). L'ensemble des paramètres statistiques en gare d'Avenue Foch sont supérieurs à ceux de Magenta.

Le niveau moyen en PM_{2.5} à la gare d'Avenue Foch (70 µg/m³) est également plus élevé que celui de la gare de Magenta (25 µg/m³), comme tous les autres paramètres statistiques.

Concernant les polluants gazeux, le niveau moyen en NO₂ relevé en gare d'Avenue Foch (période 12/04/2018 au 26/10/2018) est de 35 µg/m³, celui en NO est de 38 µg/m³. A titre de comparaison sur la même période, une moyenne de 32 µg/m³ en NO₂ (et 10 µg/m³ en NO) a été enregistrée à la station de Neuilly-sur-Seine⁵ caractérisant l'air extérieur en situation de fond. A proximité du trafic routier, Avenue des Champs-Élysées (Paris 8^{ème}), la moyenne atteint 46 µg/m³ en NO₂ (et 40 µg/m³ en NO) compte tenu de l'influence des émissions du trafic routier

La période d'avril à juin a été perturbée par le mouvement de grèves. Le Tableau 2 présente les niveaux observés sur la période de mesure, hors jours de grève.

Hors jours de grève	PM ₁₀ (particules fines)		PM _{2.5} (particules très fines)		NO (monoxyde d'azote)	NO ₂ (dioxyde d'azote)
	Avenue Foch	Magenta	Avenue Foch	Magenta	Avenue Foch	Avenue Foch
Statistiques (µg/m ³)						
Minimum horaire	0	5	0	3	2	13
Percentile 25 (P25)	96	46	42	18	8	27
Médiane ou Percentile 50	180	68	73	25	14	33
Moyenne	178	66	74	25	40	36
Percentile 75 (P75)	253	86	101	32	34	40
Maximum horaire	1318	324	476	137	1467	329
% de données horaires valides	91	82	91	82	90	90

Tableau 2– Statistiques des relevés horaires aux stations de référence Avenue Foch et Magenta, période du 12/04 au 31/12/2018, hors jours de grève.

Les concentrations moyennes en particules fines PM₁₀ et très fines PM_{2.5} ainsi que la concentration moyenne en NO sont légèrement supérieures lorsque les jours de grèves ne sont pas pris en compte. Cela s'explique par la diminution du nombre de trains lors des jours de grèves.

⁵ Neuilly-sur-Seine : 11 Rue du Commandant Pilot Neuilly-sur-Seine

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la gare RER C d'Avenue Foch ainsi qu'à la station de référence Magenta, est présentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches sur toute la période de mesure, hors jours de grève et lors des jours de grève.

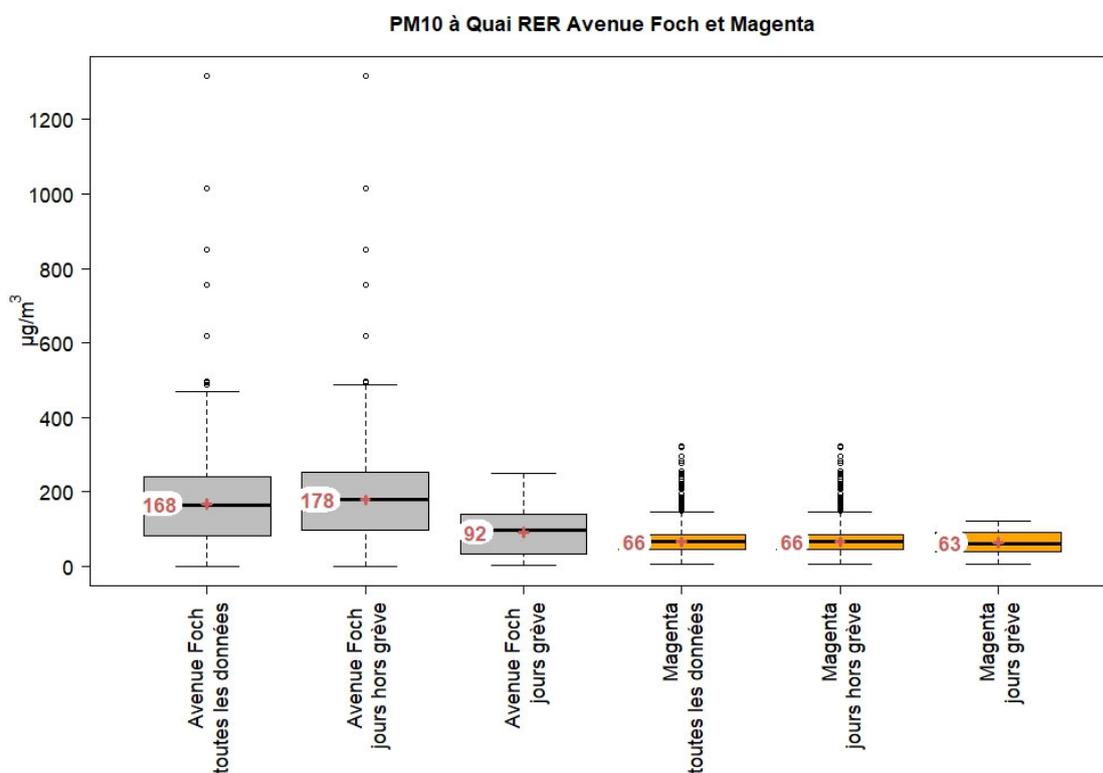


Figure 3 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM₁₀ (en µg/m³) à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de Magenta, période du 12/04 au 31/12/2018.

Les boîtes à moustaches permettent de comparer facilement plusieurs grandeurs statistiques. Cette représentation graphique de la distribution d'une variable met en exergue les premier et troisième quartiles, qui sont les bordures inférieure et supérieure de la boîte rectangulaire. La boîte rectangulaire contient 50% des données. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane (50% des données sont inférieures, les 50% restantes sont supérieures), et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en gare RER C d'Avenue Foch montre une répartition « équilibrée⁶ » des mesures, avec toutefois des maxima horaires isolés (« valeurs atypiques ») élevés. En considérant toutes les données, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 83 et 241 µg/m³, pour une moyenne de 168 µg/m³ (médiane légèrement inférieure à 165 µg/m³). Le maximum atteint à Avenue Foch est de 1318 µg/m³, enregistré le jeudi 12 avril 2018 entre 2 et 3h.

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles d'Avenue Foch, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre de comparaison, les relevés horaires en gare de Magenta, sur la même période, présentent une moyenne de 66 µg/m³ avec 50% des données comprises entre 45 et 87 µg/m³. Le maximum horaire enregistré atteint 324 µg/m³ (le mercredi 24 octobre 2018 entre 19h et 20h).

⁶ Répartition équilibrée : la taille des moustaches (différence entre valeur minimale et percentile 25, et entre percentile 75 et valeur maximale hors valeur(s) aberrante(s)) présente un ordre de grandeur cohérent par rapport à la « boîte » (différence entre percentile 25 et percentile 75), ou encore la moyenne et la médiane sont présentes dans la boîte.

Le nombre de train circulant dans les deux gares est très différent, avec en moyenne 170 trains par jour ouvré à la gare RER C d'Avenue Foch et 432 trains circulant à Magenta. Le nombre de voyageurs entre ces gares est par conséquent très différent avec environ 78 200 voyageurs par jour montant à Magenta, contre plus de 1 800 à la gare d'Avenue Foch (source SNCF : carte des montants 2016). Ces paramètres ne peuvent ainsi pas expliquer la différence de concentrations en particules entre les deux gares.

La différence de niveaux entre les gares d'Avenue Foch et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare d'Avenue Foch alors qu'elle est mécanique à Magenta. La gare de Magenta est également plus grande et spacieuse que la gare d'Avenue Foch, d'où un volume de mélange plus important favorisant des teneurs plus faibles.

La concentration moyenne en particules PM₁₀ est plus faible lors des jours de grèves, ce qui s'explique par la diminution du nombre de trains en période de grève. Toutefois, la diminution du nombre de trains lors de la période de grève engendre une baisse des teneurs moyennes de PM₁₀ plus importante en gare d'Avenue Foch (de 178 à 92 µg/m³) qu'en gare de Magenta (de 66 à 63 µg/m³).

2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

La boîte à moustaches des concentrations horaires en PM_{2.5} relevées à la gare RER C d'Avenue Foch est présentée Figure 4, ainsi que celle des relevés de Magenta sur toute la période de mesure, hors jours de grève et lors des jours de grève.

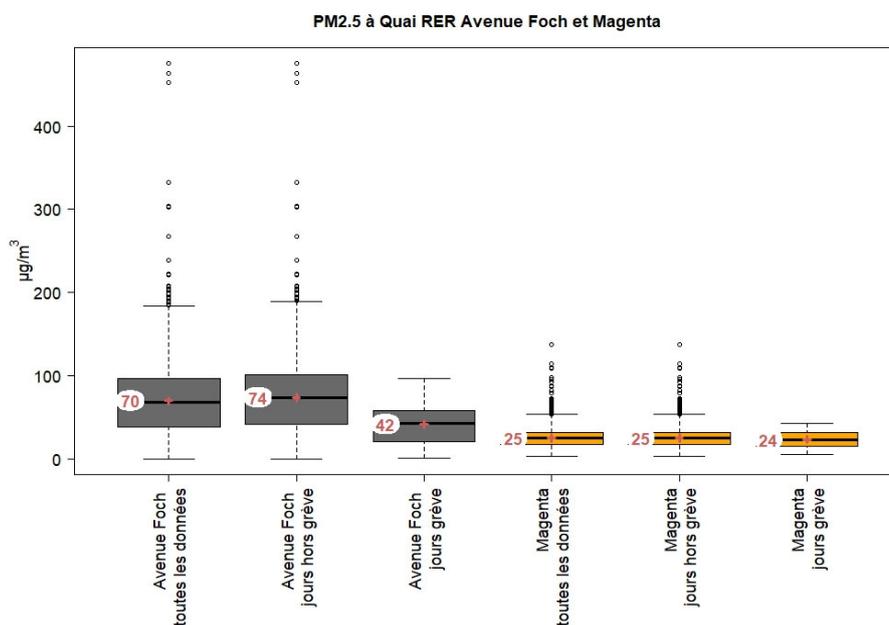


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2.5} (en µg/m³) à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de Magenta, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

La boîte à moustaches sur l'ensemble de la période de mesure montre une moyenne en PM_{2.5} de 70 µg/m³ en gare d'Avenue Foch, contre 25 µg/m³ à Magenta. Comme pour les PM₁₀, on note de nombreuses valeurs atypiques dont les concentrations maximales peuvent être supérieures à 400 µg/m³. Des valeurs atypiques sont également mesurées à Magenta sans toutefois atteindre de telles concentrations. 50% des données sont comprises entre 38 et 97 µg/m³ à Avenue Foch, alors que les niveaux plus faibles enregistrés à Magenta sont pour moitié compris entre 18 et 32 µg/m³ à Magenta.

Le maximum atteint à Avenue Foch ($476 \mu\text{g}/\text{m}^3$) a été enregistré le jeudi 12 avril 2018 entre 2 et 3h en même temps que le maximum en particules PM_{10} . A Magenta, il a atteint $137 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le mercredi 24 octobre 2018 entre 19 et 20h en même temps que le maximum en PM_{10} .

Comme pour les particules PM_{10} , les teneurs en particules $\text{PM}_{2,5}$ sont plus faibles les jours de grèves avec une influence plus marquée à la gare d'Avenue Foch.

2.1.3. OXYDES D'AZOTE (NO_x)

Les boîtes à moustaches des concentrations horaires en NO_x (NO et NO_2) relevées à la gare RER C d'Avenue Foch sont présentées à la Figure 5. Aucune comparaison avec d'autres relevés n'est possible, les NO_x n'étant pas suivis à la station de Magenta.

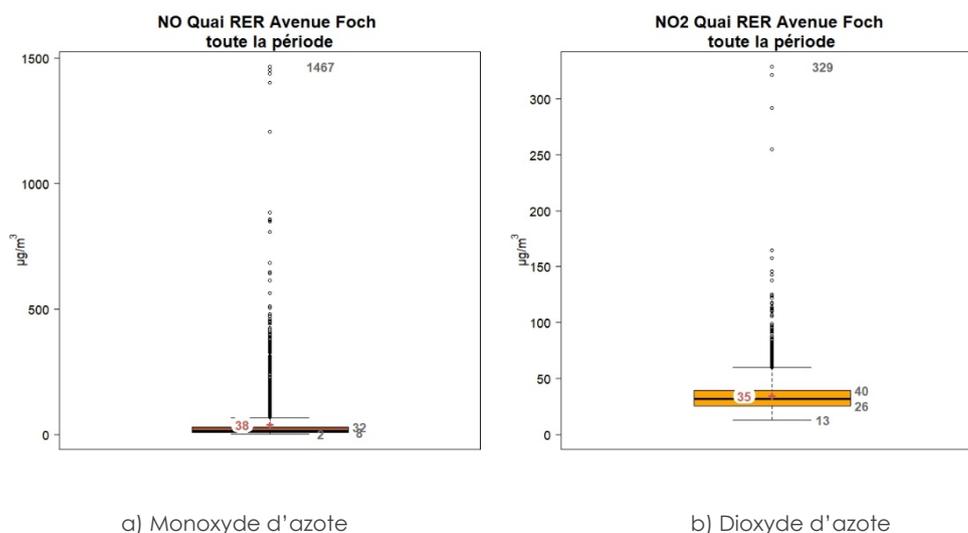


Figure 5 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en (a) NO et (b) NO_2 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la Gare RER C d'Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 26/10/2018.

Les deux boîtes à moustaches montrent de nombreuses valeurs atypiques élevées, en lien avec les sources (circulation de trains diesel nocturnes pour les travaux de maintenance). 50 % des données horaires relevées en NO sont comprises entre 8 et $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour une moyenne de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une médiane à $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concernant le dioxyde d'azote, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 26 et $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour une moyenne de $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une médiane à $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Faute de mesure dans une autre gare souterraine et étant donné la source principale du NO_2 dans ces espaces (principalement l'air extérieur, en dehors des travaux nocturnes réalisés en gare), les niveaux en air extérieur en situation de fond sont fournis à titre de comparaison. A la station urbaine de fond Neuilly-sur-Seine (située au 11, rue du Commandant Pilot, à Neuilly-sur-Seine et à environ 1.1 km de la gare d'Avenue Foch), les niveaux moyens en NO_2 sur la même période sont de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$. A proximité du trafic routier, Avenue des Champs Elysées (Paris 8^{ème}, situé à environ 2.7 km de la gare d'Avenue Foch), la moyenne atteint $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en NO_2 . La localisation des stations de mesure de la qualité de l'air extérieur en situation de fond (Neuilly-sur-Seine) et à proximité du trafic routier (Champs Elysées) est présentée à la Figure 6.

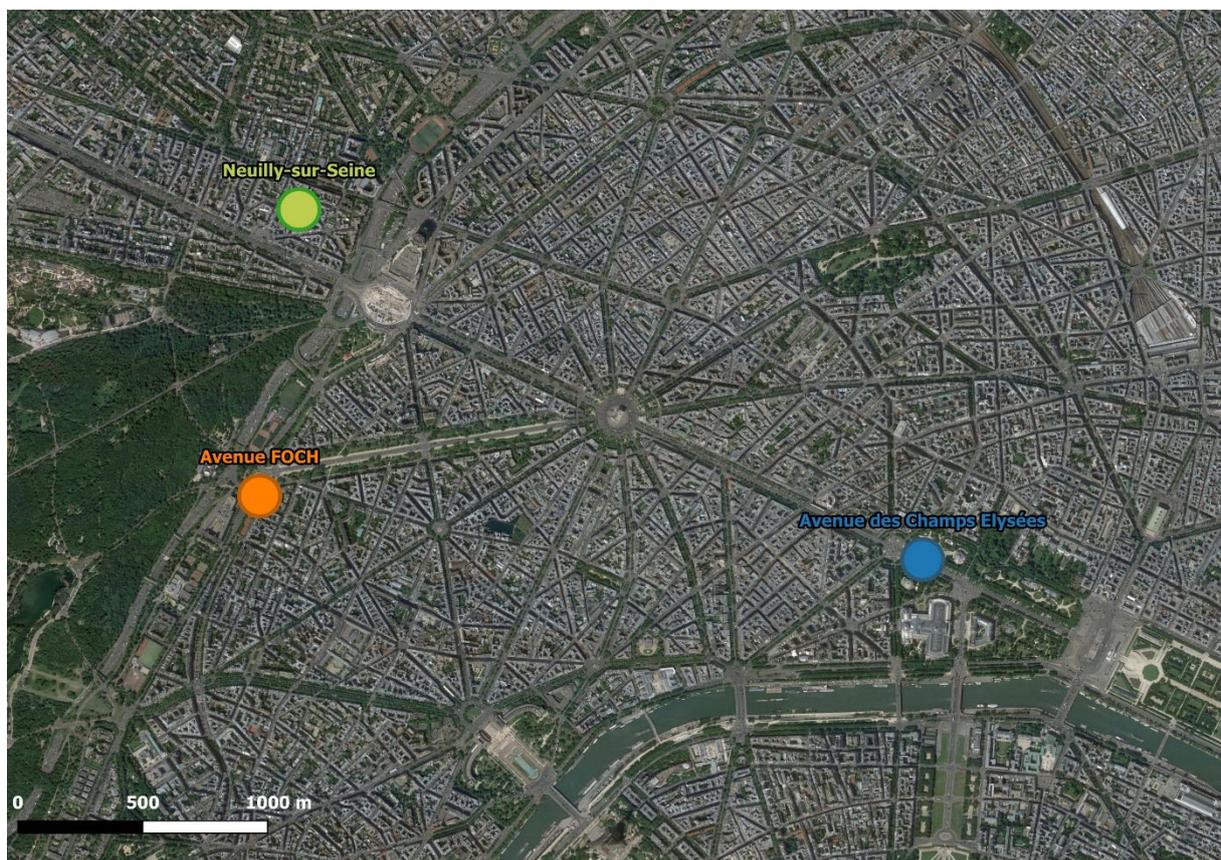


Figure 6 – Localisation de la gare d'Avenue Foch et des deux stations de mesures d'Airparif situées à Neuilly-sur-Seine (fond) et Avenue des Champs Elysées (trafic).

La teneur moyenne relevée sur le quai de la gare RER C d'Avenue Foch est de $168 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM_{10} et $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $\text{PM}_{2.5}$. Ces niveaux moyens en particules (PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$) sont supérieurs à ceux de la station de référence Magenta (niveaux moyens respectivement de $66 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$)

La teneur moyenne relevée sur le quai de la gare RER C d'Avenue Foch est de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO et $35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 . Ces niveaux moyens sont cependant très influencés par des teneurs ponctuellement très élevées mesurées lors de travaux (hors période d'ouverture au public).

2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM₁₀, PM_{2.5} et NO_x

2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE

2.2.1.1. PARTICULES PM₁₀

Les relevés horaires en particules PM₁₀ aux stations Avenue Foch et Magenta sont présentés à la Figure 7.

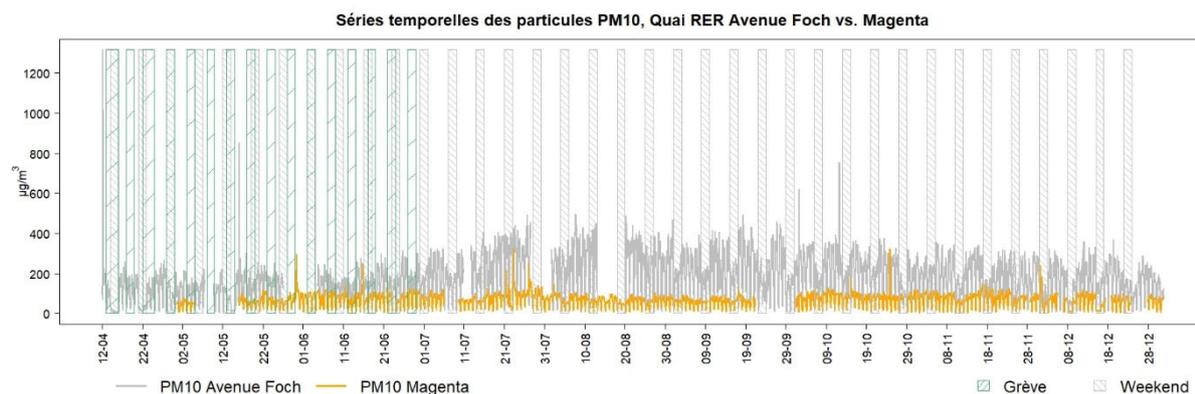


Figure 7 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ : gare RER C d'Avenue Foch et gare de Magenta, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Le graphique montre des teneurs maximales horaires relativement homogènes sur la période, à l'exception de certains pics. Des niveaux moins importants ont été enregistrés du mois d'avril au mois de juin 2018, en lien avec les différentes grèves, qui impliquent des baisses du trafic ferroviaire. Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 280 µg/m³. Sur l'ensemble de la campagne, 72 relevés horaires non consécutifs sont supérieures à 400 µg/m³. Ces valeurs élevées sont principalement observées entre 17 et 21h. De la même façon, les teneurs maximales horaires à Magenta sont stables sur l'année, avec quelques pics atypiques n'excédant pas 400 µg/m³.

