

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

Janvier-Décembre 2019

Juin 2020





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 DE JANVIER A DECEMBRE 2019

Juin 2020

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

SYNTHESE

Un 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).

Ce programme se poursuit avec la réalisation de **mesures en continu en gare RER C d'Avenue Foch** depuis 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).

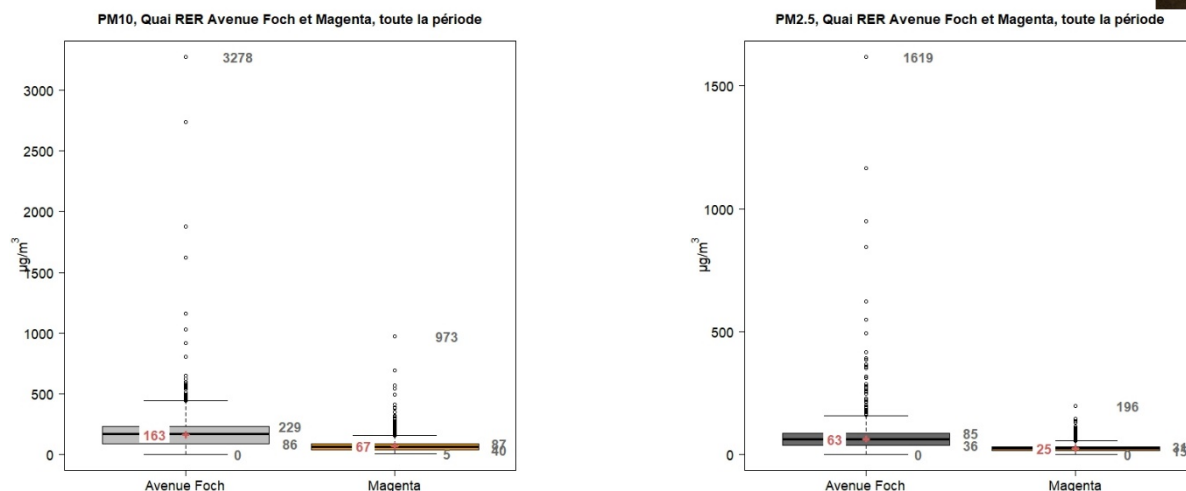
Les particules fines (PM_{10}) et très fines ($PM_{2.5}$) sont suivies, ainsi que les métaux et les oxydes d'azote (NO et NO_2).

Des mouvements sociaux ont perturbés la circulation des trains du **5 au 31 décembre**. Ce rapport présente donc les résultats du 1^{er} Janvier au 4 Décembre.

Les principaux résultats en particules

Les teneurs en particules fines PM_{10} mesurées sur les quais du RER C en gare d'Avenue Foch, en 2019, sont en moyenne de $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le maximum horaire atteint étant de $3278 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (enregistré le 26 septembre entre 00 et 01h), probablement lors de travaux.

Les niveaux moyens en particules très fines $PM_{2.5}$ atteignent $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la même période, pour un maximum horaire de $1619 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (atteint au même moment que pour les PM_{10}).

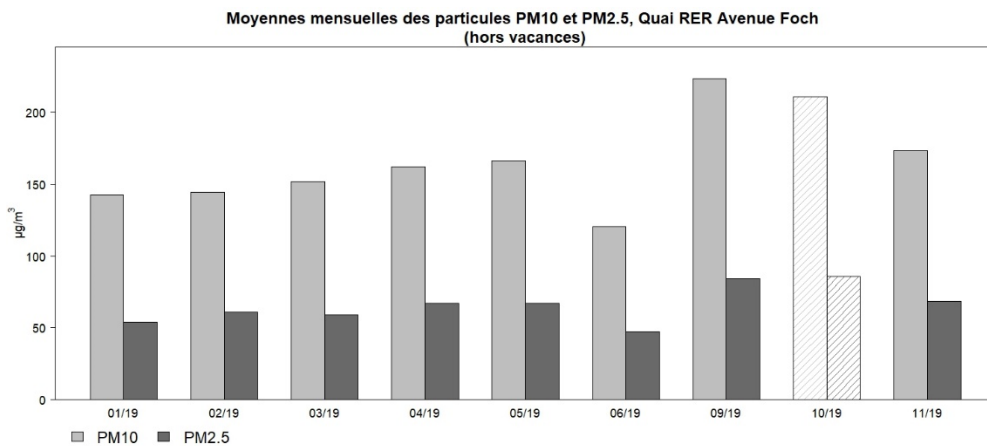


Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Magenta ? Les niveaux moyens en PM_{10} et $PM_{2.5}$ sont largement supérieurs à ceux de la station de référence Magenta (respectivement de 67 et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, enregistrés sur la même période).

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

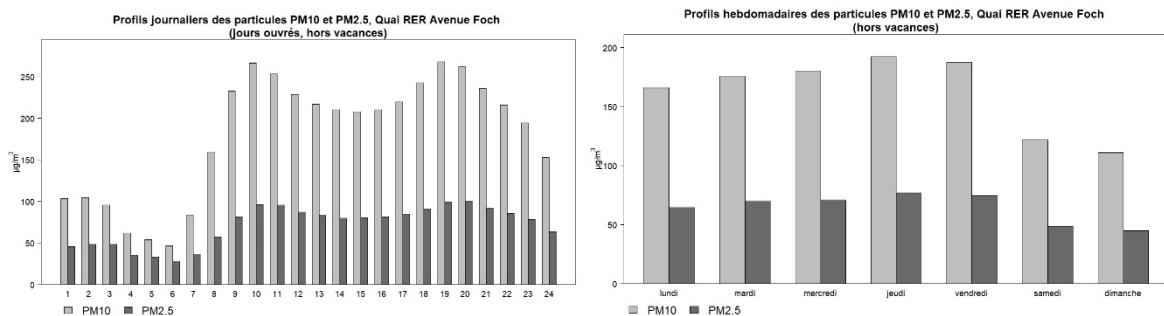
Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle mensuelle, hebdomadaire, horaire) ?

A l'échelle mensuelle, on observe une forte variabilité des concentrations en particules, plus marquée pour les particules PM₁₀ que pour les PM_{2.5}. Ces variations seraient liées à la fréquence des travaux réalisés sur les infrastructures la nuit.



Les variations temporelles hebdomadaires et journalières sont fortement liées au nombre de trains 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 et les PM_{2.5} avec - 35 %, en lien avec la baisse de fréquentation et de trafic le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).