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

Les relevés horaires en PM_{2.5} aux stations Avenue Foch et Magenta sont présentés à la Figure 8.

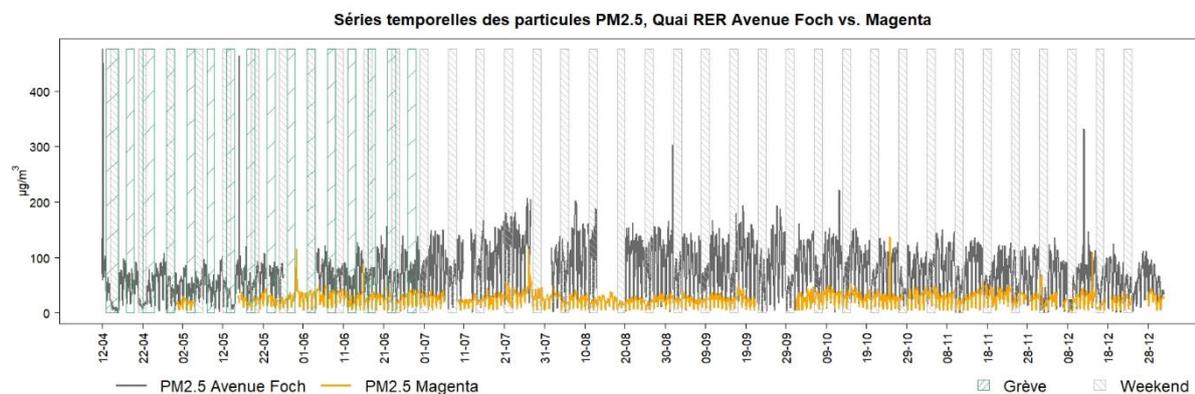


Figure 8 – Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ : gare RER C d'Avenue Foch et gare de Magenta, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Le graphique montre des teneurs maximales horaires relativement homogènes sur l'année avec toutefois quelques pics atypiques. Le maximum horaire à Avenue Foch a été enregistré au début de la campagne avec 476 µg/m³ (enregistré le 12 Avril entre 2 et 3h, comme le maximum horaire en PM₁₀).

Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Très ponctuellement, des teneurs (14 heures, soit 0.2% des relevés disponibles) supérieures à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été mesurées.

A Magenta, les teneurs maximales horaires sont stables sur l'année, à l'exception de quelques pics supérieurs à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le maxima horaire enregistré est de 137 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (le 24 octobre 2018 entre 19h et 20h), soit en même temps que le maximum horaire en PM_{10} .

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la gare RER C d'Avenue Foch avec celle des relevés de la station de Magenta montre des profils temporels similaires, les concentrations étant beaucoup plus faibles à Magenta.

2.2.1.3. OXYDES D'AZOTE NOx

Les relevés horaires en NO_x , présentés en Figure 9, montrent des fluctuations simultanées pour le NO et le NO_2 , cela s'expliquant par les mêmes sources d'émissions pour ces deux composés.

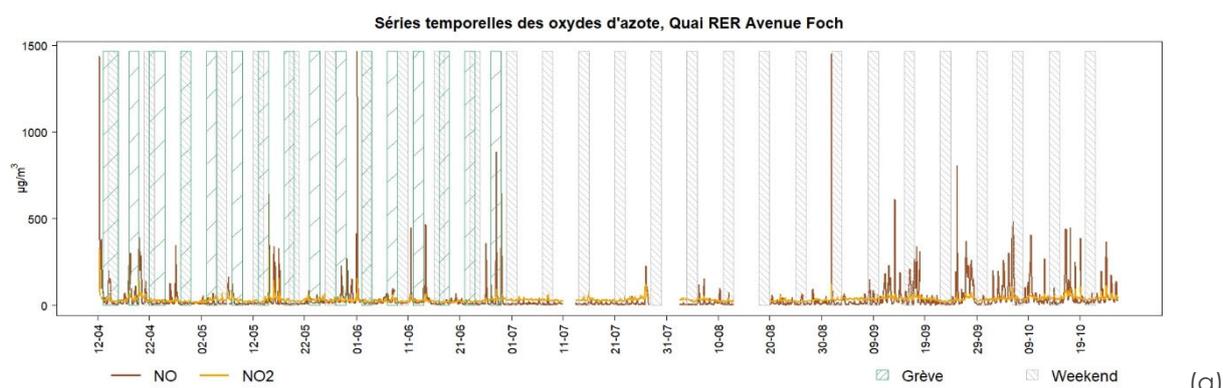


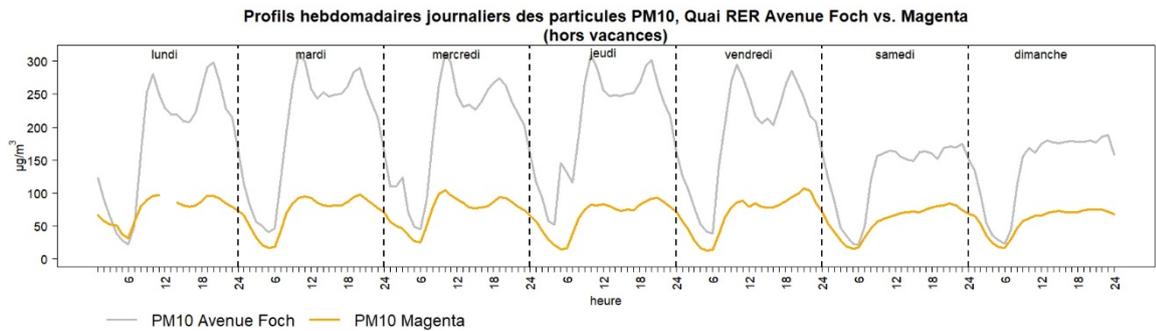
Figure 9 – Evolution des relevés horaires en NO_x , en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018. (a)

A l'exception de quelques pics, les teneurs en NO et NO_2 sont relativement homogènes sur l'ensemble de la période. 0.1 % des relevés horaires en NO dépassent 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valeurs enregistrées entre 21h et 6h. Pour le NO_2 , les niveaux les plus élevés sont mesurés simultanément aux teneurs les plus élevées de NO. Les niveaux les plus élevés de NO_2 peuvent atteindre ponctuellement 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (0.6 % des relevés horaires en NO_2 dépassent les 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

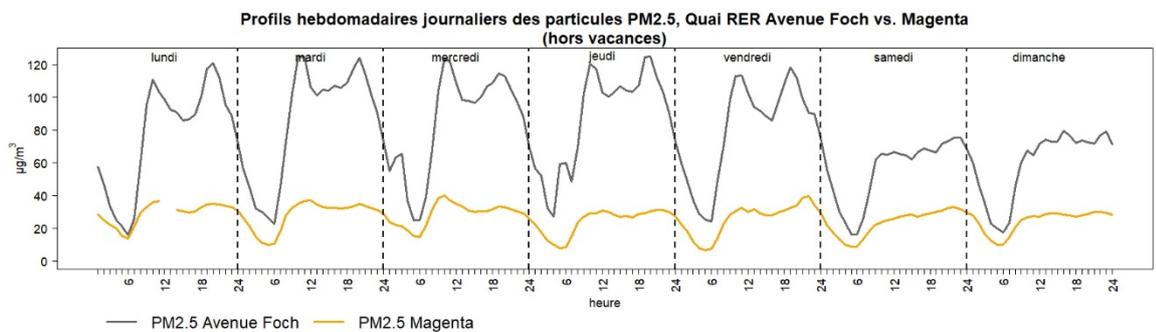
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

2.2.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

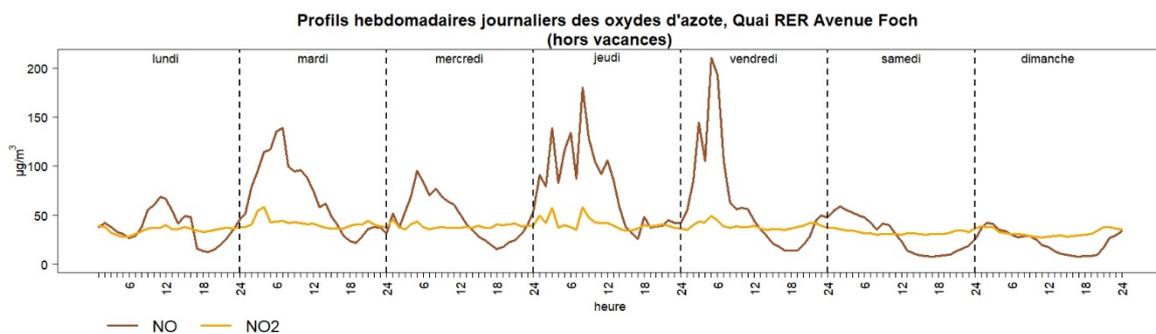
Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne de l'ensemble des mesures, hors vacances scolaires de l'Île-de-France sur toute la période et hors jours de grèves) est présenté en Figure 10.



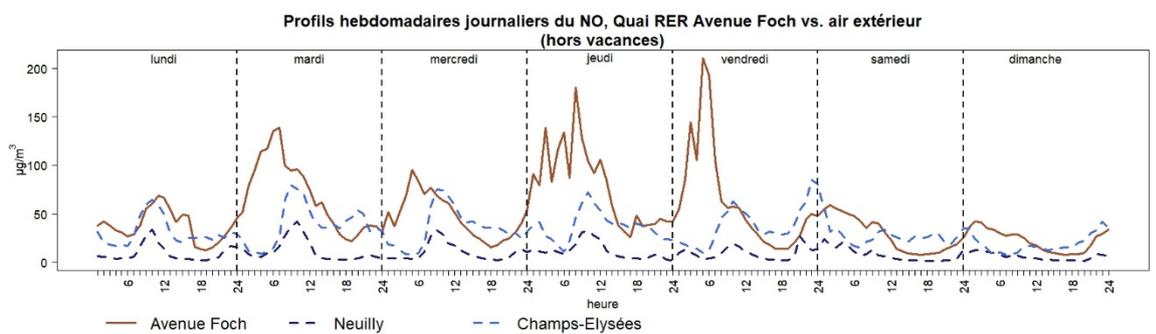
(a)



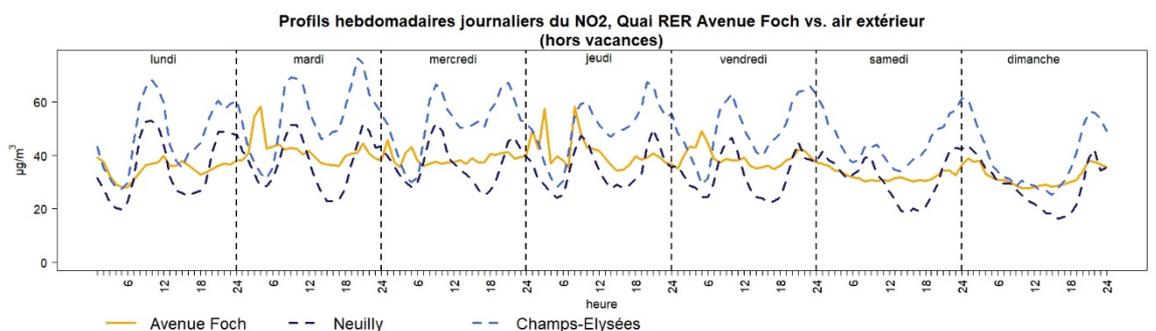
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 10 – Évolution des profils horaires en PM_{2.5} et PM₁₀ à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta (a, b) et évolution des profils horaires en NO et NO₂ à Avenue Foch et en air extérieur (c à e), période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Les graphiques a et b traitent des résultats pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}, aussi bien en gare RER C d'Avenue Foch que de Magenta. Les variations montrent des fluctuations les jours ouvrés entre les niveaux plus faibles la nuit et la hausse des teneurs en journée avec les maxima aux heures de pointe du trafic ferroviaire. Des niveaux plus faibles sont mesurés les samedis et dimanches, avec également des concentrations plus stables que celles observées les jours ouvrés (profil sans heures de pointes). De plus, du lundi au jeudi, une faible remontée nocturne des concentrations horaires est observée avant 6h.

Les jours ouvrés comme les week-ends, la nuit comme le jour, les niveaux mesurés à Avenue Foch sont systématiquement plus élevés qu'à Magenta.

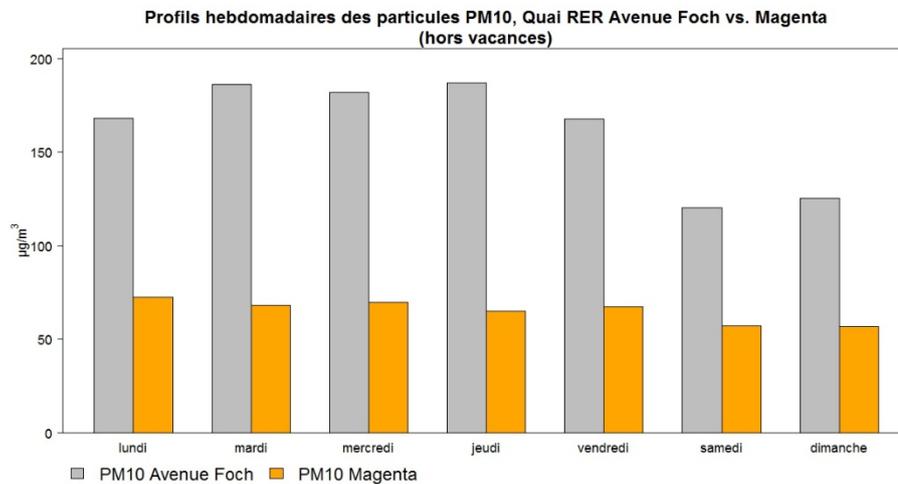
Le profil des NO_x (c) est très différent de celui des particules : les niveaux les plus faibles sont enregistrés en fin de journée, ainsi que les week-ends. Les maxima sont observés la nuit, aux alentours de 6h, plus particulièrement les nuits entre lundi/mardi, mercredi/jeudi et jeudi/vendredi. La comparaison avec les teneurs en extérieur montre également un profil différent pour les NO_x en gare d'Avenue Foch. Les profils horaires au sein de la gare sont en lien avec les sources d'émissions, à savoir la circulation de trains diesel utilisés pour les travaux, réalisée en périodes nocturnes.

Cette comparaison met toutefois en avant un léger impact de l'air extérieur, le matin en heure de pointe de trafic routier, sur les concentrations de NO. En effet, les hausses de NO mesurées les jours ouvrés en matinée dans l'air ambiant extérieur (principalement à proximité du trafic routier, et de façon plus atténuée en situation de fond) ralentissent la diminution des teneurs en NO générées sur le quai de la gare d'Avenue Foch par les travaux nocturnes. Cela n'est toutefois pas observé sur les teneurs en NO₂.

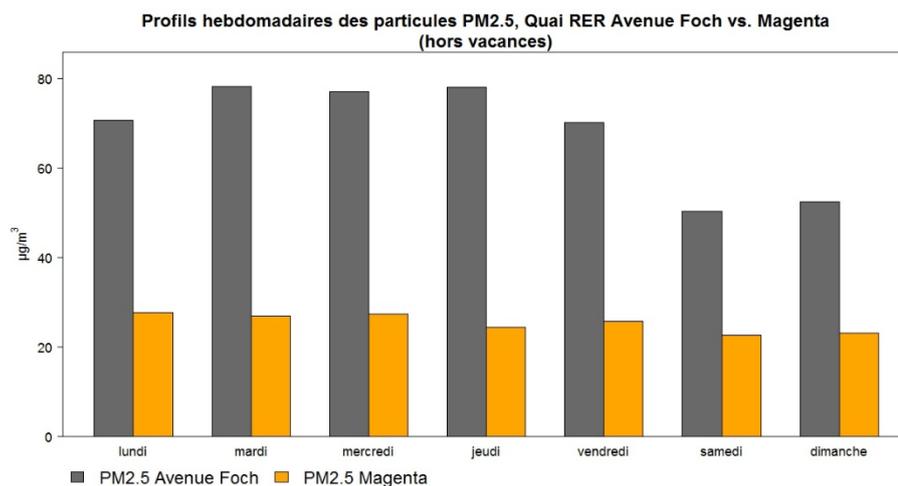
2.2.2.2. ZOOM SUR LES VARIATIONS JOURNALIERES SUR UNE SEMAINE

Les profils hebdomadaires à la gare RER C d'Avenue Foch sont présentés à la Figure 11 pour les PM₁₀ (a), les PM_{2.5} (b) et les NO_x (c). Pour les particules, les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à ceux de la gare de Magenta (hors périodes de vacances scolaires).

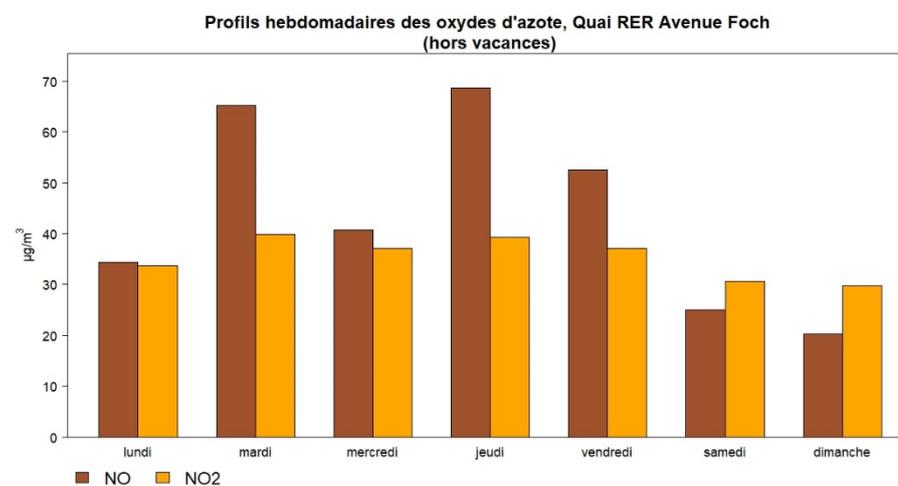
Une comparaison entre les résultats en période commerciale et en période nocturne est présentée au paragraphe 2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL.



(a)



(b)



(c)

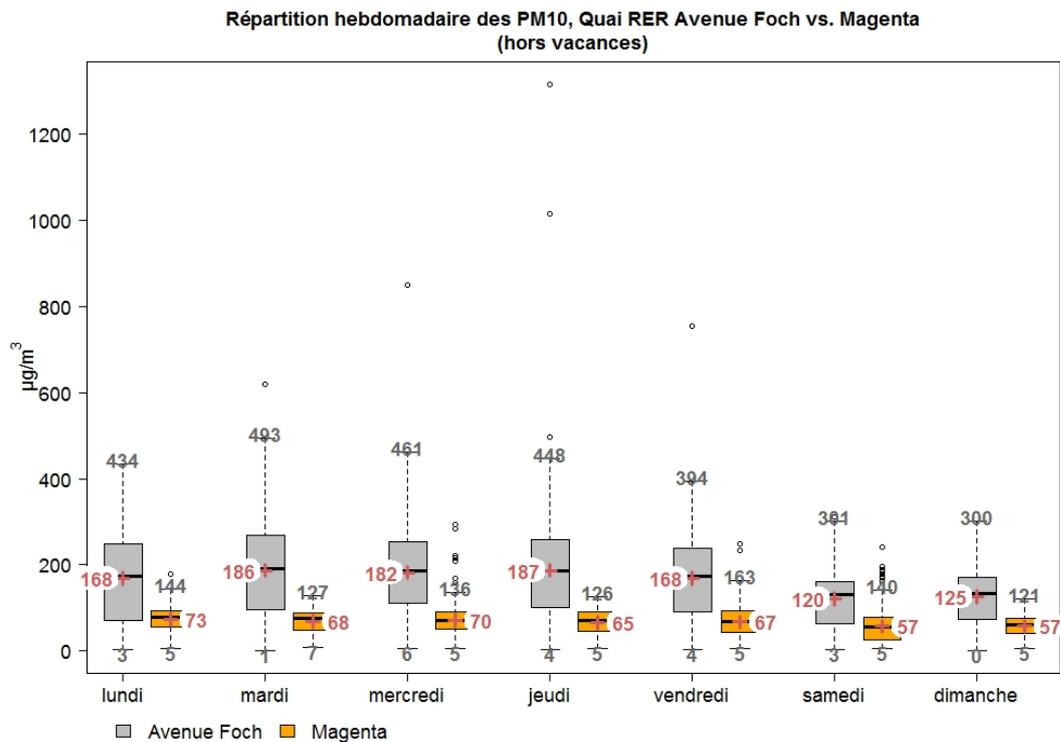
Figure 11 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) et à la gare RER C d'Avenue Foch et de Magenta, évolution des profils hebdomadaires en NO et NO₂ (c) à Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018 (hors vacances scolaires).

Les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés : autour de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une journée pour les PM_{10} et 75 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne pour les $\text{PM}_{2.5}$.

Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés, de l'ordre de 30 % pour les PM_{10} et les $\text{PM}_{2.5}$. Cette différence s'explique par la diminution du nombre de trains le week-end par rapport aux jours ouvrés, facteur d'influence sur les PM_{10} et dans une moindre mesure, sur les $\text{PM}_{2.5}$ (cf. 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

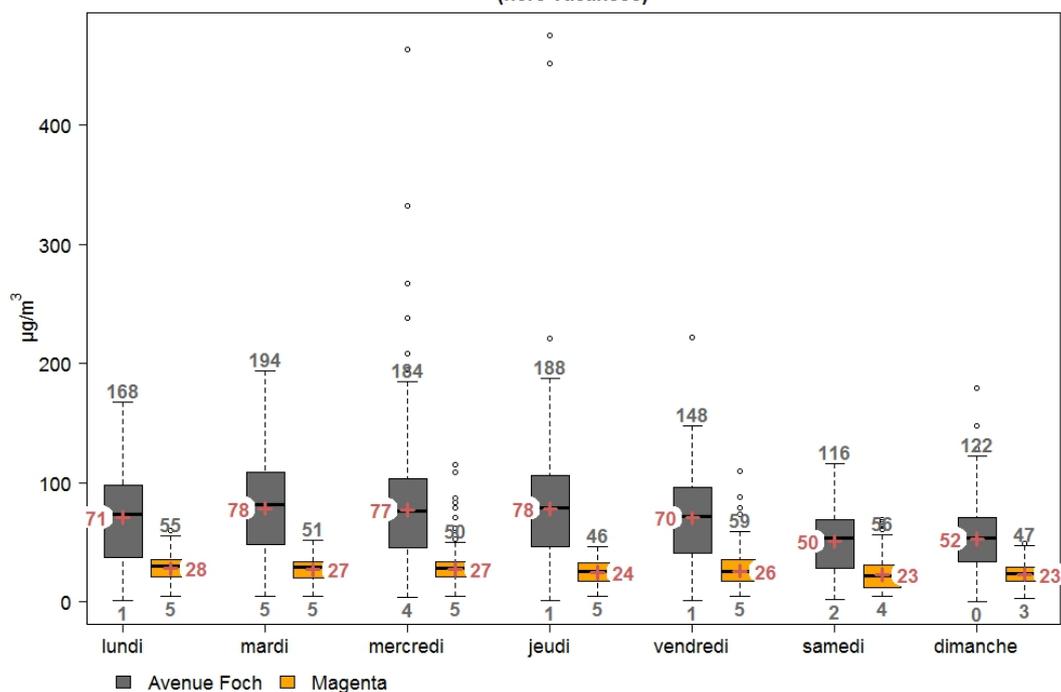
Des résultats similaires sont observés en gare de Magenta, mais dans des proportions moindres : la diminution des teneurs en PM_{10} le week-end par rapport à la semaine est de 17 % et 13 % pour les $\text{PM}_{2.5}$.

La Figure 12 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en particules fines PM_{10} et très fines $\text{PM}_{2.5}$, aussi bien en gare d'Avenue Foch qu'à Magenta. Pour chacun des polluants et chacune des gares, les dispersions des niveaux horaires pour les jours ouvrés sont relativement stables. La dispersion des niveaux de particules PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ est cependant plus faible à la station Magenta. L'impact des travaux nocturnes les jours ouvrés se retrouve sur les teneurs maximales (maximum horaire, mais également valeur de la moustache haute (cf. ANNEXE 2).



(a)

Répartition hebdomadaire des PM_{2.5}, Quai RER Avenue Foch vs. Magenta (hors vacances)

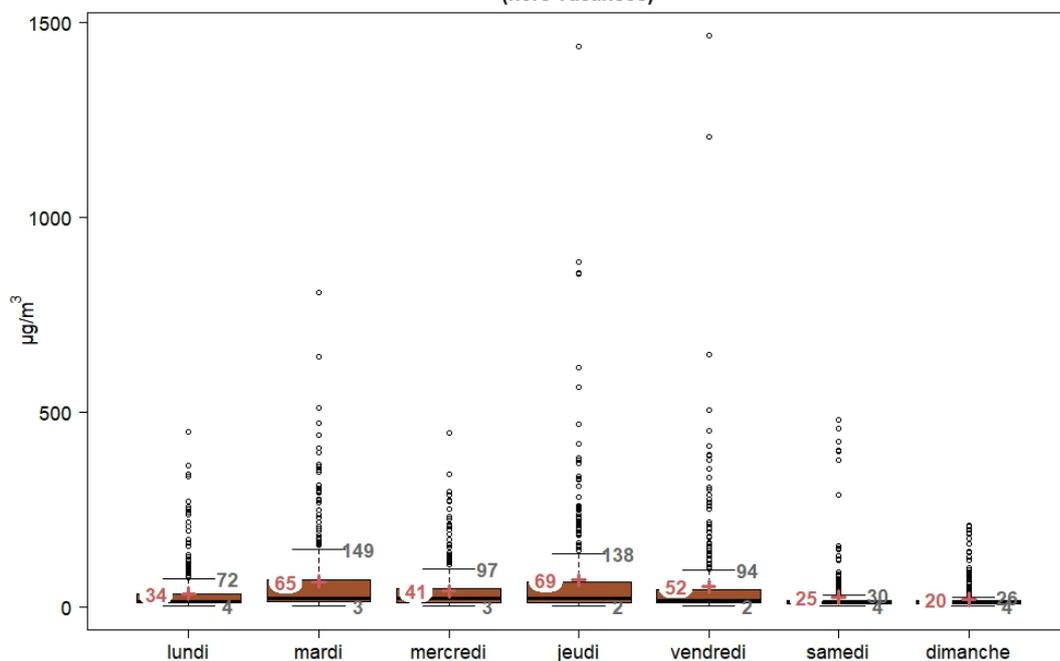


(b)

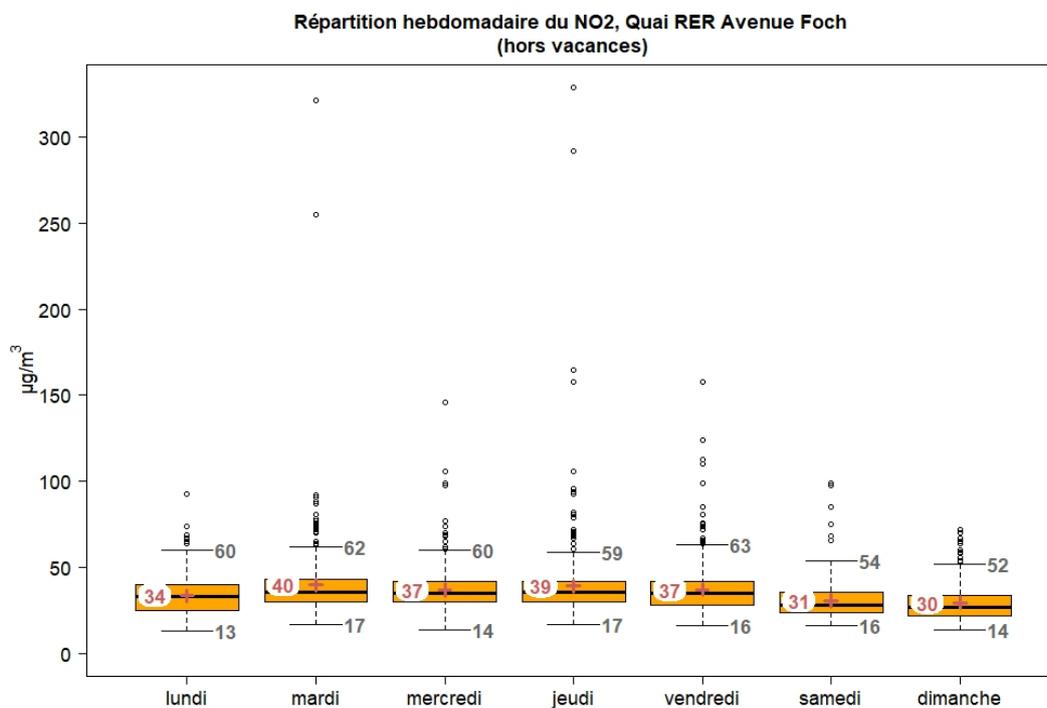
Figure 12 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C d'Avenue Foch et de Magenta, période du 12/04/2018 au 31/12/2018 (hors vacances scolaires).

Concernant les NO_x, la Figure 13 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en NO et en NO₂, en gare d'Avenue Foch (hors vacances scolaires).

Répartition hebdomadaire du NO, Quai RER Avenue Foch (hors vacances)



(a)



(b)

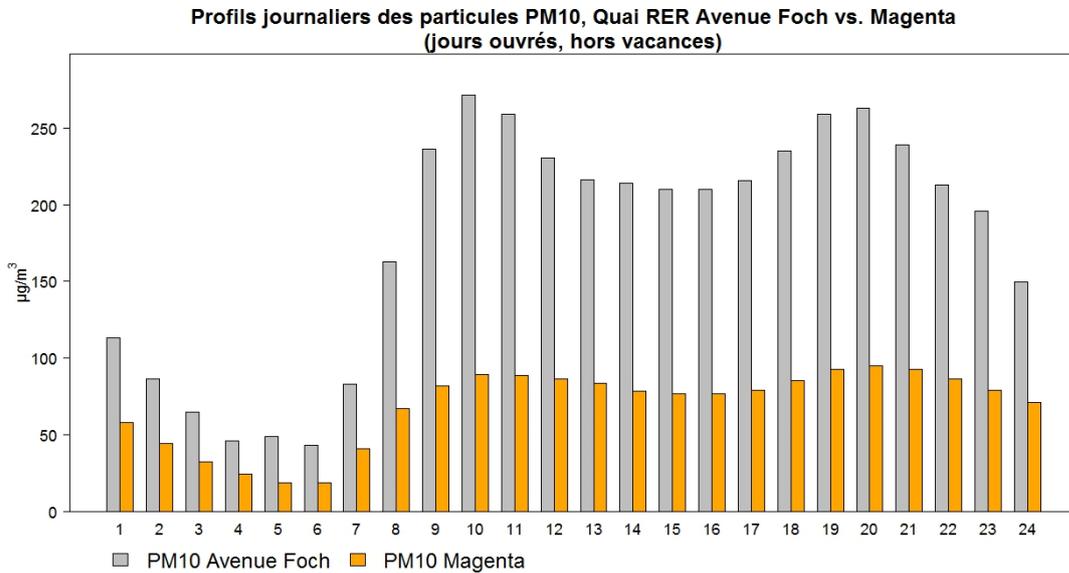
Figure 13 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en NO (a) et NO₂ (b) à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 26/10/2018 (hors vacances scolaires).

Les teneurs moyennes les jours ouvrés sont également supérieures aux concentrations relevées les week-ends, les travaux nocturnes ayant lieu du lundi au jeudi. Ainsi, les niveaux moyens en NO baissent d'environ 60 % les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés. Pour le NO₂, polluant secondaire et par conséquent moins impacté par la pollution directe émise par les trains de travaux, la baisse des teneurs les week-ends par rapport à la semaine est moins importante : de l'ordre de 20 %.

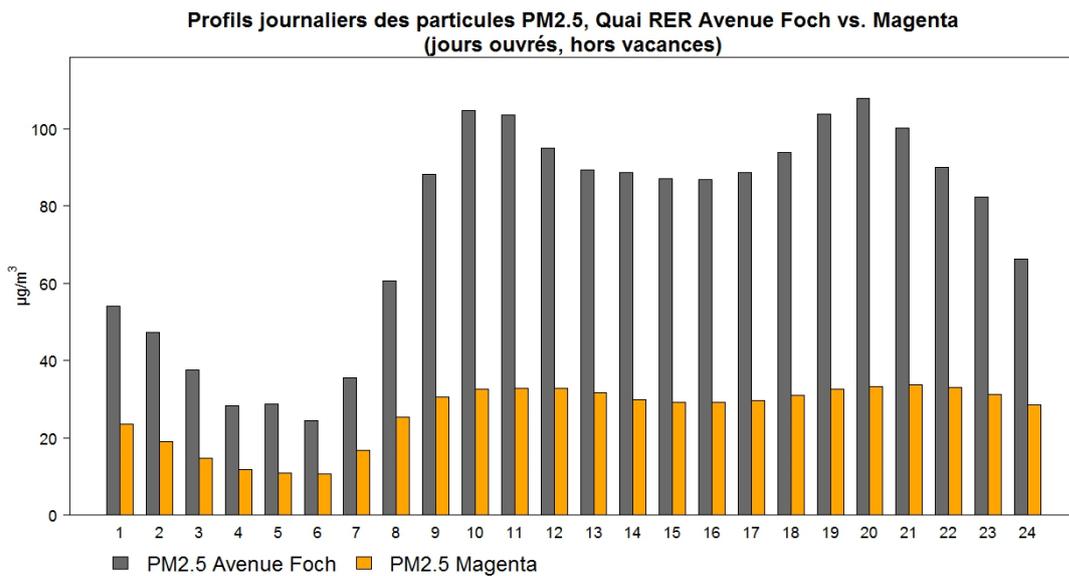
Pour chacun des polluants et chacune des gares, les dispersions des niveaux horaires pour les jours ouvrés sont relativement stables. De plus, sur cette période, l'impact des travaux nocturnes se retrouve sur les teneurs maximales (maximum horaire, mais également valeur de la moustache haute).

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

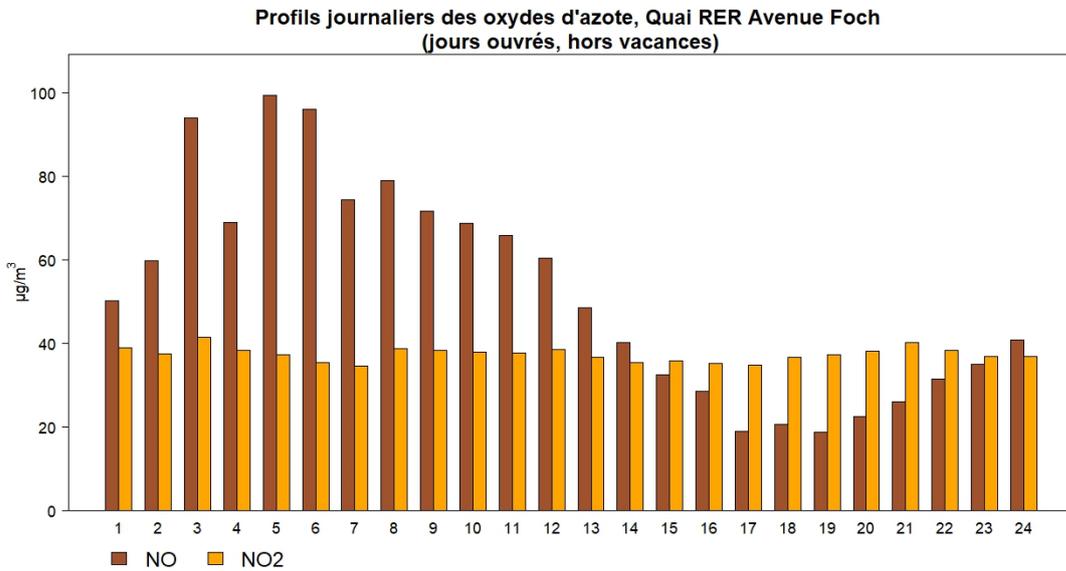
Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 14, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés** (hors vacances scolaires).



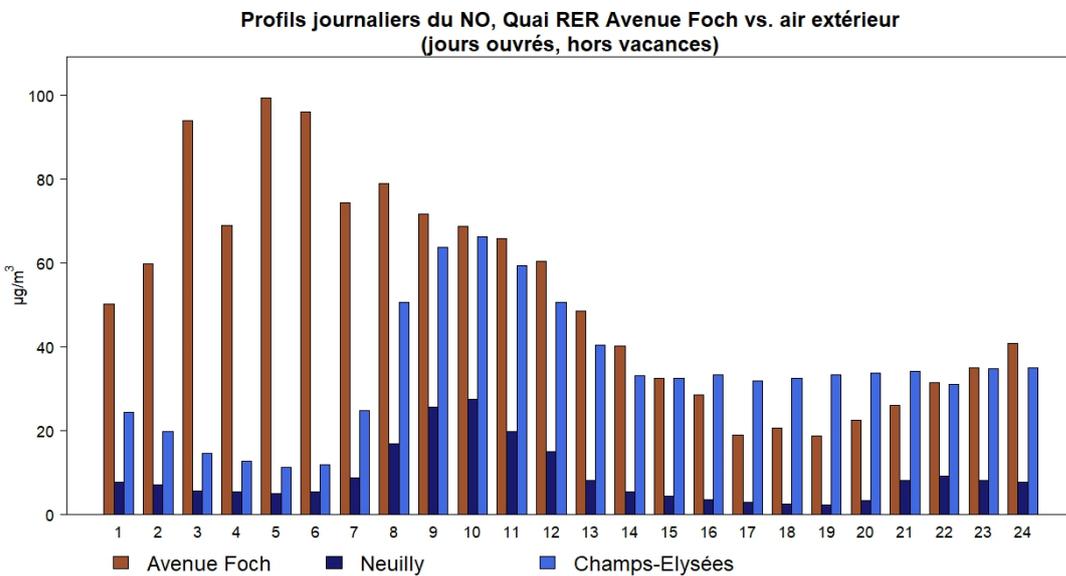
(a)



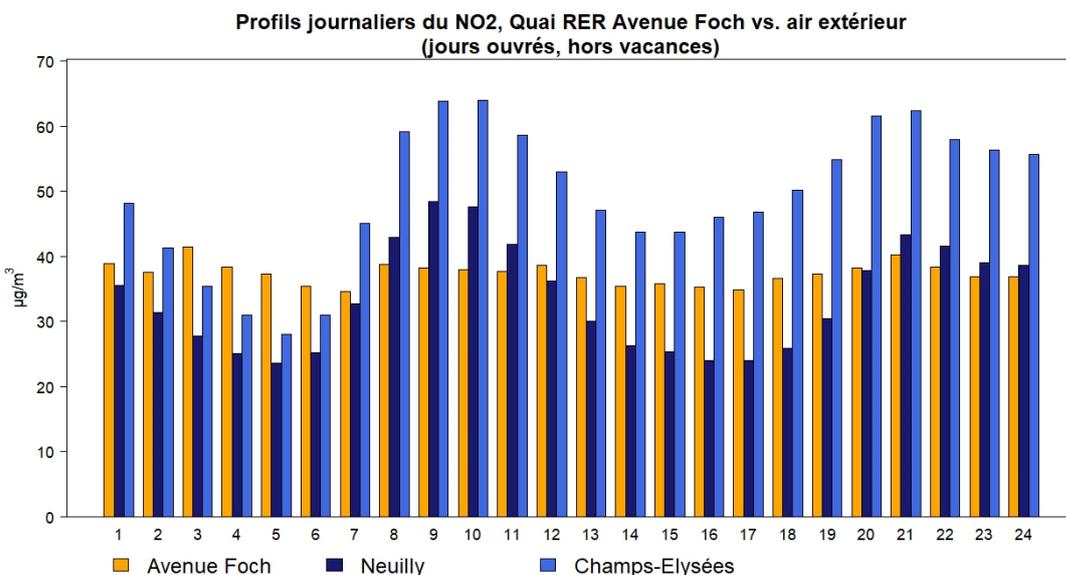
(b)



(c)



(d)



(e)

Figure 14 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta, évolution des profils en NO et NO₂ (c) à Avenue Foch et comparaison avec l'air extérieur (d, e), période du 12/04/2018 au 31/12/2018 – jours ouvrés hors vacances scolaires

Les particules PM₁₀ et PM_{2.5} ont des profils journaliers semblables. Les maxima horaires sont enregistrés lors des heures de pointe : le matin (10-12h) et le soir (18h-21h). Les niveaux sont en moyenne sur ces périodes de pointe de 254 µg/m³ pour les PM₁₀ et 101 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare RER C d'Avenue Foch.