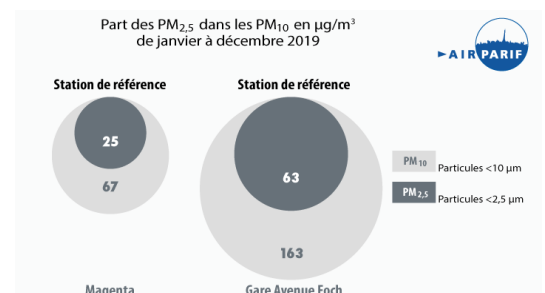


Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes hors périodes de travaux sont les plus faibles, avec en moyenne 62 µg/m³ en PM₁₀ et 33 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales le matin (9-12h) et le soir (19-21h). Les concentrations dépassent alors 250 µg/m³ en moyenne en PM₁₀ et 93 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 0,42, comparable à celui enregistré à Magenta (0,4). Les ratios varient peu à l'échelle mensuelle ou hebdomadaire. Le profil journalier montre des ratios stables en journée (0,38 entre 7h et 24h), et en hausse la nuit (autour de 0,5). Ceci est cohérent avec l'émission de particules plus grossières liée à la circulation des trains.



Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ?

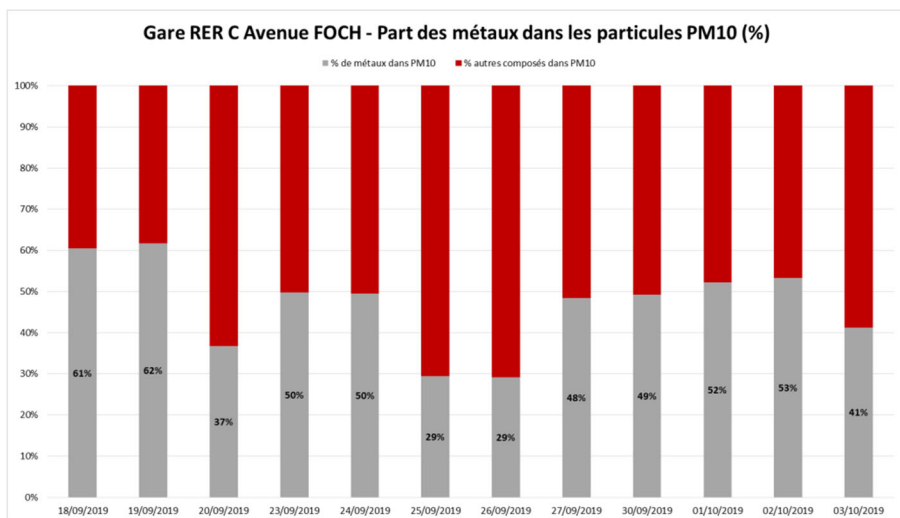
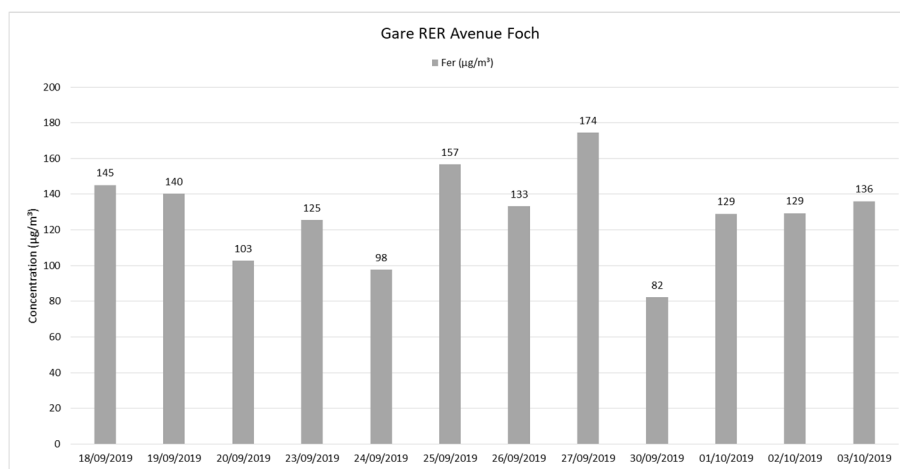
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 29 à 62 % sur les 12 journées de mesure réalisées entre janvier et décembre 2019. Elle est en moyenne de 47%.

Quelle est la répartition entre les onze métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 97 % de la masse des métaux mesurés à Avenue Foch. Suivent ensuite l'**Aluminium** (0,7 %), le **Manganèse** (0,8 %), le **Zinc** (0,6 %), le **Cuivre** (0,5 %) et le **Chrome** (0,3 %). 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 ?

Mis à part les valeurs atypiques observées les 20, 25 et 26 septembre, la part des métaux dans les particules est relativement constante sur la période de mesure, compris entre 50 et 60%.

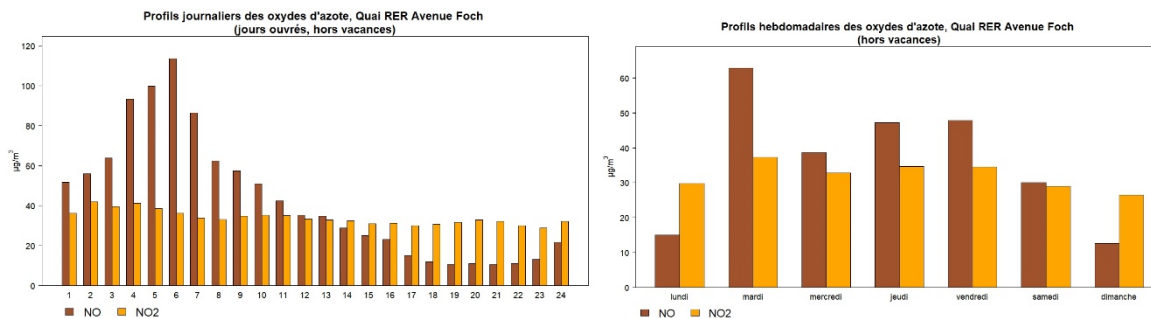


Les principaux résultats des autres composés suivis : oxydes d'azote (NO et NO₂)

Suite à des dysfonctionnements de l'appareil de mesure, certaines données ont été invalidées. Ainsi, l'ensemble des statistiques sur les oxydes d'azote a été calculé sur la période du **1er mars au 31 octobre**.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C d'Avenue Foch, en 2019, est de 29 µg/m³ en NO et 34 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 54 µg/m³ en NO et 38 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 est de 24 µg/m³ et celle de NO₂ avoisine 33 µg/m³, durant le service commercial.

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions plus importantes en NO qu'en NO₂, probablement en lien avec la fréquence des travaux

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, hors périodes de travaux.
- 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.
- Le faible impact de l'air extérieur sur les concentrations 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 d'une ventilation mécanique ne peut être étudié en gare d'Avenue Foch, car elle n'en a pas. 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, POLLUANTS MESURES 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	22
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	27
2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE.....	32
2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL	35
2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	38
2.3.1. NIVEAUX MOYENS	38
2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	39
2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	40
2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE.....	41
2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL.....	42
2.4 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	43
2.4.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	43
2.4.2. REPARTITION DES METAUX.....	45
2.4.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	46
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	48
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	48
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	50
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	52
4. CONCLUSION	55
ANNEXE	56

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. Par exemple, la valeur du percentile 25 est la valeur pour laquelle 25% des données sont inférieures à la valeur du percentile.

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 en 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 collèges 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 ; prévoir la qualité de l'air au jour le jour, les épisodes de pollution et les évolutions futures ;
- ... **Comprendre** la pollution atmosphérique et ses impacts en lien avec le climat, l'énergie et l'exposition des personnes ;
- ... **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, 24 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 (2016-2020) : 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 influencer 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 2019, à l'exception de la période de grève (du 5 au 31 décembre). Des dysfonctionnements ont eu lieu au cours de l'année sur **l'analyseur d'oxydes d'azote**. Ainsi certaines données ont été **invalidées** et seule la **période du 1^{er} mars au 31 octobre est prise en compte** pour les calculs statistiques de ces polluants.

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).

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

³ Détails sur la station de Magenta : <http://www.iseo.fr/sncf/rapports/DOC050453-00vf.signed.pdf>

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



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, POLLUANTS MESURES 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 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 2.

Le nombre de voyageurs montant en gare d'Avenue Foch (RER C) est de 2 310 par jour. 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 179 les jours ouvrés (jours JOB), et de 143 trains les samedis et 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.

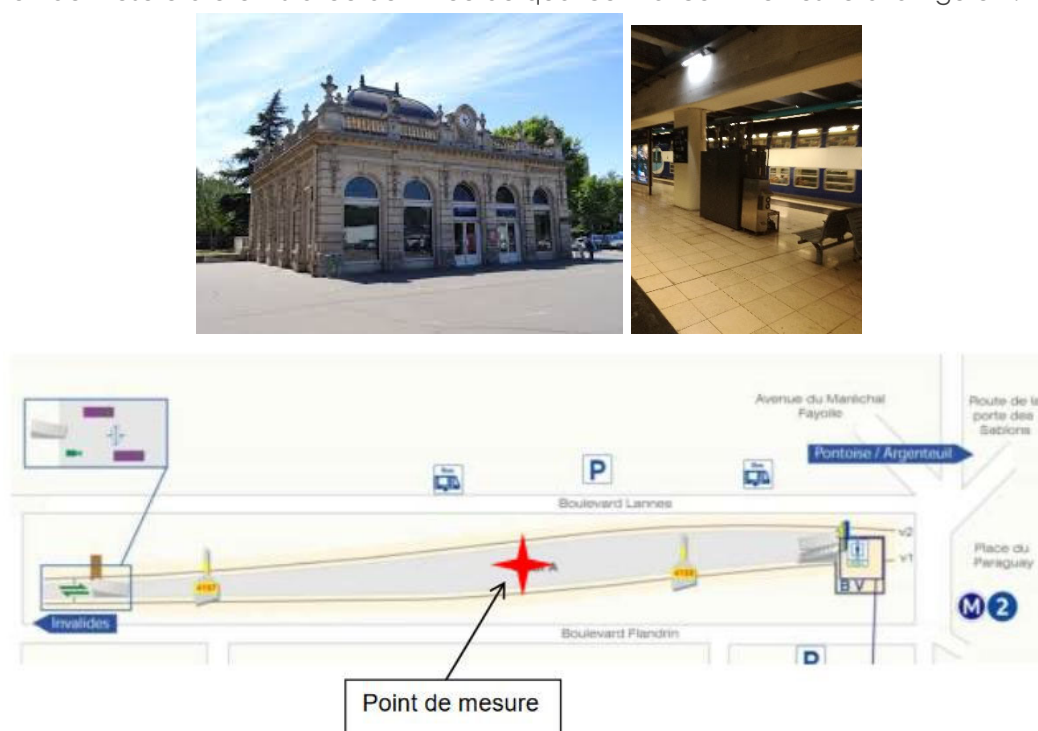


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare d'Avenue Foch, ligne RER C, quai central), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare

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

Les détails sur les indicateurs de pollution retenus, les appareils de mesure mis en œuvre et la qualité des résultats, sont présentés en ANNEXE 1 et 3.

Des informations détaillées sur le site instrumenté dans la gare de Magenta, géré par AEF, sont disponibles dans les bilans annuels de cette gare⁴.

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 depuis **avril 2018**.

Un **mouvement de grève** au sein de la SNCF a perturbé le trafic ferroviaire sur la ligne du RER C en décembre 2019. Ce mouvement de grève s'est traduit par une perturbation de la circulation des trains plus ou moins importante selon les jours. Afin de rendre compte au mieux des niveaux moyens sur le quai, la période de grève n'est pas prise en compte pour les calculs statistiques.

De plus, des **dysfonctionnements** ont perturbé les mesures **d'oxydes d'azote**, de **janvier à mars** et en **novembre et décembre**.

Le présent rapport traite des mesures réalisées en 2019, entre janvier et décembre (jusqu'au 4 décembre : avant grève), à l'exception des mesures d'oxydes d'azote, valides de mars à octobre uniquement.

Une expérimentation de dépollution des particules en suspension s'est déroulée sur le quai de la gare RER C Avenue Foch du 27 mai au 9 septembre. Cette expérimentation s'inscrit dans le cadre de l'appel à projet de la région Ile-de-France « INNOVONS POUR L'AIR DE NOS STATIONS », permettant de tester des solutions innovantes pour améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines d'Île-de-France.

Les résultats de cette expérimentation feront l'objet d'une analyse de rendus spécifiques.

⁴ <http://www.iseo.fr/sncf/rapports/DOC050453-00vf.signed.pdf>

2. NIVEAUX DE POLLANTS RENCONTRES DANS LA GARE

Ce paragraphe présente les résultats de l'analyse des données de surveillance sur le quai de la gare SNCF Avenue Foch : 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 NO_x (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, du 1^{er} janvier au 4 décembre 2019 pour les particules, et du 1^{er} mars au 31 octobre pour les oxydes d'azotes, uniquement pour la gare d'Avenue Foch (mesures non effectuées en gare de Magenta).

Statistiques (µg/m ³)	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
Minimum horaire	0	5	0	0	0	8
Percentile 25 (P25)	86	40	36	15	3	23
Médiane ou Percentile 50	168	65	62	24	6	29
Moyenne	163	67	63	25	29	34
Percentile 75 (P75)	229	87	85	31	18	38
Maximum horaire	3278	973	1619	196	2257	468
% de données horaires valides	94	80	91	80	96	96

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires aux stations de référence Avenue Foch et Magenta, sur la période de mesure.