Les périodes de pointe sont observées aux mêmes heures en gare de Magenta, les niveaux y étant environ 3 fois moins élevés : 88 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀ et 33 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

Les niveaux les plus faibles en gare d'Avenue Foch sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 72 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 39 µg/m³ pour les PM_{2.5}. L'arrêt du trafic ferroviaire la nuit permet le dépôt des particules ; par conséquent les minima sont enregistrés avant la reprise du trafic (6h). Les concentrations moyennes minimales en particules PM₁₀ et PM_{2.5} sont respectivement de 43 et 25 µg/m³. Concernant la gare Magenta, les teneurs nocturnes sont également plus faibles⁷ en lien avec l'arrêt du trafic ferroviaire.

Ces profils journaliers en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) fluctuent en partie en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est maximale (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

Ce constat est observé aussi bien en gare d'Avenue Foch qu'à Magenta.

Le profil journalier en PM_{2.5} au sein de la gare d'Avenue Foch présente des variations horaires moindres (écart type de 41 µg/m³ sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM₁₀ (écart type de 106 µg/m³). Cette différence s'explique par des émissions liées à la circulation des trains dont la fraction des particules est la plus grossière. Cela peut également s'expliquer en partie par un temps de déposition différent entre les particules : temps plus court pour les plus grosses particules.

Etant donné les plus faibles écarts enregistrés en gare de Magenta, l'écart type y est plus faible qu'à Avenue Foch pour les PM₁₀ (32 µg/m³) comme pour les PM_{2.5} (11 µg/m³).

Les oxydes d'azote (NO et NO₂) mesurés à la gare d'Avenue Foch ont des profils journaliers différents de ceux des particules.

Pour le NO, les maxima horaires sont enregistrés la nuit entre 23h et 5h, en lien avec la source que représentent les trains travaux à motorisation thermique. Sur cette période, les niveaux sont en moyenne de 64 µg/m³ en gare d'Avenue Foch. Des niveaux intermédiaires sont mesurés en matinée (8 à 13h), période lors de laquelle l'influence de l'air extérieur est observée (cf. Figure 14 (d)). Les niveaux les plus faibles sont observés l'après-midi (16-17h).

Pour le NO₂, les variations horaires sur un jour ouvré sont plus limitées. La variation entre les niveaux nocturnes (1-5h) et ceux en période d'ouverture de la gare au public (6-24h) n'est que de 4 %.

Le minimum horaire en NO₂ est simultanément à celui du NO (35 µg/m³ relevé entre 16 et 17h).

Les profils journaliers en NO_x sont clairement indépendants de la circulation ferroviaire commerciale, les concentrations maximales étant enregistrées la nuit, en lien avec les travaux nocturnes (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Une influence de l'air extérieur est observée lors de la période d'ouverture de la gare au public, essentiellement sur les teneurs en NO.

Les teneurs en NO₂ en gare d'Avenue Foch varient très peu au cours d'une journée, contrairement aux teneurs observées en air extérieur (station de Neuilly-sur-Seine et Avenue des Champs-Élysées), en lien avec l'influence directe du trafic routier. Les maxima en air extérieur sont plus importants qu'en gare d'Avenue Foch.

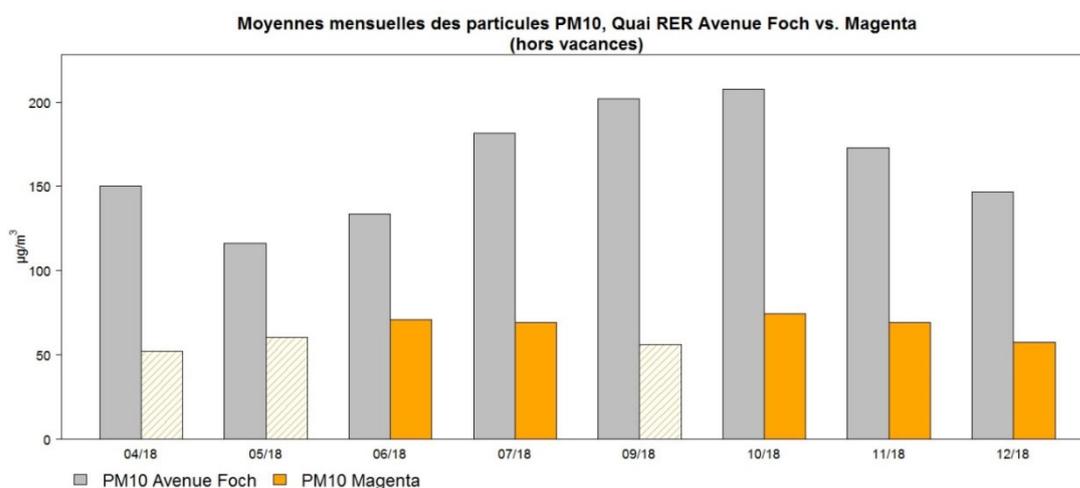
⁷ Rapport : site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2016), accessible sous <http://www.iseo.fr/sncf/index.html>.

Les profils journaliers des concentrations en NO sont différents entre la gare d'Avenue Foch et les stations extérieures. En gare RER les maxima sont relevés la nuit, lors du passage des trains travaux, alors qu'en air extérieur les maxima sont observés le matin, lorsque le trafic routier est le plus dense. Les teneurs en NO sont plus importantes en gare d'Avenue Foch qu'en air extérieur. Toutefois, les fortes teneurs mesurées en air extérieur en matinée ralentissent la diminution des concentrations au sein de la gare, prouvant une très légère influence de l'air extérieur sur les teneurs relevées en quai.

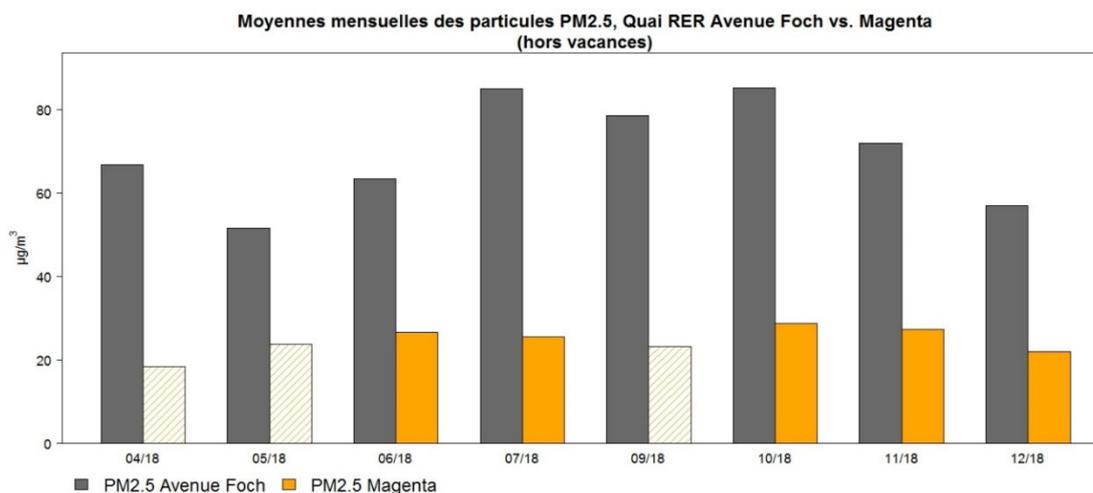
2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE

Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 15, résume les niveaux moyens observés chaque mois entre avril et décembre 2018.

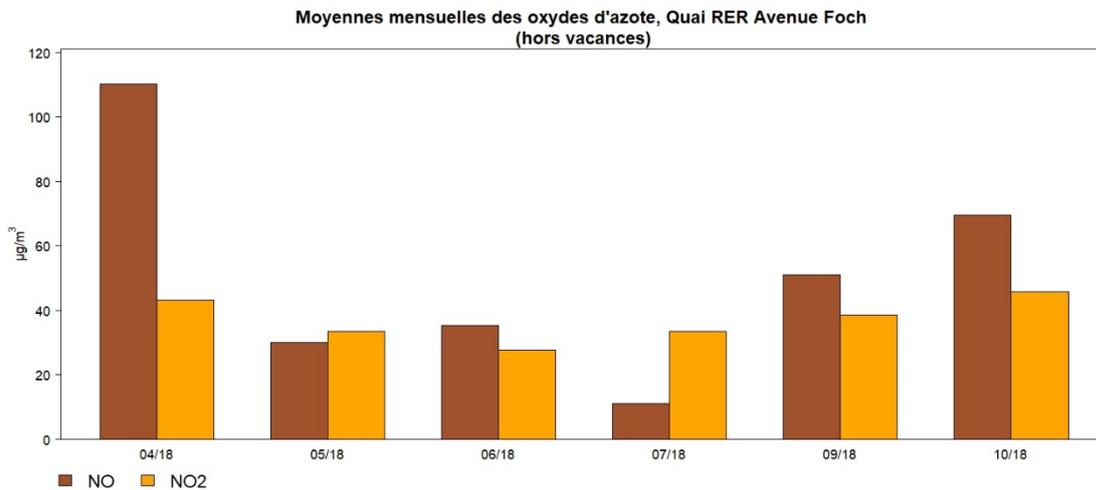
Les détails des statistiques mensuelles, pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5}, sont disponibles à l'ANNEXE 4.



(a)



(b)



(c)

Figure 15 – Évolution des profils mensuels en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta, évolution des profils en NO_x (c) à Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018 – jours ouverts hors vacances scolaires. En hachuré, données disponibles < 75%

Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} présentent des variations mensuelles comparables, à savoir une baisse des niveaux au mois de mai et une tendance à la hausse en septembre - octobre. Le mois de mai 2018 présente les moyennes mensuelles les plus faibles en PM₁₀ et en PM_{2.5} (respectivement 116 µg/m³ et 52 µg/m³). Les maxima mensuels ont été enregistrés en octobre pour les PM₁₀ et entre juillet et octobre pour les PM_{2.5}, avec respectivement 208 µg/m³ et 85 µg/m³.

Les variations mensuelles en **NO et NO₂** sont liées, du fait de sources de pollution identiques. Néanmoins, la nature des deux composés (l'un est un polluant primaire, l'autre secondaire - cf. ANNEXE 0) engendre des variations plus importantes sur le NO que sur le NO₂. Le mois présentant la plus faible valeur mensuelle en NO est le mois de juillet 2018 (11 µg/m³) et le mois de juin 2018 pour le NO₂ (28 µg/m³). Le maximum mensuel en NO a été le mois d'avril 2018 (110 µg/m³) et celui d'octobre pour le NO₂ (46 µg/m³). Les variations mensuelles peuvent s'expliquer notamment par la fréquence des travaux ou le passage de trains diesel en période nocturne.

2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 16 présente les moyennes hebdomadaires des différents composés suivis, lors du service commercial d'une part (de 5h à 1h) et pendant la nuit d'autre part (période de fermeture de la gare au public).

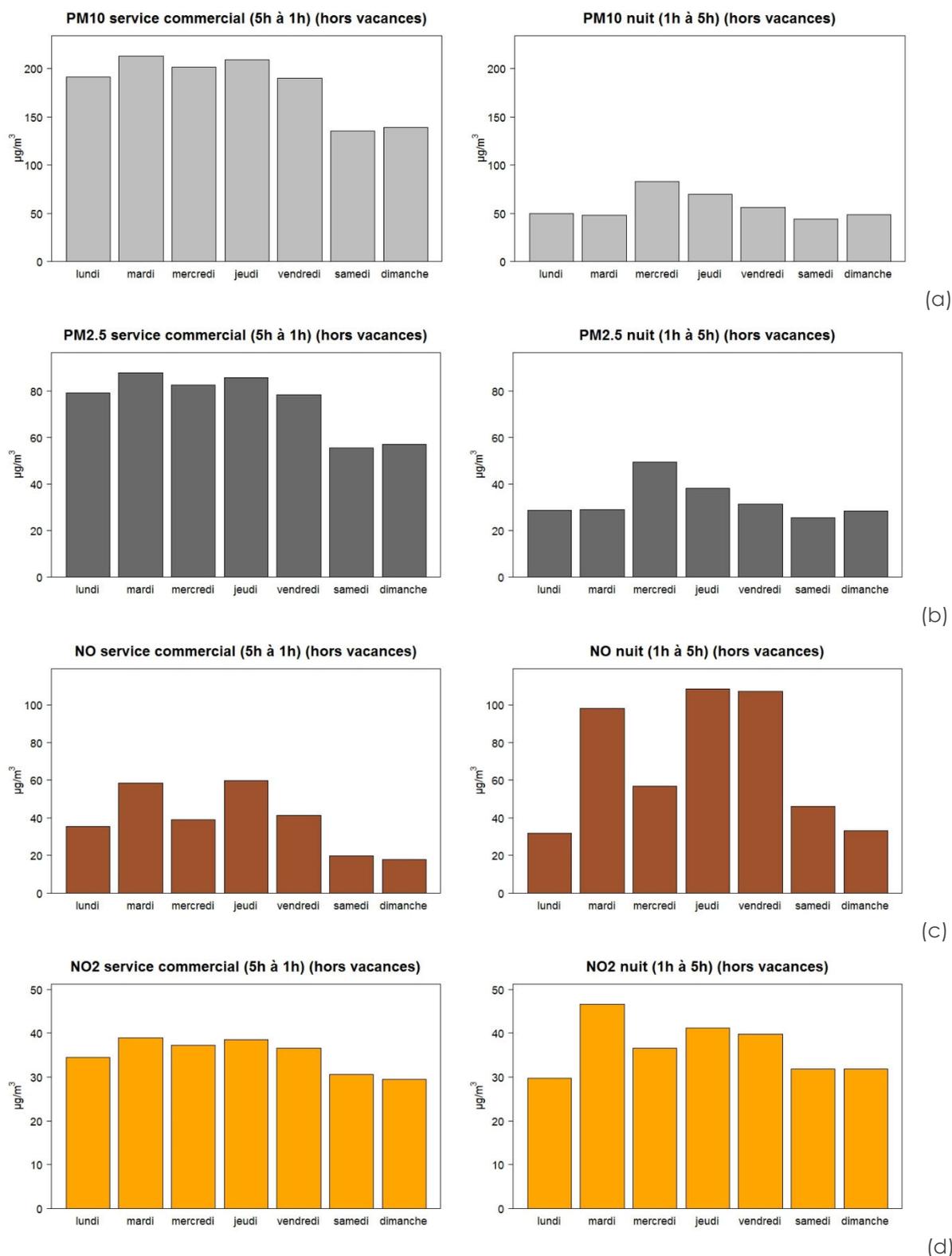


Figure 16 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a), PM_{2.5} (b), NO (c) et NO₂ (d) à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018 –hors vacances scolaires. Service commercial (5 à 1h) à gauche, Nuit (1 à 5h) à droite.

Les **niveaux en particules (PM₁₀ et PM_{2.5})** sont stables les jours ouvrés lors du **service commercial**. Ces teneurs sont supérieures aux moyennes journalières (24h) : pour les PM₁₀, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 201 µg/m³, contre 178 µg/m³ en moyenne sur 24h, soit un écart de 13 %.

Concernant les PM_{2.5}, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 83 µg/m³, contre 75 µg/m³ en moyenne sur 24h, soit un écart de 11 %.

Ces écarts entre les moyennes en service commercial et les moyennes de toute la journée s'expliquent par des teneurs en particules plus faibles la nuit, de façon nettement plus marquée pour les PM₁₀ que pour les PM_{2.5} (figures de droite (a) et (b)).

Les **teneurs nocturnes** sont plus faibles, la principale source de particules sur les quais étant la circulation des trains, limitée aux trains de travaux la nuit. Concernant les PM₁₀, les concentrations nocturnes sont maximales les mercredis (83 µg/m³) et minimales entre les samedis et lundis (44 - 50 µg/m³).

Pour les particules très fines PM_{2.5}, les concentrations minimales sont comprises entre 25 et 29 µg/m³ les lundis, mardis, samedis et dimanches et les maxima sont observés les mercredis (49 µg/m³), comme pour les particules PM₁₀.

Lors du **service commercial**, la teneur moyenne en **NO** les jours ouvrés est de 47 µg/m³, contre 52 µg/m³ sur 24h, ce qui s'explique cette fois par des teneurs plus élevées la nuit. Pour le **NO₂**, les concentrations sont égales en service commercial et sur 24h avec 37 µg/m³.

Les **teneurs nocturnes** en NO s'élèvent en moyenne à 69 µg/m³, avec une forte variabilité selon les jours. Les minima sont enregistrés le lundi avec 32 µg/m³ et les maxima le jeudi (avec 108 µg/m³). Les niveaux moyens nocturnes les jours ouvrés s'élèvent à 80 µg/m³. Ceci s'explique par les travaux nocturnes, principaux responsables de ces fortes teneurs, qui ont lieu les nuits des jours ouvrés.

Les **teneurs nocturnes** en NO₂ sont en moyenne de 37 µg/m³, les concentrations varient de 30 µg/m³ (Lundi) à 47 µg/m³ (Mardi). Les niveaux moyens nocturnes en semaine s'élèvent à 39 µg/m³.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) en gare d'Avenue Foch sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare en période d'ouverture de la gare au public (nombre de voyageurs, nombre de trains), mais également aux travaux ferroviaires qui ont lieu la nuit.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec une moyenne de 72 µg/m³ pour les PM₁₀ et de 39 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont alors maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, à savoir lors des heures de pointe, entre 9 et 12h le matin et entre 18h et 21h le soir. Les concentrations sur le quai atteignent alors 252 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀ et 101 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, toujours en lien avec le nombre de trains en circulation plus élevé les jours ouvrés par rapport aux week-ends. La baisse des niveaux moyens en week-end est de 33% pour les PM₁₀ et de 32 % pour les PM_{2.5}.

Ces observations à l'échelle journalière et hebdomadaire sont également valables à Magenta, mais dans des proportions moindres et avec des niveaux de particules plus faibles également.

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions similaires pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}. Le mois de mai présente les niveaux moyens les plus faibles. A l'inverse, les concentrations sont plus élevées en octobre.

Enfin, **les concentrations sont plus importantes en service commercial** que sur une journée de 24h, de l'ordre de 13 % pour les PM₁₀ et 11 % pour les PM_{2.5} compte-tenu des émissions de particules liées au trafic ferroviaire (remise en suspension, abrasion)

Concernant les oxydes d'azote (NO et NO₂) et contrairement aux particules, les variations temporelles observées en gare d'Avenue Foch ne sont pas liées à la circulation des trains en période de service commercial.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes sont les plus forts, avec en moyenne 80 µg/m³ en NO et 39 µg/m³ en NO₂ entre 23h et 5h. Cela correspond à la période des travaux de maintenance réalisés sur le réseau souterrain, voire uniquement à des passages de trains à locomotive diesel. Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée, principalement pour le NO : en moyenne la teneur en NO entre 6 et 23h est de 47 µg/m³ et celle de NO₂ avoisine 37 µg/m³. L'influence de l'air extérieur en journée sur les teneurs en NO est observée sur le profil moyen journalier.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs en NO et NO₂ plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, les travaux ayant lieu du lundi soir au jeudi matin. La baisse est de 57 % pour le NO et de 18 % pour le NO₂.

2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM_{10} ET PARTICULES TRES FINES $PM_{2.5}$

Les particules émises par le trafic ferroviaire sont de grosse taille, en lien avec les processus mécaniques de formation (freinage et frottements entre roues et rail), ainsi que leur remise en suspension.

A titre de comparaison, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ en air extérieur est généralement de l'ordre de 0,7. Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ peut ainsi servir à identifier des sources de particules différentes.

2.3.1. NIVEAUX MOYENS

Les ratios entre particules très fines ($PM_{2.5}$) et particules fines (PM_{10}) aux gares Avenue Foch et Magenta sont présentés à la Figure 17.

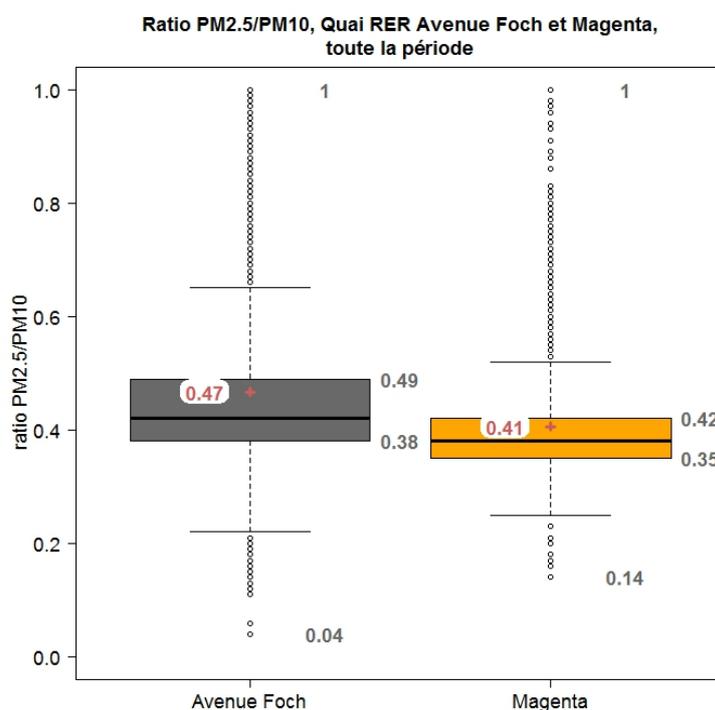


Figure 17 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en $PM_{2.5}/PM_{10}$, à la Gare RER C d'Avenue Foch et à la station de Magenta, 12/04/2018 au 31/12/2018.