L'ensemble des paramètres statistiques en gare d'Avenue Foch sont supérieurs à ceux de Magenta. Le niveau moyen en PM₁₀ relevé en gare d'Avenue Foch sur l'année 2019 est de 163 µg/m³. Il est largement supérieur au niveau moyen relevé en gare de référence de Magenta (67 µg/m³ en moyenne sur la même période).

Le niveau moyen en PM_{2.5} à la gare d'Avenue Foch (63 µg/m³) est également plus élevé que celui de la gare de Magenta (25 µg/m³), comme tous les autres paramètres statistiques.

En 2018 (d'avril à décembre), les niveaux moyens en particules PM₁₀ et PM_{2.5} à la gare Avenue Foch étaient respectivement de 168 µg/m³ et 70 µg/m³, soit légèrement plus élevés qu'en 2019. En gare de Magenta, les niveaux moyens en particules sont semblables entre 2018 et 2019.

Concernant les polluants gazeux, le niveau moyen en NO₂ relevé en gare d'Avenue Foch est de 34 µg/m³, celui en NO est de 29 µg/m³. A titre de comparaison sur la même période, une moyenne de 29 µg/m³ en NO₂ et 5 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 37 µg/m³ en NO₂ (et 20 µg/m³ en NO) compte tenu de l'influence des émissions du trafic routier.

En 2018, le niveau moyen en NO₂ était de 35 µg/m³, soit très légèrement supérieure à celui de 2019. En revanche, la concentration moyenne en NO était plus faible en 2018 qu'en 2019, avec 29 µg/m³.

L'interprétation de ces résultats est détaillée dans les paragraphes suivants.

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.

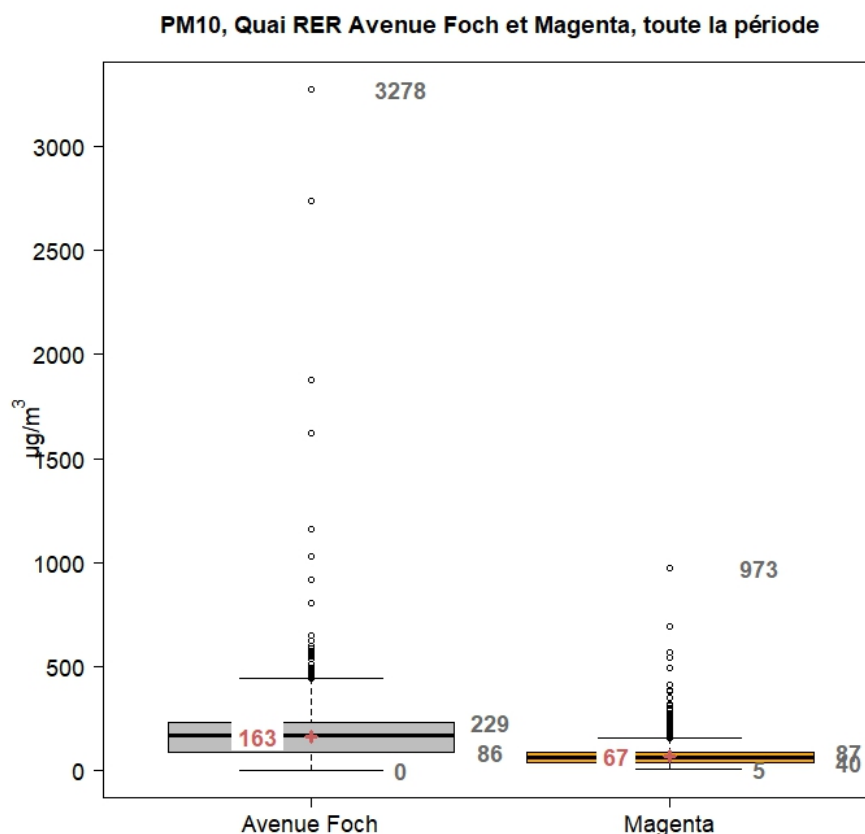


Figure 3 – Boîte à moustaches des relevés horaires en PM₁₀ (en µg/m³) à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de Magenta, en 2019, hors jours de grève.

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 (P25 et P75), 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 4.

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 hors jours de grève, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 86 et 229 µg/m³, pour une moyenne de 163 µg/m³ (médiane légèrement supérieure à 168 µg/m³). Le maximum atteint à Avenue Foch est de 3278 µg/m³, enregistré le jeudi 26 septembre entre 00 et 01h. A cette période, les concentrations en NO et NO₂ ont atteint respectivement 1049 µg/m³ et 271 µg/m³, ce pic de particules est donc lié à des travaux.

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.

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 67 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ avec 50% des données comprises entre 40 et 87 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le maximum horaire enregistré atteint 973 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le mercredi 28 août 2019 entre 10 et 11 h), en lien avec les travaux EOLE.

Le nombre de train circulant dans les deux gares est très différent, avec en moyenne 179 trains par jour ouvré à la gare RER C d'Avenue Foch et 304 trains circulant à Magenta. Le nombre de voyageurs entre ces gares est également très différent avec en moyenne 111 475 voyageurs par jour montant à Magenta, contre un peu plus de 2 300 à la gare d'Avenue Foch (source SNCF). 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 peut, en partie, s'expliquer 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.

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.