En moyenne, en gare RER C d'Avenue Foch, sur toute la période de mesure, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est de 0,47. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,41 à Magenta. Le ratio plus élevé à Avenue Foch peut s'expliquer par une influence plus importante de l'air extérieur, la gare étant moins profonde que celle de Magenta. La gare de Magenta bénéficie pourtant d'un système de ventilation, qui favorise l'import d'air extérieur dans la gare mais son volume plus important facilite la dilution de ces imports.

2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

2.3.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Les fluctuations horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ (ratios horaires moyennés sur une semaine) aux gares Avenue Foch et Magenta sont présentées à la Figure 18.

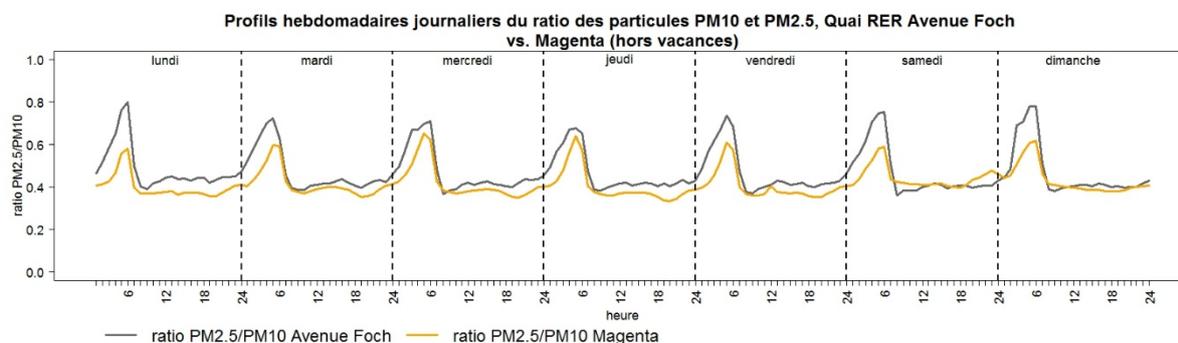
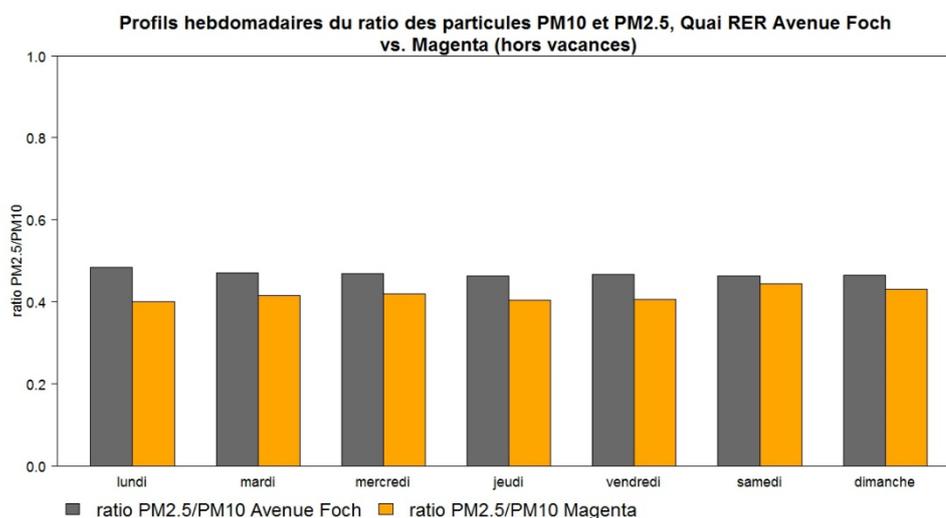


Figure 18 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de référence Magenta, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Les profils des gares RER C d'Avenue Foch et Magenta sont proches, avec des ratios plus élevés en fin de nuit, en lien avec la baisse des passages de trains entraînant une moindre formation et remise en suspension de grosses particules liées au freinage. Le ratio nocturne tend vers le ratio habituellement observé en air extérieur. Les ratios dans les deux gares sont stables en journée, avec des ratios légèrement plus élevés à Avenue Foch qu'à Magenta, jours ouvrés comme week-ends.

2.3.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS JOURNALIERES SUR UNE SEMAINE

Les fluctuations journalières des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ aux gares Avenue Foch et Magenta sont présentées à la Figure 19.



(a)

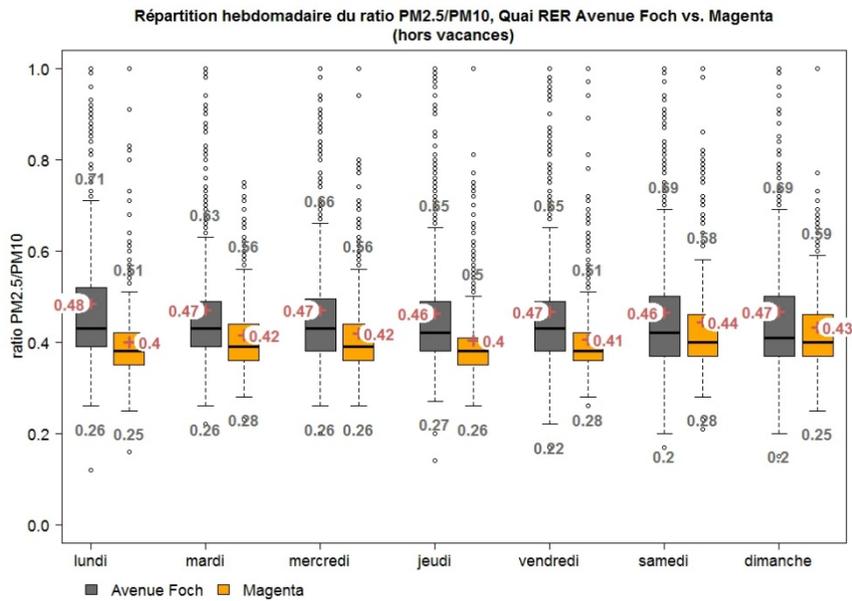


Figure 19 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de référence Magenta (a), période du 12/04/2018 au 31/12/2018. Zoom sur les boîtes à moustaches (b).

Les fluctuations des ratios sont faibles tout au long de la semaine, oscillant entre 0,46 et 0,48 à Avenue Foch (moyenne à 0,47). A Magenta, la tendance est la même, avec des ratios légèrement plus faibles les jours ouvrés (0,41), par rapport aux samedis et dimanches (0,44).

2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Les profils moyens journaliers (jours ouvrés) pour les gares Avenue Foch et Magenta sont présentés à la Figure 20.

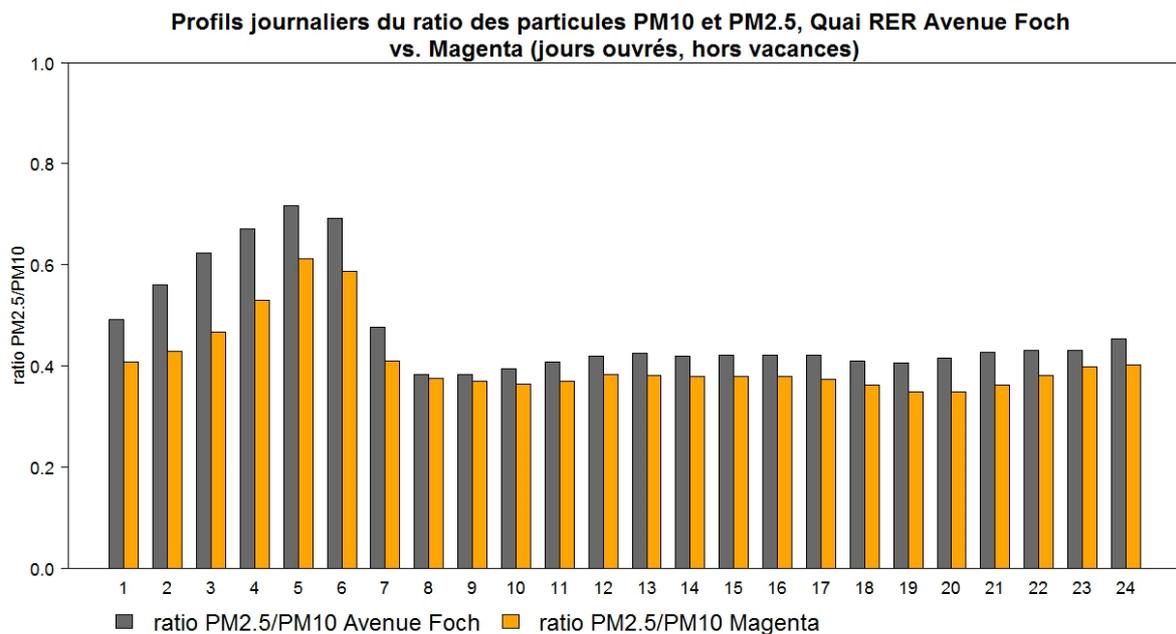


Figure 20 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de référence Magenta, période du 12/04/2018 au 31/12/2018– jours ouvrés hors vacances.

Une certaine stabilité des ratios en journée (de 7h à 24h) est observée, aussi bien en gare d'Avenue Foch (moyenne à 0,47, écart-type de 0,15) qu'à Magenta (moyenne à 0,41, écart-type 0,10). La nuit (entre 1h et 6h, lors de la fermeture de la gare au public), les ratios sont plus importants et augmentent tout au long de la nuit : ils avoisinent 0,57 en gare d'Avenue Foch et 0,48 à Magenta en début de nuit. Le ratio maximum est atteint à l'ouverture des deux gares au public (0,72 à 5h pour Avenue Foch).

Cela s'explique par des concentrations en PM_{2.5} proportionnellement plus importantes la nuit par rapport à celles de PM₁₀, en lien avec la fermeture de la gare : moins de trains, pas de fréquentation d'où l'absence de remise en suspension des particules les plus grosses.

2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE

Les profils mensuels moyens, présentés à la Figure 21, résument les ratios moyens observés chaque mois entre avril 2018 et décembre 2018, hors vacances scolaires, aux gares d'Avenue Foch et de Magenta

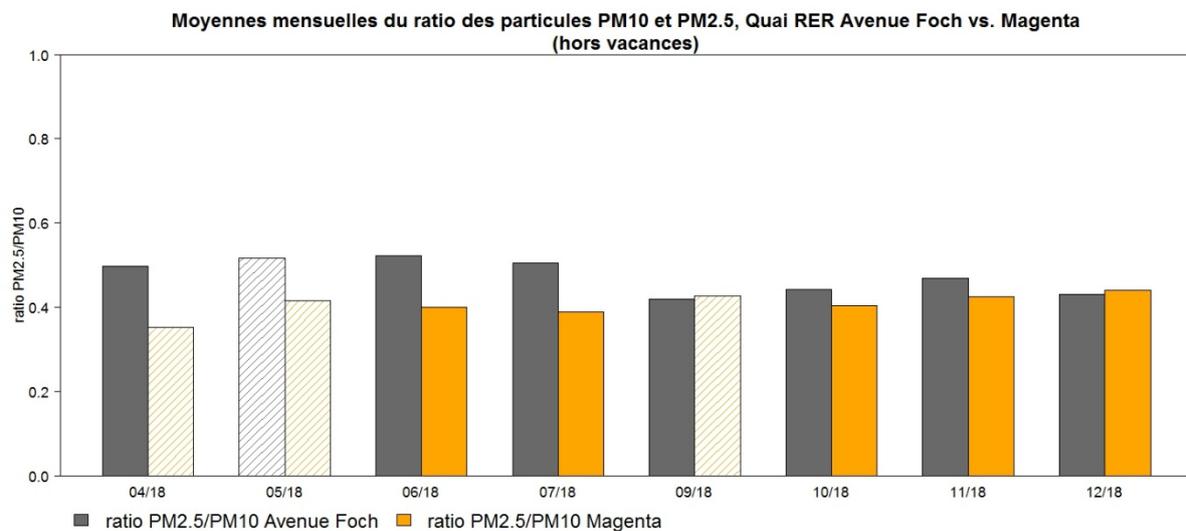


Figure 21 – Évolution des profils mensuels des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ (a) à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 – jours ouvrés hors vacances scolaires. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les ratios PM_{2.5}/PM₁₀ en gare d'Avenue Foch présentent de faibles variations mensuelles. Le mois de septembre 2018 présente les ratios les plus faibles (0,42 en moyenne), le maximum (0,52 en moyenne) ayant été observé en avril et mai 2018. A titre de comparaison, à Magenta, les ratios mensuels ont varié de 0,35 (Avril 2018) à 0,44 (décembre 2018).

2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 22 présente les moyennes hebdomadaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$, lors du service commercial d'une part et pendant la nuit d'autre part (période de fermeture de la gare au public) à la gare d'Avenue Foch.

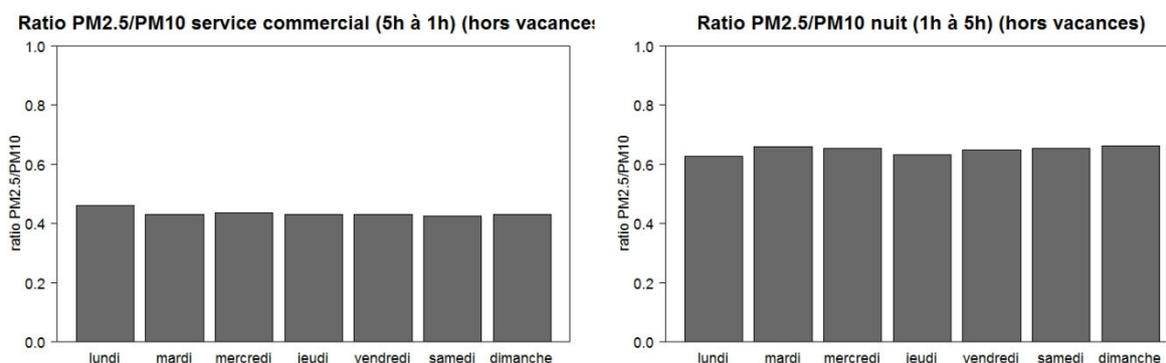


Figure 22 – Évolution des profils hebdomadaires du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018 –hors vacances scolaires. Service commercial à gauche, Nuit à droite.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est stable tous les jours de la semaine lors du **service commercial, avec des ratios** proches de 0,4. Les **ratios nocturnes** sont plus élevés, entre 0,6 et 0,7. Cela s'explique par la baisse des concentrations en particules (en particulier PM_{10}) la nuit, lors de l'arrêt de circulation des trains, principale source de particules de grosse taille.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est en moyenne de 0,47 en gare d'Avenue Foch, soit un peu plus élevé que celui de Magenta (0,41).

A l'échelle journalière, les ratios sont stables en journée (0,47 entre 7h et 24h) et en hausse la nuit (autour de 0,6, en moyenne), en lien avec les sources de particules PM_{10} relativement moins importantes (pas de circulations commerciales) que celles des particules très fines $PM_{2.5}$.

A l'échelle hebdomadaire, peu de variations sont observées.

A l'échelle mensuelle, le mois de septembre 2018 présente les ratios les plus faibles avec 0,42 en moyenne, le maximum ayant été observé en avril et mai 2018 avec 0,52.

2.4 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les poussières minérales. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes ferroviaires souterraines, notamment des systèmes de freinage⁸, bien qu'ils soient également présents, en moindre quantité, dans l'air extérieur, comme les autres éléments. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de Avenue Foch, en parallèle de chaque campagne de 3 semaines dans les autres gares instrumentées par Airparif, pendant une semaine à chaque fois, soit 4 semaines de mesure au total. En détail, voici les périodes de mesure :

- 16 au 20 avril 2018, en parallèle des mesures en gare RER C Musée d'Orsay ;
- 21 au 25 mai 2018, en parallèle des mesures en gare RER C Pereire Levallois ;
- 2 au 6 juillet 2018, en parallèle des mesures en gare RER C Champs de Mars ;
- 17 au 21 septembre 2018, en parallèle des mesures en gare RER C Bibliothèque François Mitterrand.

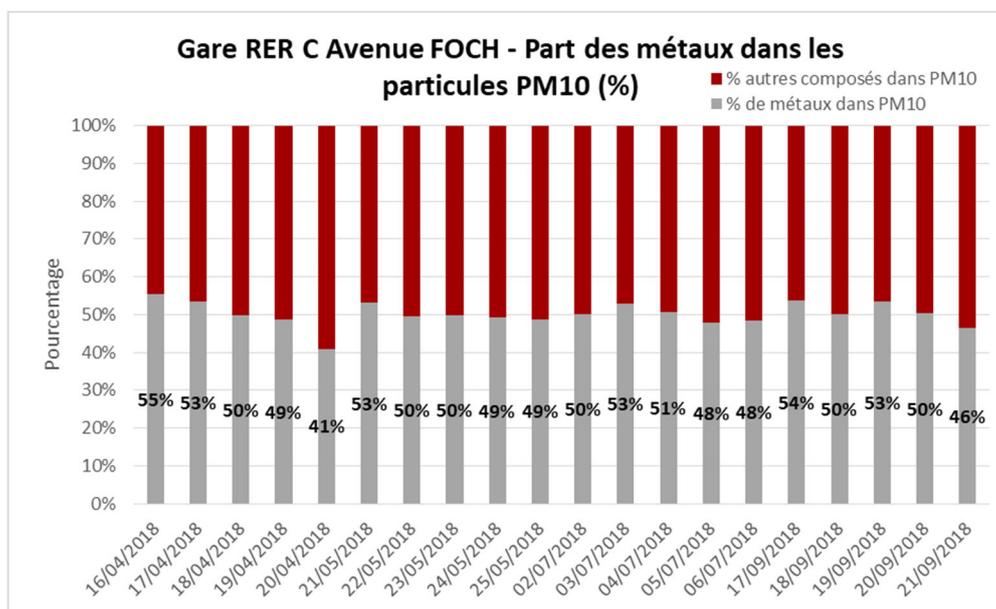
Au total, des résultats de mesure des métaux sont donc disponibles pour 20 journées.

A chaque période, les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h, chaque jour du lundi au vendredi.

Onze métaux ont été étudiés : Aluminium, Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature⁸.

2.4.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Les graphiques suivants (Figure 23) montrent la part de l'ensemble des métaux mesurés parmi les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure en gare RER C Avenue Foch.



⁸ Pollution chimique de l'air dans les enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective – Septembre 2015, Edition scientifique.

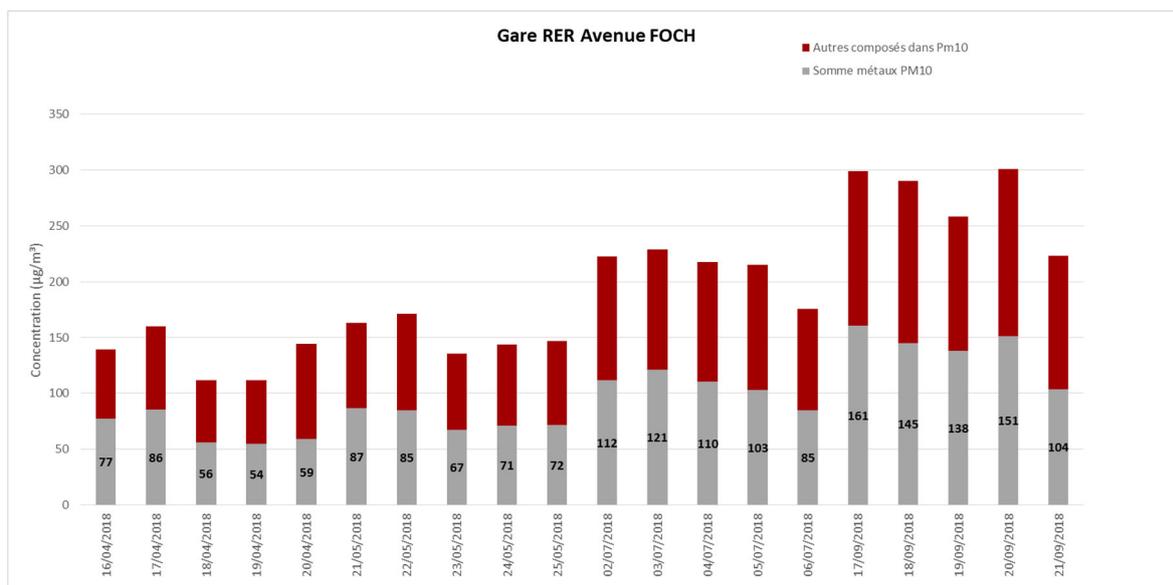


Figure 23 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ (en % de particules PM₁₀) et évolution des relevés journaliers (concentrations en µg/m³) sur les périodes de prélèvement entre avril et décembre 2018, à la gare RER C de Avenue Foch.

Sur l'ensemble des données disponibles (20 journées de mesure), les concentrations en métaux varient de 54 µg/m³ (le 19/04/18) à 161 µg/m³ (le 17/09/18). En comparaison avec la concentration en particules PM₁₀ enregistrée les mêmes journées lors des même tranches horaires, **la part des métaux** a varié de 41 % (le 20/04/2018) à 55 % (le 16/04/2018). Elle est **en moyenne de 50 %**. La journée du 20/04/2018 pourrait sembler atypique, mais des concentrations similaires ont été observées en gare Musée d'Orsay.

2.4.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 24) représente la répartition moyenne des composés mesurés entre avril et décembre 2018 (20 journées disponibles).

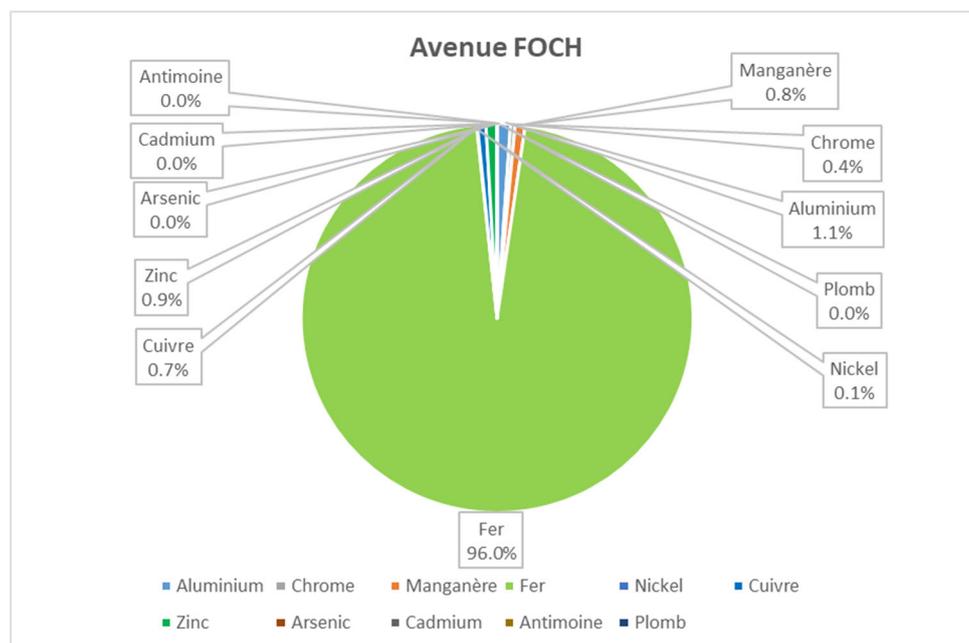


Figure 24 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne des mesures entre avril et décembre 2018, en gare RER C de Avenue Foch.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Avenue Foch. Ce résultat est stable sur toutes les journées de mesure, le pourcentage variant de 94 à 97 %.

Le métal le plus abondant ensuite est l'**Aluminium**, mais dans des proportions bien plus faibles que le fer : 1.1 % en moyenne. Il varie de 0.7 % à 2.0%.

Vient ensuite le **Zinc**, qui représente en moyenne 0.9 % des métaux mesurés dans les particules PM₁₀. Il varie entre 0.7 % et 1.1 %. Six journées présentent une part de Zinc supérieure à 1 %.

Le **Manganèse** est présent dans les mêmes proportions que le zinc : 0.8 % en moyenne, variant de 0.8 % à 1 %.

Suivent ensuite le **Cuivre** (0.7 % en moyenne), le **Chrome** (0.4%) et le **Nickel** (0.1%).

Les proportions en **Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb** sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

Les graphiques journaliers en ANNEXE 5 montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure.

Les sources connues dans les enceintes souterraines ferroviaires sont :

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (manganèse, fer, aluminium, chrome, plomb, cuivre, nickel, antimoine) peuvent être présents dans les semelles de frein.
- Les émissions lors du roulage. Les principaux composés des rails ou encore des roues sont le fer, le chrome, le nickel ou encore le manganèse.

La principale source de fer dans les enceintes souterraines ferroviaires est l'usure des rails par friction (lors du freinage, mais également lors de la circulation des trains). Le fer peut également être présent dans les semelles de frein.

Le cuivre est présent dans les câbles d'alimentation dans les enceintes souterraines ferroviaires, il est émis lors du contact entre le matériel roulant et les caténares (système d'alimentation). Il est également présent dans les semelles de frein et par conséquent il peut être émis lors du freinage.

Les concentrations des composés métalliques observées sont cohérentes avec les sources identifiées et les résultats de la littérature. L'analyse bibliographique dans les réseaux ferroviaires français (hors réseau francilien) met en avant le fer comme élément dominant en termes de concentrations, suivi du cuivre, du zinc, de l'antimoine et du manganèse.

Les résultats à l'échelle des grandes villes mondiales mettent également en avant le baryum, le nickel et le chrome. Ainsi les premières observations sur le réseau francilien sont cohérentes avec les résultats dans des environnements similaires.

2.4.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 25) présente les concentrations journalières observées pour le Fer (20 journées de mesure, jours ouvrés non consécutifs) à la gare Avenue Foch. Les relevés journaliers pour chacun des autres métaux sont présentés en ANNEXE 5.

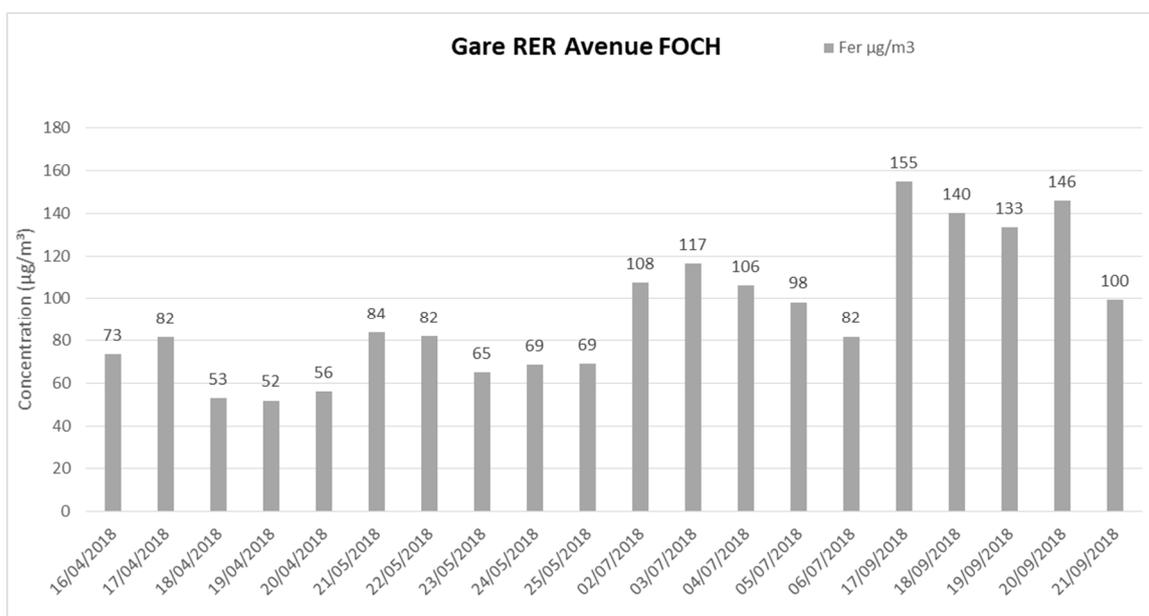


Figure 25 – Relevés journaliers en fer à la gare RER C de Avenue Foch, période de mesure entre avril et décembre 2018.

Les teneurs en **Fer** ont beaucoup variées en gare RER C Avenue Foch au cours de l'année 2018, de 52 µg/m³ le jeudi 19/04/2018 à 155 µg/m³ le lundi 17/09/2018. Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées au cours du mois de juillet et septembre. A l'inverse, les concentrations les moins élevées ont été enregistrées entre avril et mai 2018. Ces niveaux sont en lien direct avec les concentrations en particules PM₁₀ observées sur ces mêmes journées, comme évoqué au paragraphe précédent.

Cinq métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques dizaines de ng/m³ à quelques centaines de ng/m³. Il s'agit du **Cuivre, Zinc, Manganèse, Chrome et de l'Aluminium**.

Les concentrations journalières en **Aluminium** ont varié de 541 à 1542 ng/m³, les résultats sont en moyenne de 989 ng/m³.

Les teneurs journalières en **Zinc, Cuivre et Manganèse** sont du même ordre de grandeur. Les teneurs en **Zinc** varient de 467 à 1412 ng/m³, pour une moyenne de 843 ng/m³. Celles du **Cuivre** varient de

351 à 1145 ng/m³, pour une moyenne de 677 ng/m³. Les teneurs **Manganèse** varient de 438 à 1183 ng/m³ pour une moyenne de 787 ng/m³

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** sont plus faibles, entre 208 à 571 ng/m³, pour une moyenne de 366 ng/m³.

Les teneurs de ces métaux ont des variations temporelles proches. A l'exception de l'aluminium, les maxima sont enregistrés le même jour, le lundi 17 septembre 2018.

Pour les cinq autres métaux, des variations temporelles existent, les maxima sont généralement observés aux mêmes périodes pour ces 5 métaux. Les niveaux journaliers varient :

- Entre 32 et 83 ng/m³ pour le Nickel⁹, pour une moyenne de 56 ng/m³.
- Entre 16 et 35 ng/m³ pour le Plomb⁹, pour une moyenne de 24 ng/m³,
- Entre 1 et 7 ng/m³ pour l'Antimoine⁹, pour une moyenne de 4 ng/m³.
- Entre 5 et 13 ng/m³ pour l'Arsenic⁹, pour une moyenne de 9 ng/m³.
- Pour le Cadmium⁹, les relevés journaliers sont tous inférieurs au seuil de détection (0.27 ng/m³).

⁹ Limite de détection pour le Nickel, Antimoine : 38 ng/filtre ; Pour le Plomb, Cadmium, Arsenic : 8 ng/filtre.
Limite de quantification pour le Nickel, Antimoine : 125 ng/filtre ; Pour le Plomb, Cadmium, Arsenic, Antimoine : 25 ng/filtre.

3. FACTEURS D'INFLUENCE

3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR

Les polluants de l'air extérieur peuvent se retrouver dans les enceintes souterraines, de façon plus ou moins marquée selon la profondeur de la gare, les accès vers l'extérieur et le système de ventilation en place. L'influence sera d'autant plus importante que la gare est peu profonde et qu'il existe plusieurs accès vers l'extérieur.

La Figure 26 présente les concentrations moyennes mensuelles pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} sur les quais du RER C Avenue Foch ainsi qu'en air extérieur, sur différentes stations du réseau Airparif.

Les concentrations moyennes en particules PM₁₀ sur les quais de la gare RER C Avenue Foch sont quatre à huit fois supérieures aux concentrations mesurées par les stations extérieures d'Airparif¹⁰ sur la même période. Les teneurs en particules étant bien plus grandes sur les quais qu'en extérieur, l'influence de l'air extérieur sur les concentrations en particules est probablement négligeable.

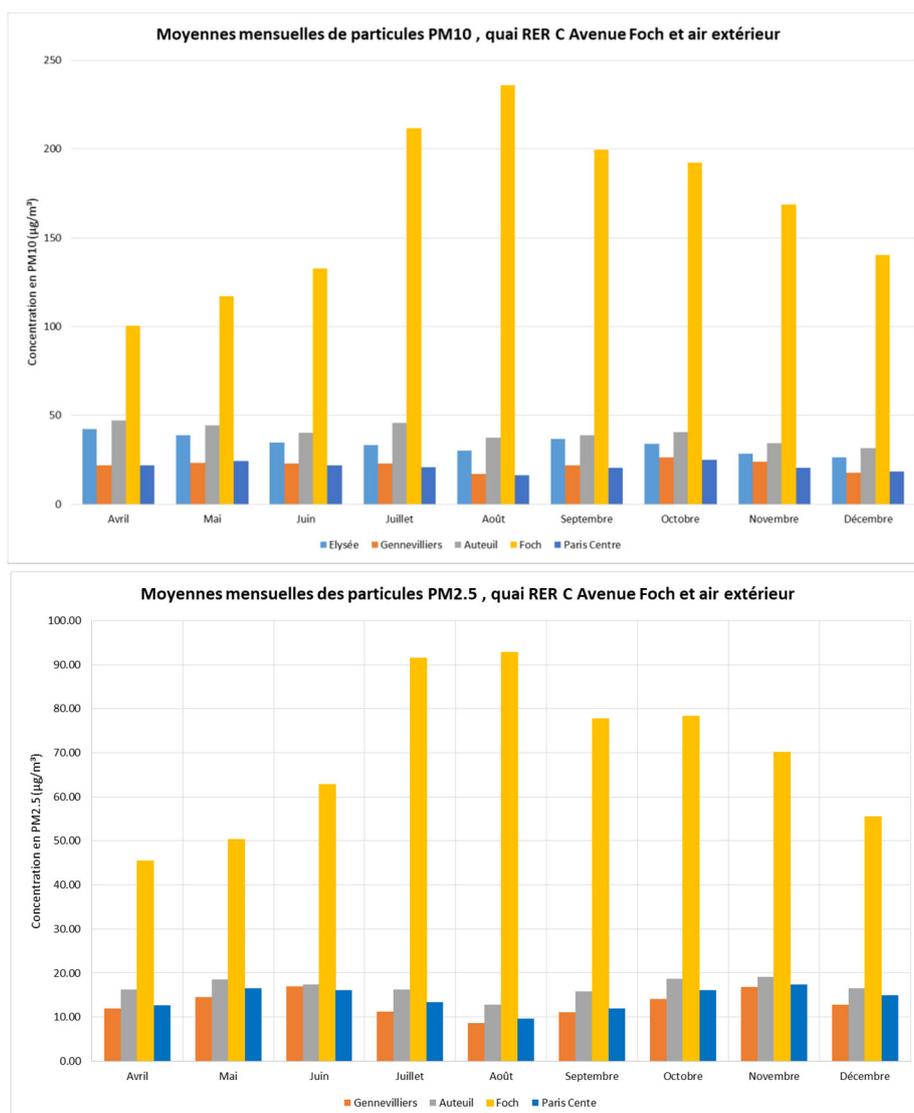


Figure 26 – Moyennes mensuelles des concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5}, en air extérieur et en gare d'Avenue Foch, entre avril et décembre 2018.

¹⁰ Gennevilliers, 60 Rue Richelieu (situation de fond) ; Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil (proximité du trafic routier) ; Champs Elysées (proximité trafic routier) et Paris centre, Place Igor Stravinsky (situation de fond).

Le graphique suivant (Figure 27) représente les moyennes mensuelles en NO₂ sur les quais de la gare RER C Avenue Foch et en air extérieur¹¹. Les fluctuations mensuelles des concentrations en NO₂ suivent un même profil, mais plus marquées à la station implantée sur les Champs Elysées à proximité immédiate du trafic routier. Une légère influence de l'air extérieur sur les concentrations mesurées sur les quais de la gare RER C Avenue Foch est mise en avant, à l'exception du mois de juillet. Cette influence peut s'expliquer par la faible profondeur des quais du RER C Avenue Foch (étage -1 par rapport au sol) et par la proximité des accès de la gare avec le trafic routier.

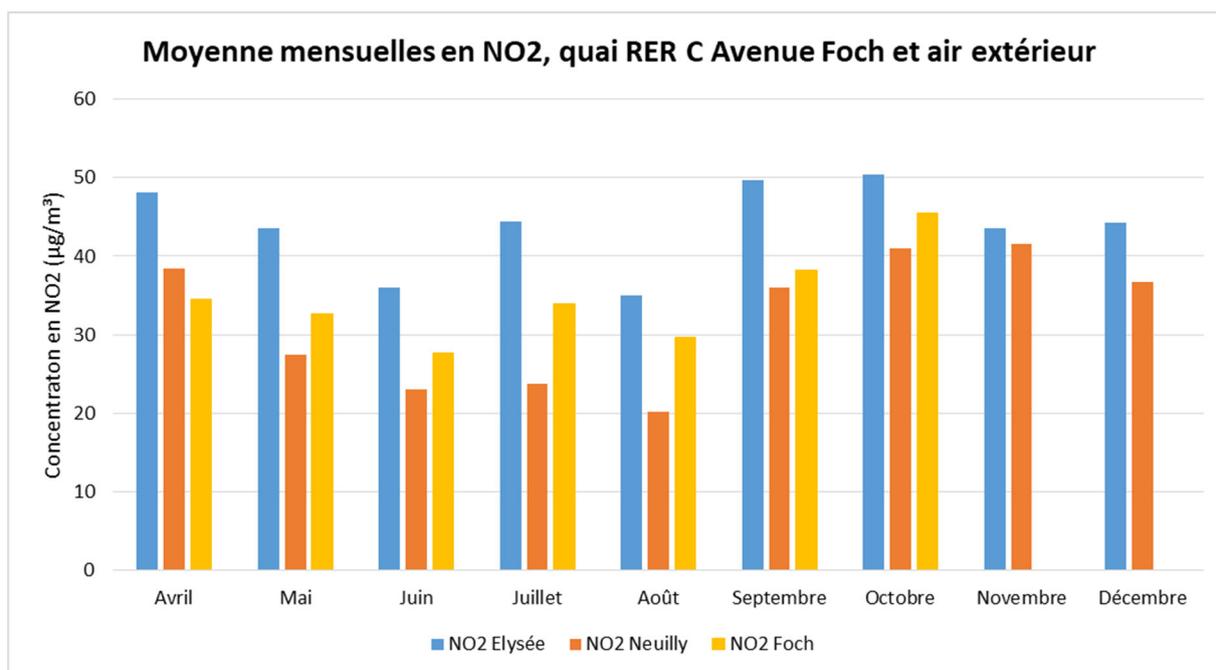


Figure 27 – Moyennes mensuelles des concentrations en NO₂, en air extérieur et en gare d'Avenue Foch, d'avril à octobre 2018

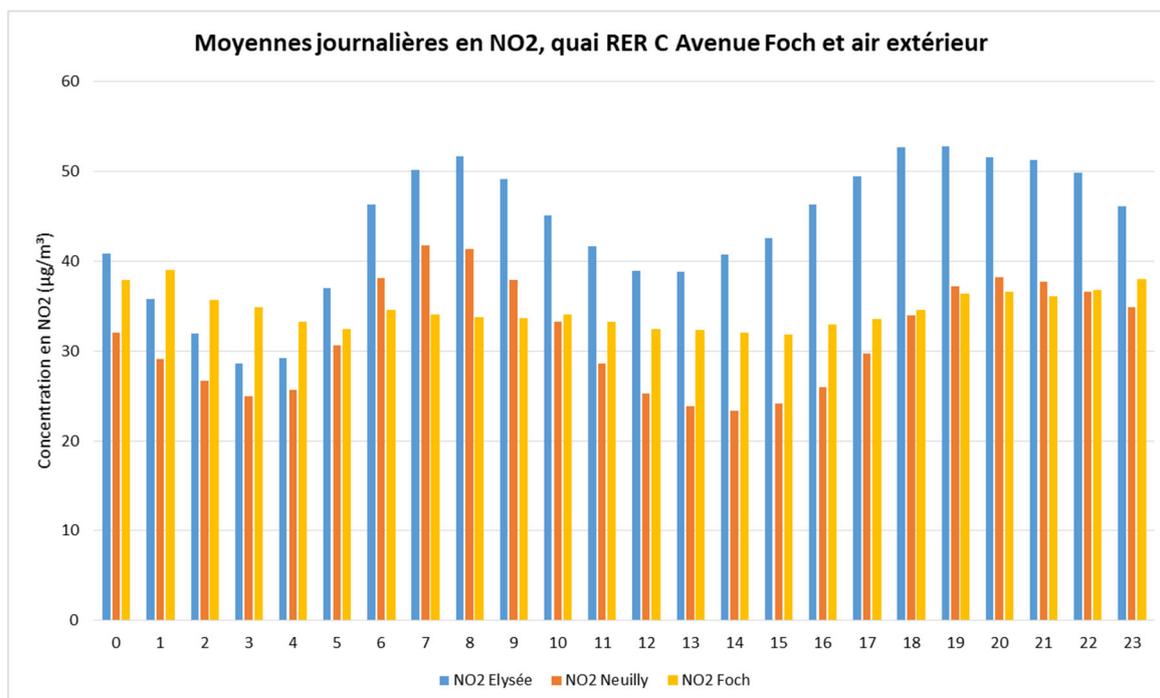


Figure 28 : Moyennes journalières des concentrations en NO₂, en air extérieur et en gare d'Avenue Foch, d'avril à octobre 2018

¹¹ Station Champs Elysées (proximité trafic) ; Station de Neuilly, 11 Rue du Commandant Pilot (situation de fond).