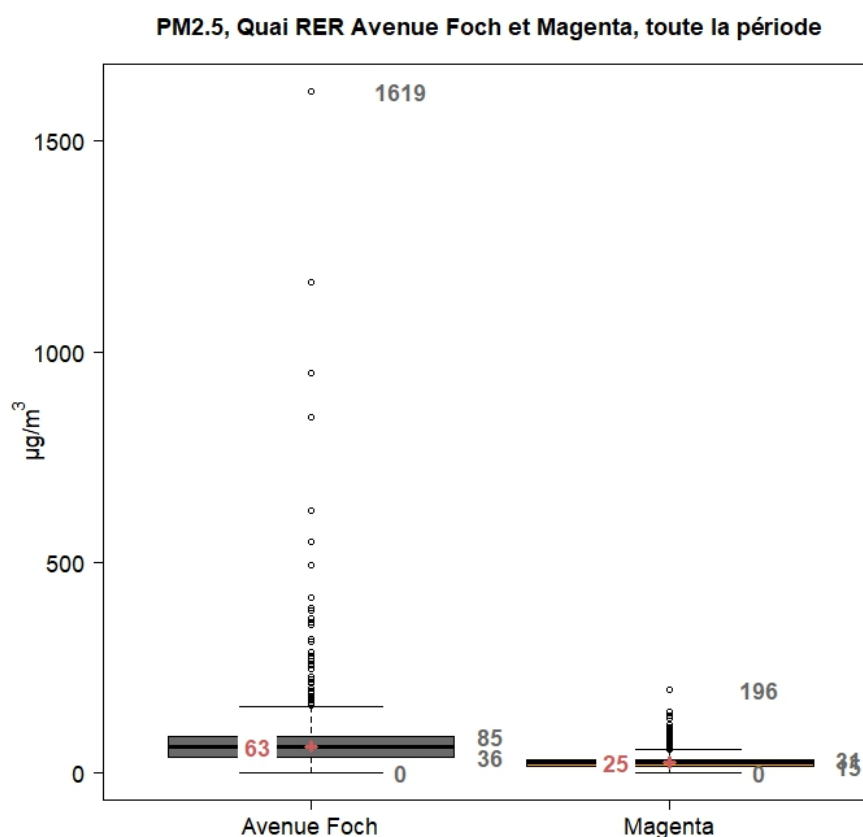


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2.5} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de Magenta, en 2019, hors jours de grève.

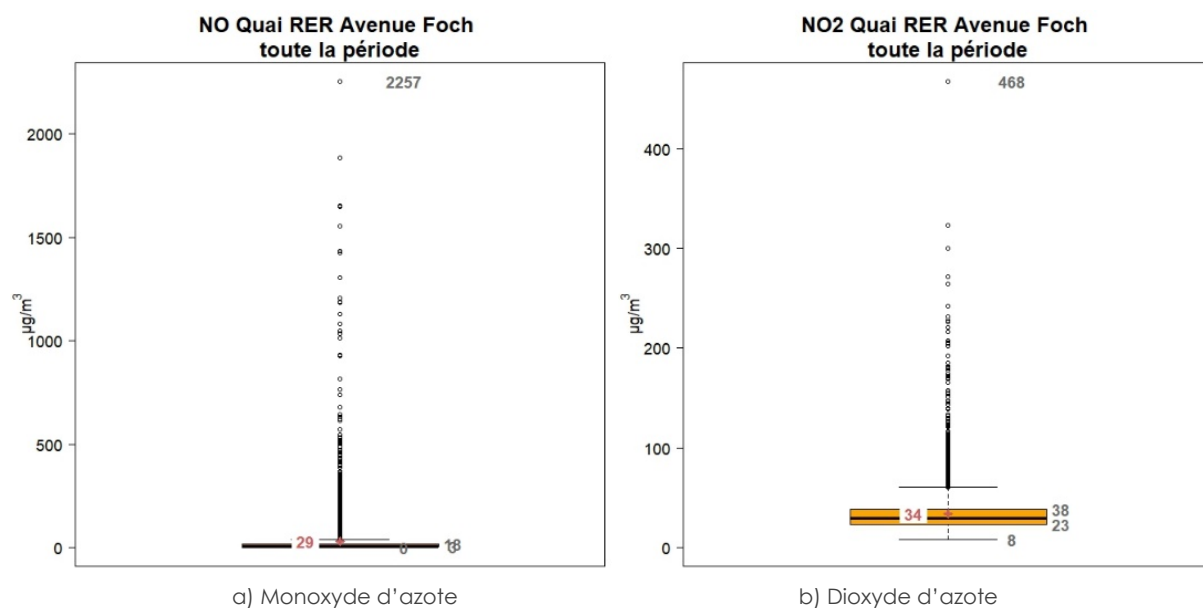
La boîte à moustaches sur l'ensemble de la période de mesure montre une moyenne en PM_{2.5} de 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare d'Avenue Foch, contre 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Magenta. Comme pour les PM₁₀, de nombreuses valeurs atypiques sont mesurées dont les concentrations maximales peuvent être supérieures à 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Des valeurs atypiques sont également mesurées à Magenta sans

toutefois atteindre de telles concentrations (maximum inférieur à 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). 50% des données sont comprises entre 36 et 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Avenue Foch, alors que les niveaux plus faibles enregistrés à Magenta sont pour moitié compris entre 15 et 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Magenta.

Le maximum atteint à Avenue Foch (1619 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) a été enregistré jeudi 26 septembre entre 00 et 01h en même temps que le maximum en particules PM_{10} . A Magenta, il a atteint 196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, au même moment que le pic PM_{10} .

2.1.3. OXYDES D'AZOTE (NOx)

Suite à des dysfonctionnements de l'appareil de mesure, des données ont été invalidées. Ainsi seule la période du 1^{er} mars au 31 octobre est utilisée pour les statistiques relatives aux oxydes d'azote. Ces polluants ne sont pas mesurés à la gare Magenta.



Les deux boîtes à moustaches montrent de nombreuses valeurs atypiques élevées, en lien avec les sources (la principale étant la circulation de trains diesel nocturnes pour les travaux de maintenance). 50 % des données horaires relevées en NO sont comprises entre 3 et 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pour une moyenne de 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et une médiane à 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Concernant le dioxyde d'azote, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 23 et 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pour une moyenne de 34 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et une médiane à 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Faute de mesures dans une autre gare souterraine et étant donné la source principale du NO₂ 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 NO₂ sur la même période sont de 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 37 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en NO₂. 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.