Les concentrations en NO₂ en gare RER C Avenue Foch varient très peu sur une journée, contrairement aux stations extérieures où les pics du matin et du soir sont nettement plus marqués.

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

La mesure des teneurs en CO₂ permet de suivre le renouvellement d'air et le confinement de la gare dans des espaces potentiellement soumis à diverses sources de CO₂ (combustion, respiration humaine). Les paramètres température ambiante et humidité ont également été suivis.

Les relevés journaliers en température et humidité à la gare Avenue Foch sont présentés à la Figure 29.

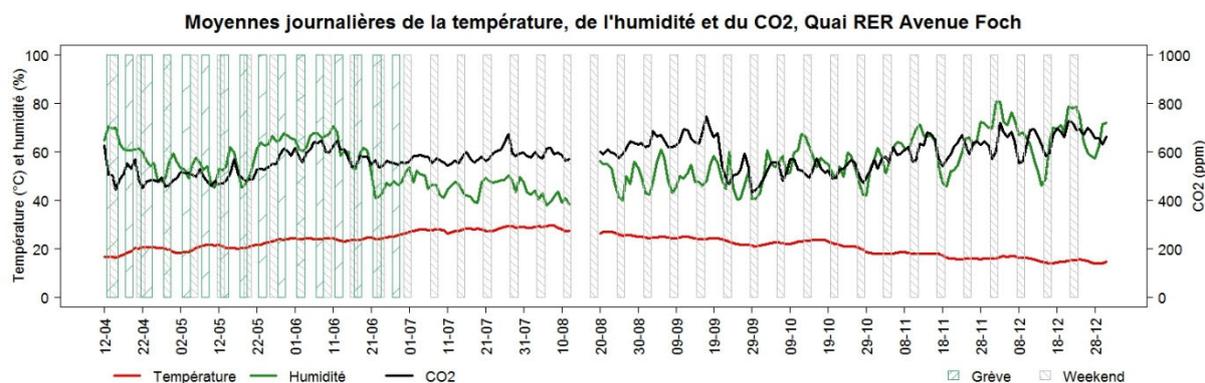


Figure 29 – Relevés journaliers de dioxyde de carbone (CO₂), température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Sur l'ensemble de la période étudiée, la **température** moyenne en gare d'Avenue Foch est de 22°C. Les relevés horaires ont varié entre 13 et 31°C (minima enregistrés la nuit en hiver, maxima observés en après-midi l'été).

L'**humidité relative** moyenne en gare RER C Avenue Foch est de 55% entre avril et décembre 2018, les relevés horaires ont varié entre 33% et 86%.

Sur l'ensemble de la période considérée, une variation saisonnière des températures est observée en lien avec l'influence des conditions météorologiques extérieures. Les fluctuations pour l'humidité sont plus marquées, également en lien avec les conditions météorologiques extérieures.

La principale source de **CO₂** sur les quais étant la respiration humaine, les concentrations relevées varient avec la fréquentation de la gare. La moyenne relevée sur la période étudiée est de 577 ppm, alors que les relevés horaires ont varié entre 408 ppm et 1203 ppm.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀ d'une part, PM_{2.5} d'autre part) et en CO₂ les jours ouvrés (cf. Figure 30) montre que les teneurs maximales sont observées en même temps pour le CO₂ et pour les particules (léger décalage le matin), à savoir aux heures de pointe du matin (10h) et du soir (18-20h). Cela confirme que les concentrations en particules sont plus importantes lorsque la fréquentation de la gare est élevée.

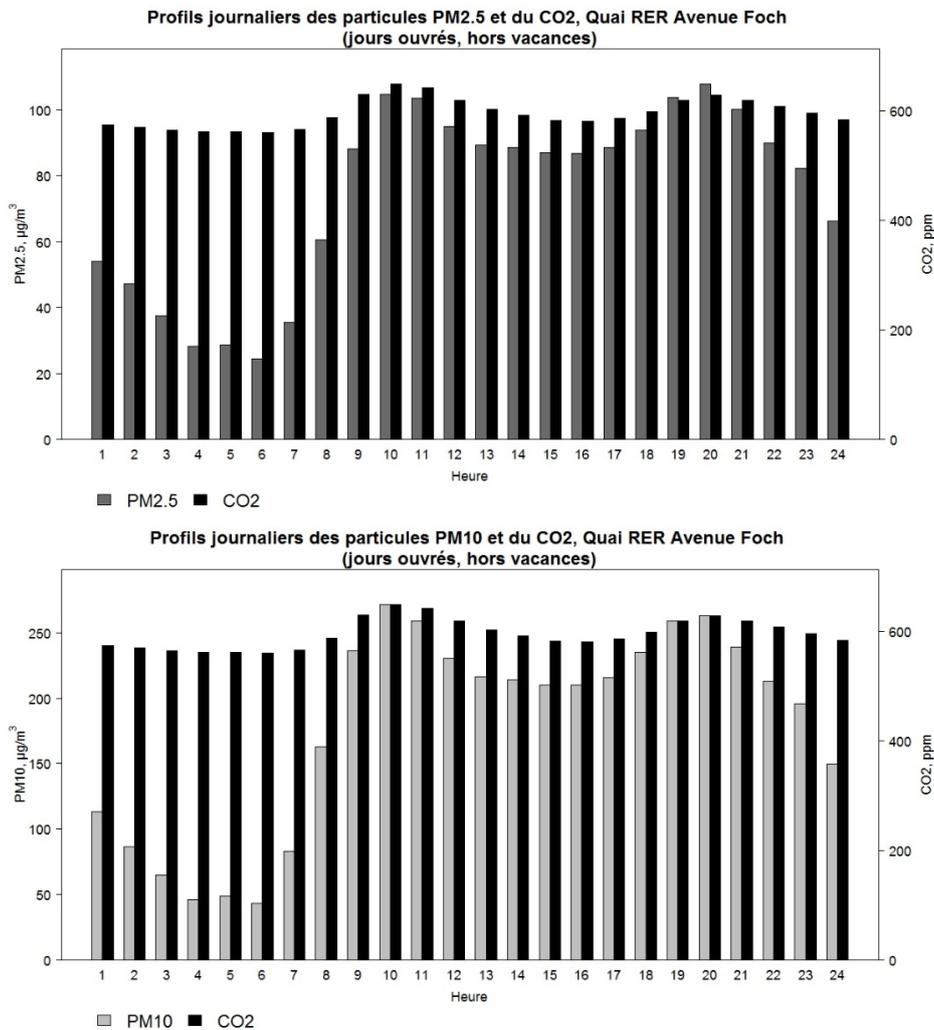


Figure 30 –Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ et en PM_{2.5} et CO₂, à la gare RER C de Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018 – jours ouvrés, hors vacances scolaires.

Les concentrations en **particules et en dioxyde d'azote** observées sur le quai RER d'Avenue Foch sont **faiblement impactées par les niveaux en air extérieur.**

Concernant les particules, à l'échelle mensuelle ou journalière, l'impact de l'air extérieur sur les quais n'est pas visible ; la source prédominante de pollution reste la circulation ferroviaire.

Concernant le dioxyde d'azote, à l'échelle mensuelle ou journalière, l'impact de l'air extérieur sur les quais est peu (échelle mensuelle) ou pas (échelle journalière) visible. Les teneurs en NO₂ sont majoritairement influencés par les trains travaux la nuit.

3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

Certains paramètres techniques de la gare doivent être pris en compte en tant que potentiellement explicatifs des niveaux de particules :

- Fréquence des trains circulant sur les voies,
- Influence de la ventilation : la gare d'Avenue Foch ne bénéficie pas de ventilation mécanique, aussi aucune influence de changement de ventilation, au cours des mesures, n'a pu être étudiée.

Le **nombre de trains circulant** en gare de Avenue Foch a été transmis par la SNCF Gares d'Ile-de-France, ceci selon la période : JOB (jours ouvrés du mardi au jeudi), samedi et dimanche, et jours fériés.

En moyenne, les jours ouvrés, 170 circulent en gare d'Avenue Foch. Le samedi, ce sont 143 trains qui circulent et 145 trains le dimanche. Il s'agit du nombre de trains théorique en circulation. Les chiffres sont présentés en Figure 31.

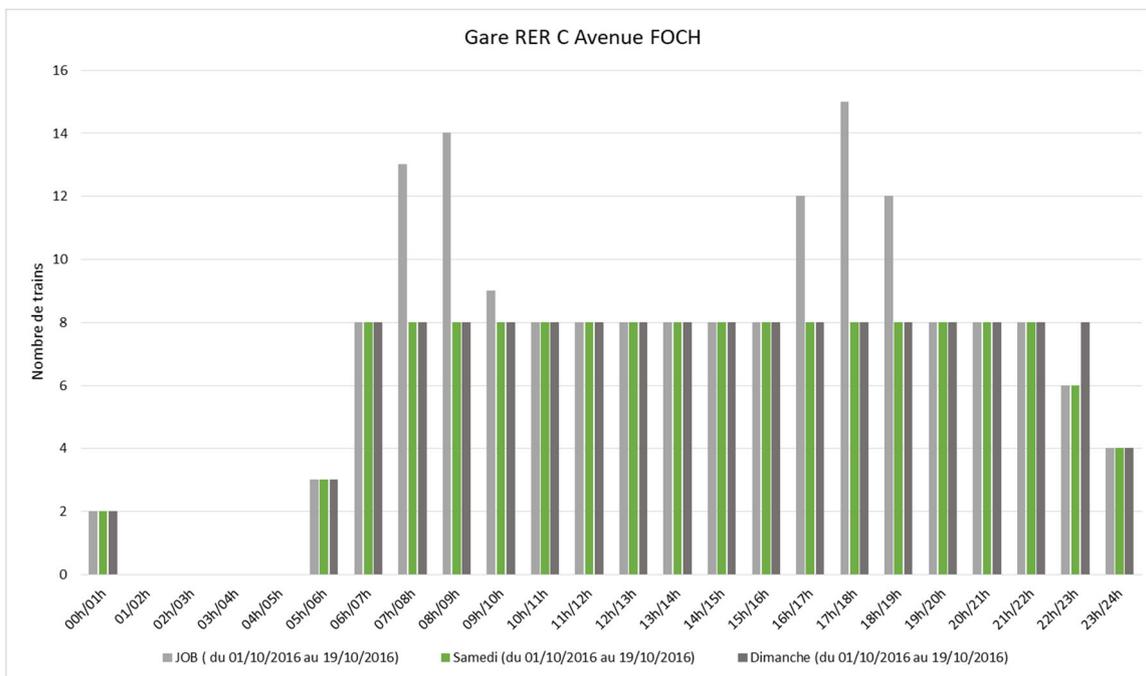


Figure 31 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Avenue Foch, période du 01/10/2016 au 19/10/2016.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations moyennes en **particules** à l'échelle journalière est présenté à la Figure 32 pour les jours ouvrés en gare d'Avenue Foch.

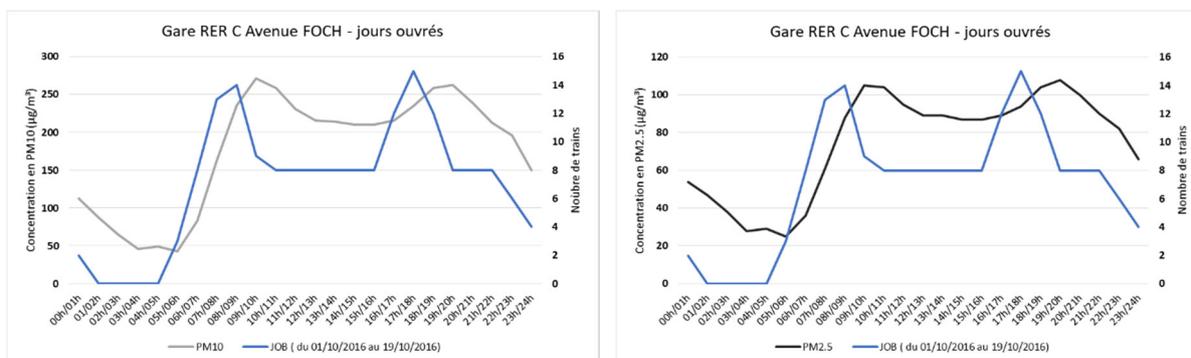


Figure 32 – Teneurs en particules PM₁₀, PM_{2.5} et nombre de trains en circulation à la gare RER C de Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Le profil des teneurs en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) est corrélé au nombre de trains en circulation. Un décalage horaire (1h) apparaît, qui peut s'expliquer par le délai de mesure : la valeur affichée à 10h correspond aux mesures réalisées entre 9h et 10h.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations en particules en fonction du type de jour de la semaine est présenté à la Figure 33. Les teneurs observées en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) sont liées au nombre de trains en circulation.

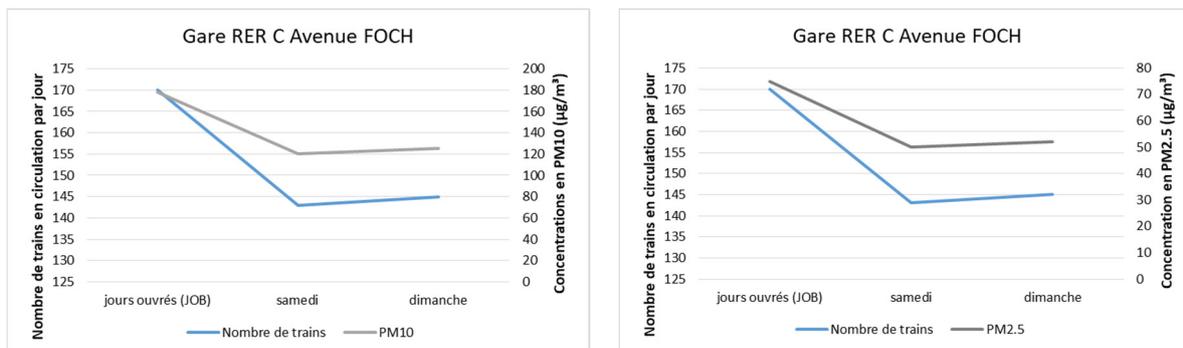


Figure 33 – Teneurs en particules PM₁₀ et PM_{2.5} observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 31/12/2018.

Ces résultats montrent que la circulation des trains, corrélée aux niveaux de particules, est un facteur d'influence important de la concentration en particules en gare.

Comme observé avec les teneurs en CO₂, le nombre de voyageurs peut également avoir une influence sur les concentrations en particules en gare. En effet, les voyageurs, en circulant sur le quai, favorisent la remise en suspension des particules dans l'air. Le croisement entre le nombre de voyageurs et les teneurs de particules en gare ne peut être réalisé faute de données disponibles.

Un croisement du nombre de trains avec les teneurs en **NO** et **NO₂** ne montre pas de corrélation (cf. Figure 34) pendant la période d'ouverture de la gare au public. La nuit, les concentrations plus élevées en NO, alors que la circulation commerciale a cessé, sont dues aux trains de travaux (qui ne sont pas comptabilisés).

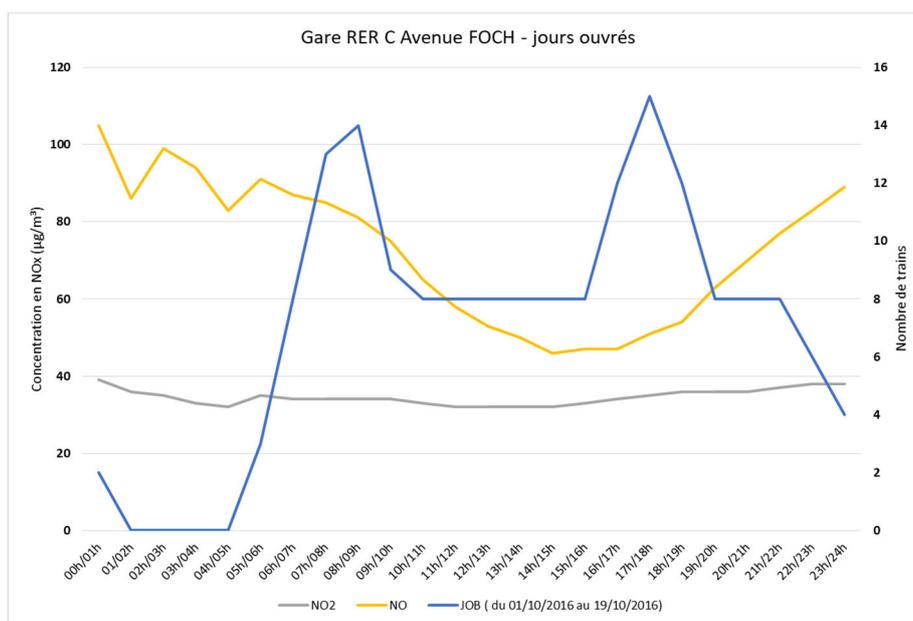


Figure 34 – Teneurs en NO_x, et nombre de trains en circulation à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 12/04/2018 au 26/10/2018.

L'influence de divers paramètres de la gare d'Avenue Foch a été étudiée.

- **Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules sur le quai**, d'où des maxima observés aux heures de pointe les jours ouvrés.
- Les niveaux en CO₂, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules en gare d'Avenue Foch.

4. CONCLUSION

Ce rapport présente les niveaux de pollution observés en gare RER C d'Avenue FOCH sur la période d'avril à décembre 2018. Cette gare bénéficie d'un suivi en continu mis en place dans le cadre du partenariat signé entre Airparif et SNCF Gares d'Ile-de-France.

Les éléments à retenir concernant les **particules PM₁₀** et **PM_{2.5}** sont :

- Les **teneurs en particules fines PM₁₀** mesurées sur les quais du RER C en gare d'Avenue Foch au cours de la période de mesure (avril à décembre 2018) **étaient en moyenne de 168 µg/m³**, le maximum horaire atteint étant de 1318 µg/m³ (enregistré la nuit).
- **Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} étaient de 70 µg/m³**, pour un maximum horaire de 476 µg/m³ (enregistré la nuit).

Ces concentrations moyennes en particules sont largement supérieures à celles enregistrées sur la même période en gare de Magenta.

La répartition mensuelle montre des fluctuations, dans des proportions similaires en PM₁₀ et PM_{2.5}. Les mois de printemps présentent les niveaux moyens les plus faibles.

L'évolution des profils hebdomadaires montre des concentrations plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine : une baisse de l'ordre de 30 % pour les PM₁₀ et PM_{2.5} est enregistrée. Les profils journaliers montrent des concentrations minimales la nuit, lors de la période de fermeture de la gare. Les teneurs sont maximales lors des pointes du matin (9-12h) et du soir (18-21h). Enfin, les concentrations sont plus importantes en service commercial que sur une journée de 24h, de l'ordre de 13% pour les PM10 et 11% pour les PM2.5.

Concernant les **oxydes d'azote (NO et NO₂)**, la teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C à Avenue Foch est de **38 µg/m³ en NO** et **35 µg/m³ pour le NO₂**.

Comme pour les particules, à l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine. La baisse est de l'ordre 60 % pour le NO et de 20 % pour le NO₂.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes sont les plus forts (entre 23h et 5h), correspondant à la période des travaux de maintenance réalisés sur le réseau souterrain, voire uniquement à des passages de trains travaux à locomotive diesel (en moyenne 64 µg/m³ en NO et 38 µg/m³ en NO₂). Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée (le teneur moyenne est NO est de 47 µg/m³ et celle de NO₂ de 37 µg/m³).

La part des **métaux** dans les **particules PM₁₀**, suivie périodiquement, est en moyenne de 50 %. Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux. Suivent ensuite **l'Aluminium** (1.1 %), le **Zinc** (0.9 %), le **Manganèse** (0.8 %), le **Chrome** (0.4 %) et le **Nickel** (0.1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables.

La part des différents composés varie modérément pendant l'ensemble des mesures.

La circulation ferroviaire et la fréquentation de la gare sont les principaux paramètres d'influence des concentrations en particules sur le quai de la gare.

Concernant les oxydes d'azote, les variations temporelles observées en gare d'Avenue Foch ne sont pas liées à la circulation des trains de voyageurs mais aux travaux nocturnes.

Compte tenu des fortes teneurs en polluants en gare RER C Avenue Foch, une influence de l'air extérieur sur les niveaux intérieurs est peu visible.

ANNEXE

ANNEXE 0 :

ÉLÉMENTS SUR LES COMPOSÉS SUIVIS

Les Oxydes d'Azote (NO_x) regroupent le Monoxyde d'Azote (NO) et le Dioxyde d'Azote (NO₂). Ils sont émis lors des combustions, à haute température, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole, etc.). Ainsi le NO₂ est un polluant indicateur des activités de combustion, notamment du trafic routier en air extérieur. Il est en effet directement émis par les sources motorisées de transport (émission directe ou « primaire »), et dans une moindre mesure par le chauffage résidentiel. Il est également produit dans l'atmosphère à partir des émissions de Monoxyde d'Azote, (NO) sous l'effet de leur transformation chimique en NO₂ (polluant « secondaire »). Les processus de formation du NO₂ sont étroitement liés à la présence d'Ozone dans l'air ($\text{NO} + \text{O}_3 \leftrightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$). C'est un polluant dont la source est essentiellement extérieure. Dans les enceintes souterraines, les seules sources de NO_x sont les locomotives diesel des trains de travaux.

Le Monoxyde d'Azote (NO) n'est pas toxique pour les humains aux concentrations généralement rencontrées dans l'environnement. Le Dioxyde d'Azote (NO₂) est un gaz irritant pour les bronches. Des études épidémiologiques ont montré que les symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique augmentent avec une exposition de longue durée au NO₂. Une diminution de la fonction pulmonaire est également associée aux concentrations actuellement mesurées dans les villes d'Europe et d'Amérique du Nord. A des concentrations dépassant 200 µg/m³, sur de courtes durées, c'est un gaz toxique entraînant une inflammation importante des voies respiratoires.

Sur l'environnement, il contribue au phénomène des pluies acides, qui appauvrissent les milieux naturels (sols et végétaux), ainsi qu'à la formation de l'ozone.

ANNEXE 1 :

ÉLÉMENTS TECHNIQUES DE LA GARE AVENUE FOCH

Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Pas de correspondance.

Un quai central encadré de 2 voies.

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 1 823 par jour (source SNCF, carte des montants 2016)

Caractéristiques du matériel roulant :

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

Véhicules à étage (2 niveaux), entre 872 et 1536 places totales par train.

Energie motrice : électrique par caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

Des travaux de nuit ont été réalisés durant l'année 2018, entraînant régulièrement la fermeture de la portion Nord du RER C (Pontoise – Avenue Henri Martin) à partir de 23h.

ANNEXE 2 :

DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

Indicateurs de la pollution retenus

Les connaissances d'Airparif et de la SNCF en matière de pollution (pollution extérieure pour le premier, notamment au travers de la cinquantaine de stations de mesure permanentes composant le réseau d'Airparif ; pollution intérieure dans les enceintes souterraines ferroviaires pour le second, au travers des études temporaires réalisées par la SNCF), ainsi que des analyses bibliographiques sur le sujet, permettent de définir les polluants atmosphériques à mesurer afin de répondre aux objectifs de l'étude.

L'air à l'intérieur des espaces souterrains ferroviaires est caractérisé par la présence de **particules**. Elles proviennent majoritairement de la circulation des trains (systèmes de freinage, ballast ...), mais également de l'air extérieur.

Dans le cadre du partenariat, les particules fines PM₁₀ et très fines PM_{2.5} sont mesurées.

Certains **métaux**, traceurs du trafic ferroviaire, sont également mesurés pour caractériser la pollution intérieure. Le trafic ferroviaire, via principalement le roulage des trains et le système de freinage, est un émetteur important.

Enfin, les paramètres de confort (CO₂, Humidité relative et Température) ont été suivis.

Spécifiquement à la gare de référence Avenue Foch, des mesures en dioxyde d'azote, spécifique de la pollution urbaine, ont été réalisées.

Moyens techniques mis en œuvre ANALYSEURS AUTOMATIQUES

Des sites automatiques, renseignant les concentrations de pollution au pas de temps horaire, ont été mis en place, afin de disposer de données temporelles fines de pollution pour l'interprétation des résultats.

La station de mesure se présente sous forme d'une station classique de mesure de la qualité de l'air, équipée d'analyseurs automatiques installés au sein d'une armoire dans le cadre de cette étude. Une station d'acquisition permet un échange régulier d'informations depuis le siège d'Airparif.

Le fonctionnement d'une station mobile est identique à celui de l'ensemble des stations permanentes du réseau fixe d'Airparif et implique des contraintes techniques lourdes : accès et connexion aux lignes électriques et si possible téléphoniques, ainsi que la maintenance régulière des analyseurs.



Les concentrations en particules (PM₁₀)¹² et particules fines (PM_{2.5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x¹³ sur le site d'Avenue Foch.

PRELEVEMENTS MANUELS

Toutes les mesures ne peuvent pas être réalisées par analyseur automatique : c'est le cas des métaux. La mesure se réalise en deux temps : prélèvement sur filtre, puis analyse en différé dans un laboratoire spécifique.

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant¹⁴.

Afin d'être conforme aux pratiques existantes dans les enceintes souterraines, les prélèvements de métaux sont réalisés pendant 5 jours ouvrés (il a été choisi, conjointement avec SNCF Gares d'Ile-de-France, de réaliser les prélèvements au cours de la 1^{ère} semaine de mesure, du lundi au vendredi), entre le passage du 1^{er} train (environ 5h) et celui du dernier train (environ 1h).

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES⁸ dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd), Chrome (Cr) et Aluminium (Al).

Les mesures ont été réalisées sur les particules PM₁₀, prélevées sur des filtres en quartz selon la norme NF EN 14902 (mesure de la fraction PM₁₀ de la matière particulaire en suspension). Le débit est d'environ 2.3 m³/h.

L'analyse est réalisée par ICPMS (Analyse par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif) (analyse) selon norme NF EN 14902.



VALIDATION DES MESURES

Des opérations de vérifications, de maintenance et d'étalonnage sont réalisées régulièrement, permettant de s'assurer que les données recueillies sont d'une précision, d'une exactitude, d'une intégralité, d'une comparabilité et d'une représentativité satisfaisante.

Un processus de validation par du personnel qualifié comporte deux étapes obligatoires :

- une validation technique, réalisée quotidiennement,
- une validation environnementale, réalisée de manière hebdomadaire.

Une invalidation peut être due à un problème technique de l'analyseur, à un événement extérieur (coupure électrique par exemple) rendant la donnée non représentative, etc.

L'exploitation des données est réalisée sur des relevés validés. Une donnée est considérée comme valide si au moins 75% de ses éléments constitutifs le sont. Par exemple, une moyenne horaire est valide si au moins 75 % (≥) de données 15 minutes sont valides, consécutives ou non sur l'heure.

¹² Mesures des PM₁₀ et PM_{2.5} selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5} 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.

¹³ Mesures des NO_x selon la norme NF EN 14211 par réduction catalytique et chimiluminescence.

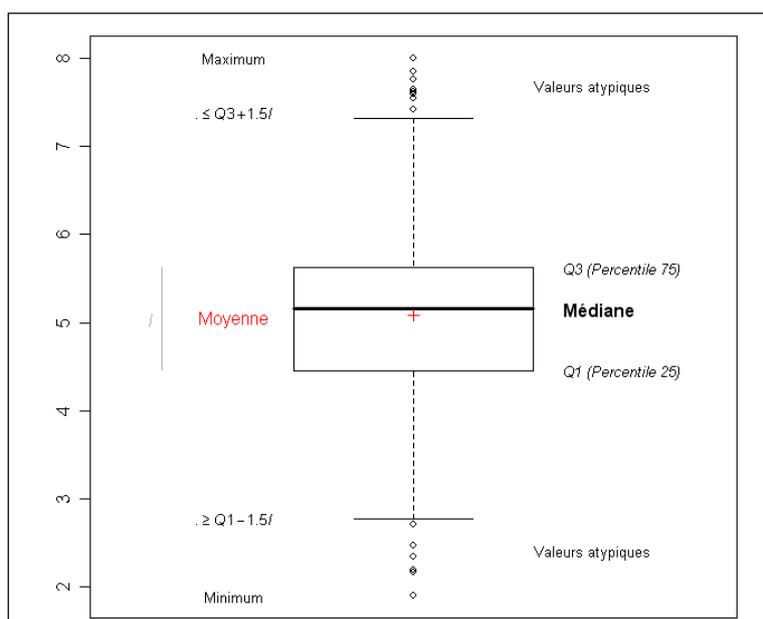
¹⁴ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 :

BOITE A MOUSTACHE

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

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



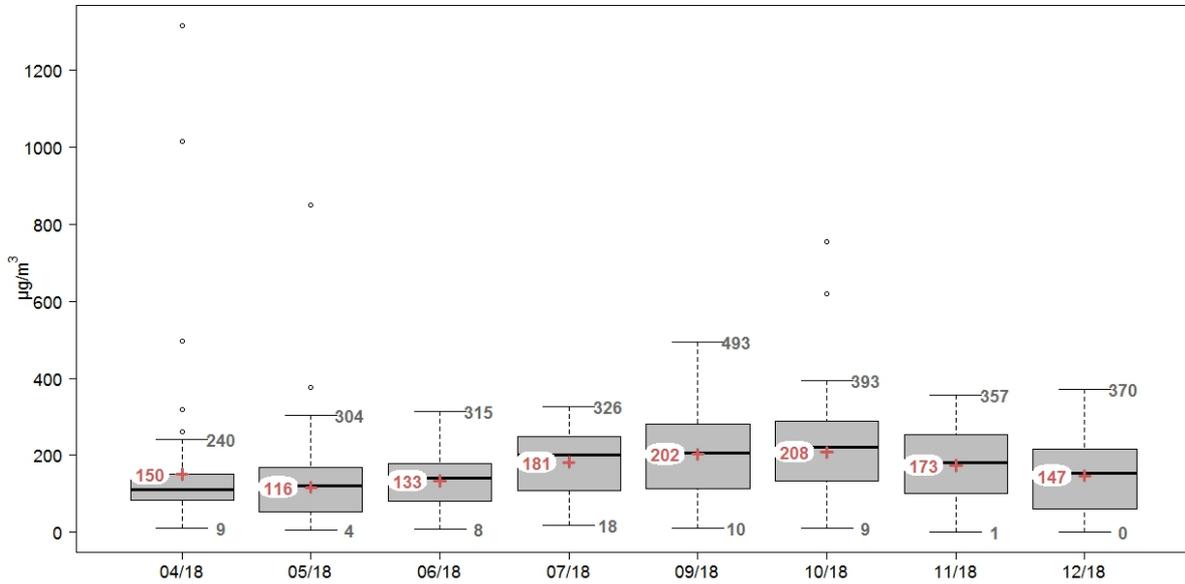
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des 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).

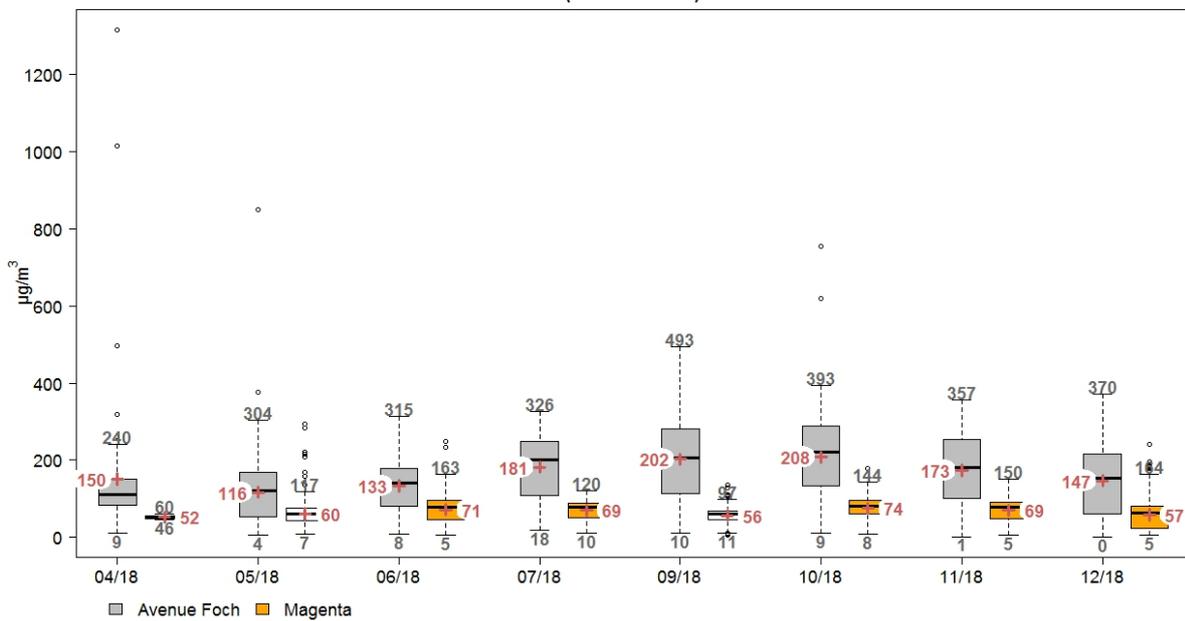
ANNEXE 4 :

BOITES A MOUSTACHES DES RELEVES MENSUELS DE PM₁₀, PM_{2.5} ET NO₂, EN GARE D'AVENUE FOCH ET A MAGENTA, PERIODE D'AVRIL A DECEMBRE 2018.

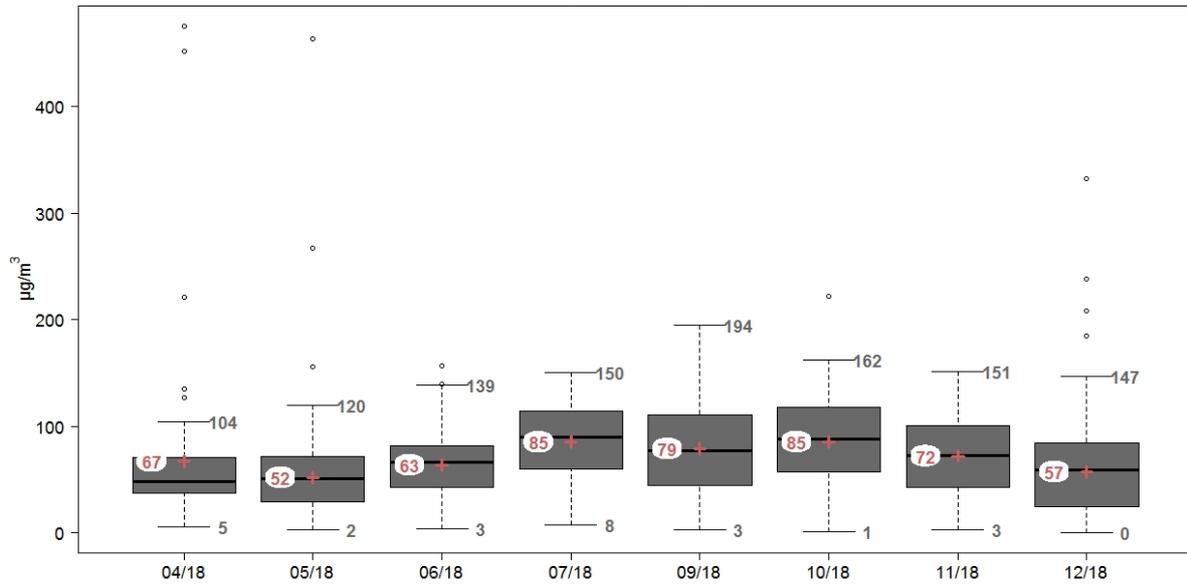
Répartitions mensuelles des PM₁₀, Quai RER Avenue Foch (hors vacances)



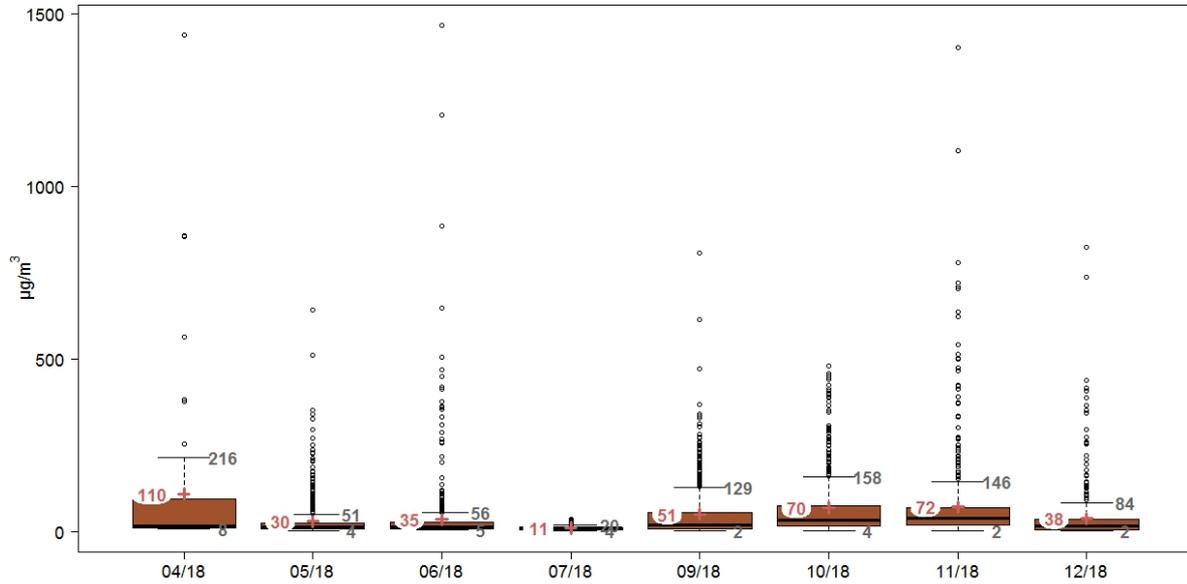
Répartitions mensuelles des PM₁₀, Quai RER Avenue Foch vs. Magenta (hors vacances)



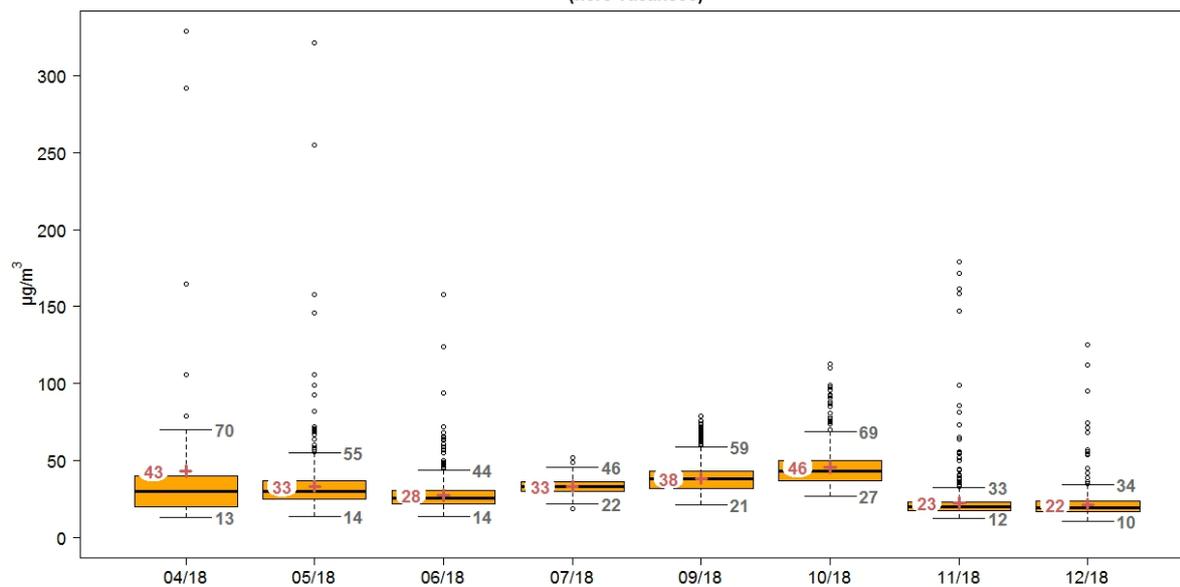
Répartitions mensuelles des PM2.5, Quai RER Avenue Foch
(hors vacances)



Répartitions mensuelles du NO, Quai RER Avenue Foch
(hors vacances)



Répartitions mensuelles du NO₂, Quai RER Avenue Foch
(hors vacances)



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM, PLOMB ET ALUMINIUM A LA GARE RER C D'AVENUE FOCH,

MESURES ENTRE AVRIL ET DECEMBRE 2018