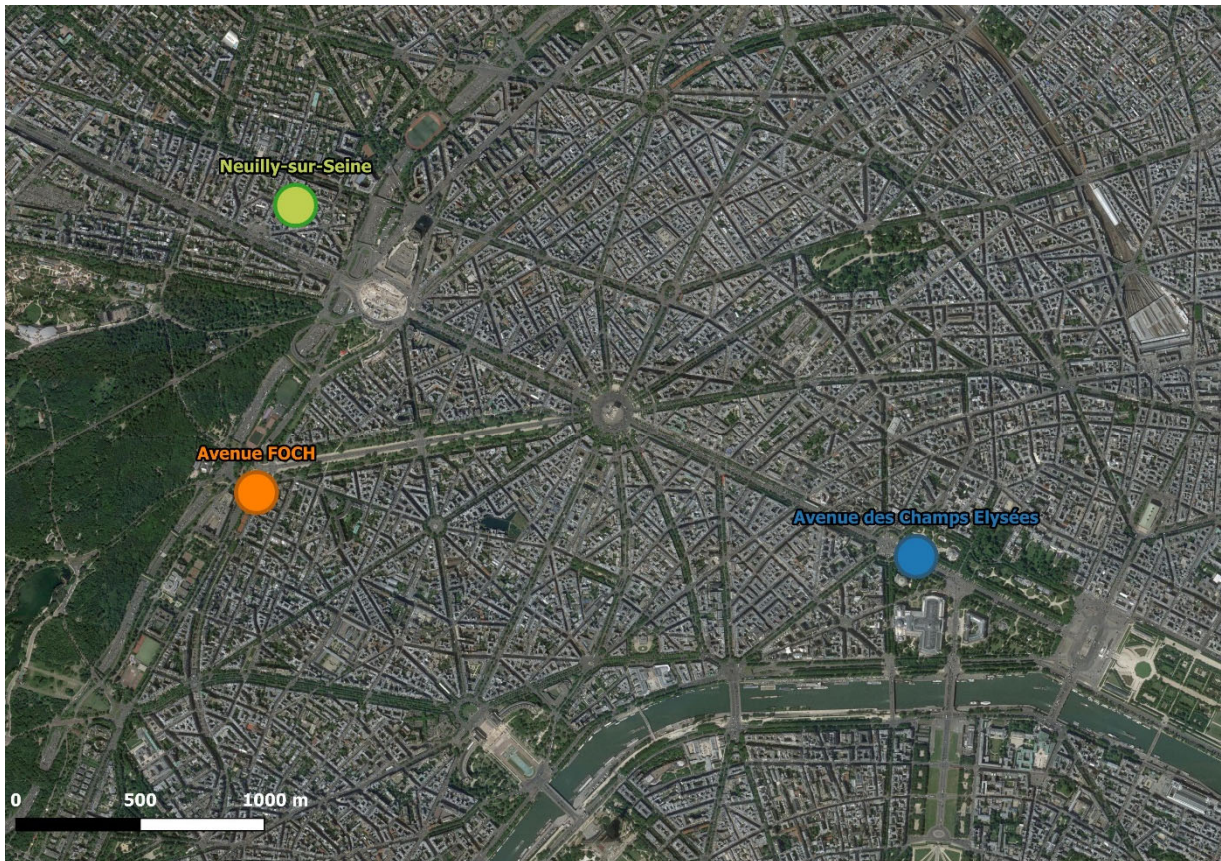


Figure 6 – Localisation de la gare d'Avenue Foch et des deux stations de mesures d'Airparif situées à Neuilly-sur-Seine (fond) et Avenue des Champs Elysées (trafic routier).

La teneur moyenne relevée sur le quai de la gare RER C d'Avenue Foch est de $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM_{10} et de $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO et $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 . Ces niveaux moyens sont 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.

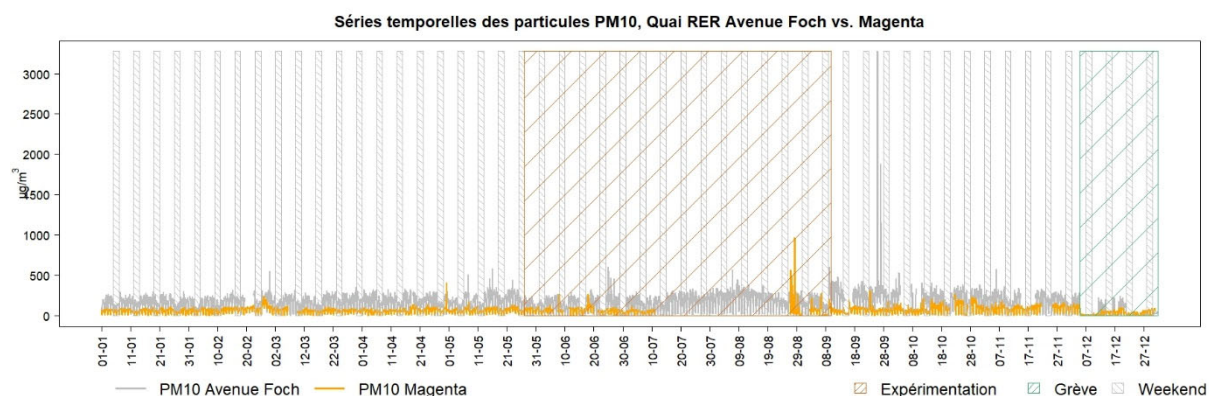


Figure 7 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ : gare RER C d'Avenue Foch et gare de Magenta, en 2019.

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 au cours du mois de décembre 2019, en lien avec les différentes grèves, qui impliquent des baisses du trafic ferroviaire. Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 250 µg/m³. Sur l'ensemble de la campagne, 56 relevés horaires non consécutifs sont supérieurs à 400 µg/m³. Ces valeurs élevées sont principalement observées entre 17 et 21h et la nuit. De la même façon, les teneurs maximales horaires à Magenta sont stables sur l'année, avec quelques pics atypiques excédant rarement 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.

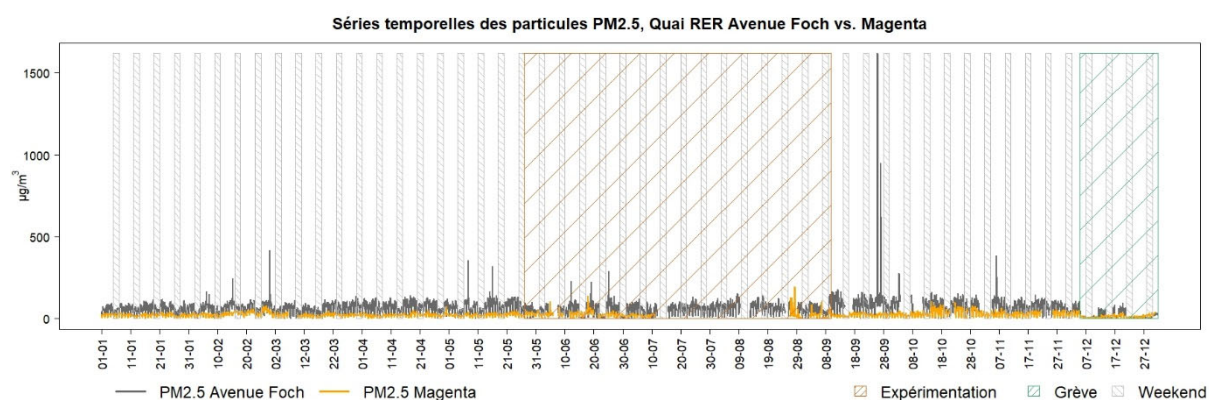


Figure 8 – Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ : gare RER C d'Avenue Foch et gare de Magenta, en 2019.

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 le 26 septembre entre 00 et 01h, avec 1619 µg/m³. Ce pic est très probablement lié à des travaux.

Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Très ponctuellement, des teneurs (27 heures, soit 0.3% 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 196 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, (mercredi 28 août entre 10 et 11h, au même moment que le maximum horaire 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, avec cependant des concentrations 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.

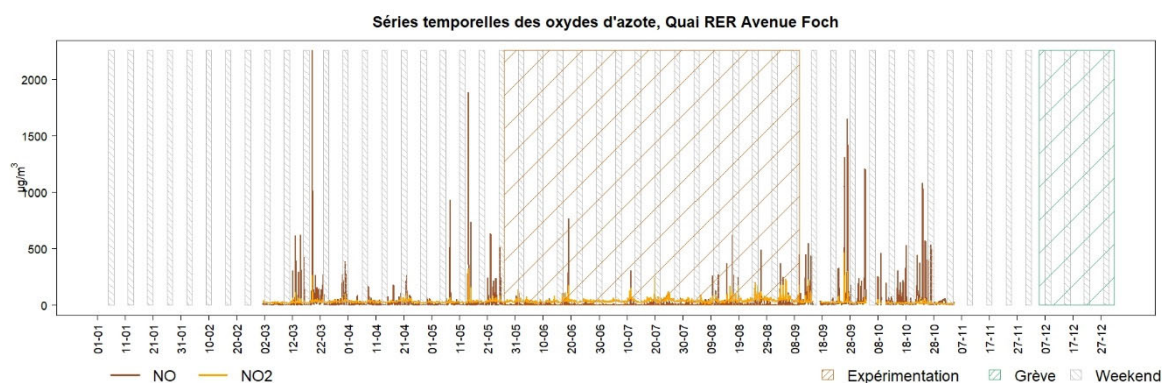


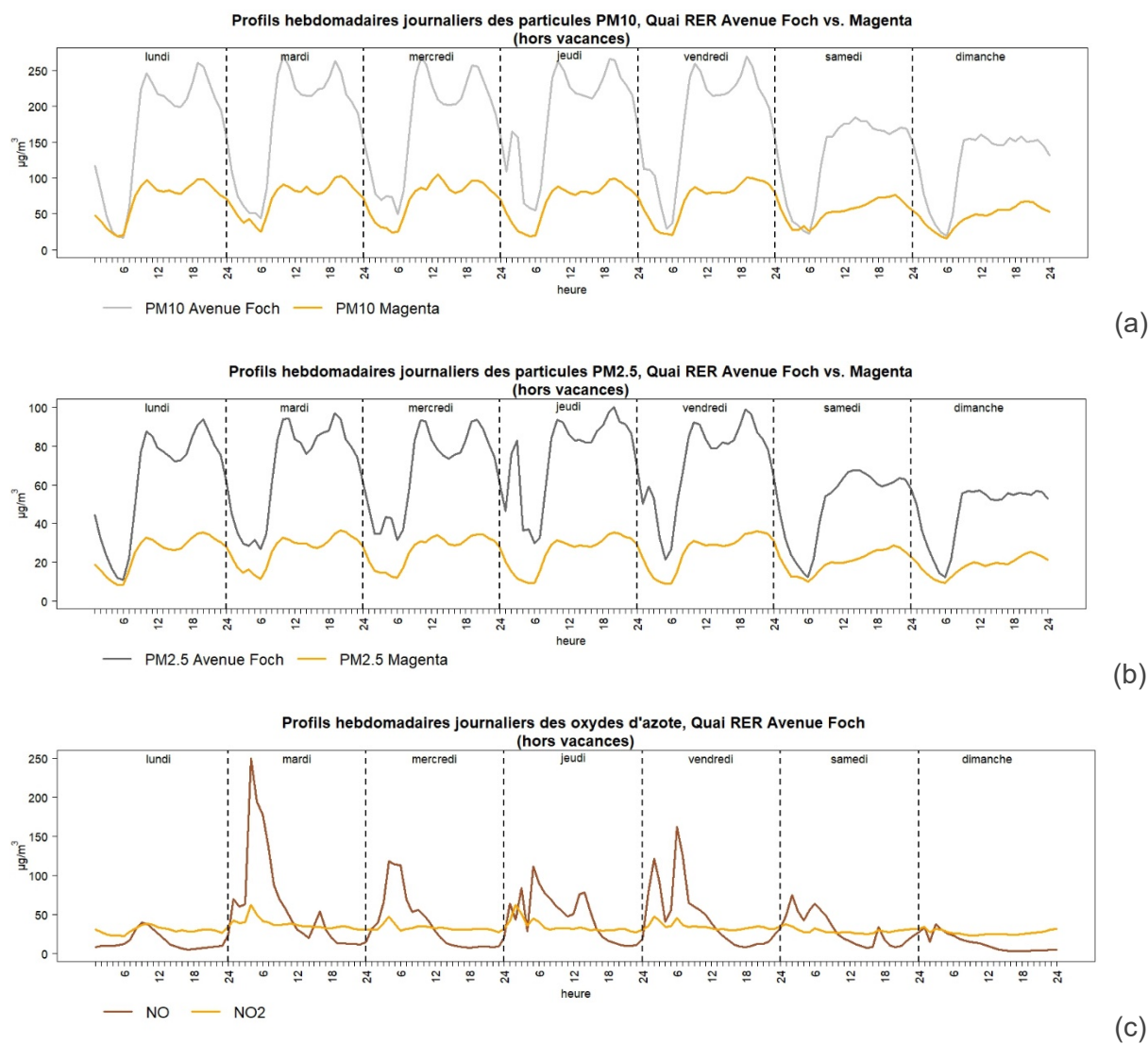
Figure 9 – Evolution des relevés horaires en NO_x , en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 01/03/2019 au 31/10/2019.

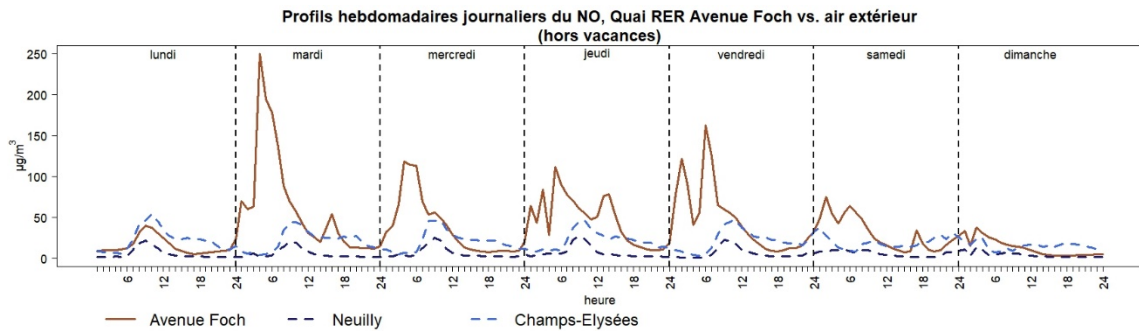
A l'exception de quelques pics, les teneurs en NO et NO_2 sont relativement homogènes sur l'ensemble de la période. 0.3 % des relevés horaires en NO dépassent 1000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, valeurs majoritairement enregistrées entre 21h et 6h. Pour le NO_2 , les niveaux les plus élevés sont mesurés simultanément aux teneurs les plus élevées de NO. Les niveaux les plus élevés de NO_2 peuvent atteindre ponctuellement 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (1.3 % des relevés horaires en NO_2 dépassent les 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

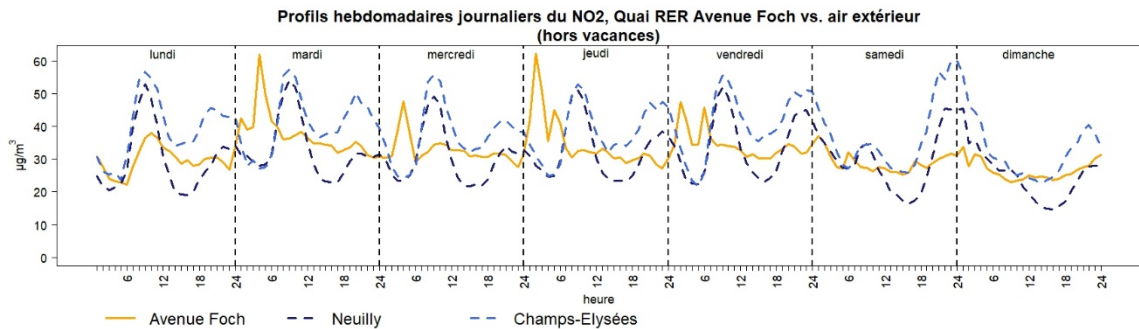
2.2.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

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.





(d)



(e)

Figure 10 – Évolution des profils horaires en $PM_{2.5}$ et PM_{10} à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta (a, b) sur l'année 2019 et évolution des profils horaires en NO et NO_2 à Avenue Foch et en air extérieur (c à e), période du 01/03/2019 au 31/10/2019 (hors jours de grève).

Les graphiques a et b traitent des résultats pour les PM_{10} 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).

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 généralement observés la nuit, aux alentours de 6h.

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 intérieures, à savoir la circulation de trains diesel utilisés pour les travaux, réalisés 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) semblent ralentir la diminution des teneurs en NO générées dans la gare d'Avenue Foch par les travaux nocturnes. Cela n'est toutefois pas visible sur les teneurs en NO_2 .

2.2.2.2. ZOOM SUR LES VARIATIONS JOURNALIÈRES 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 et jours de grève).

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

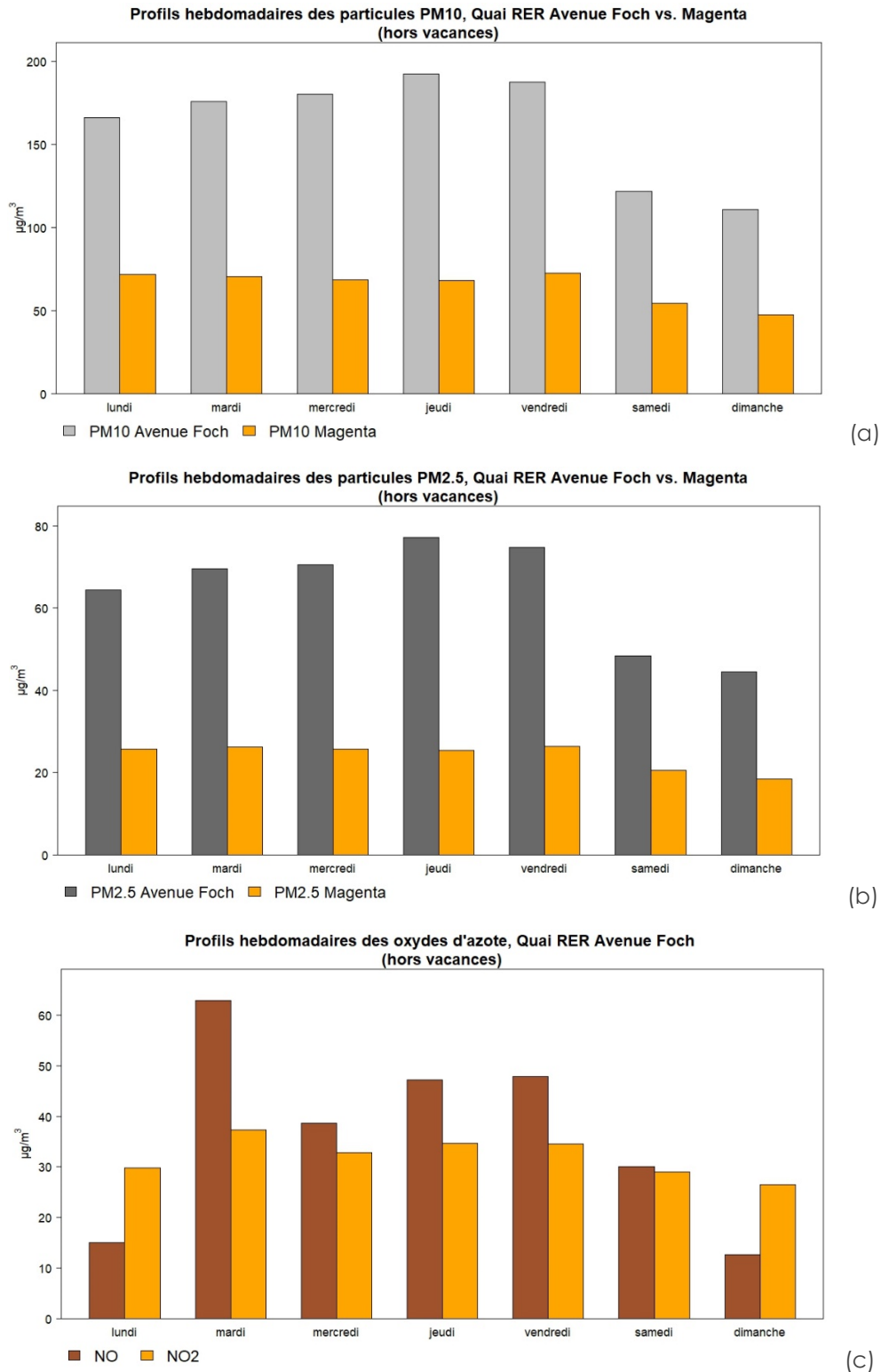


Figure 11 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) et à la gare RER C d'Avenue Foch et de Magenta en 2019. Evolution des profils hebdomadaires en NO et NO₂ (c) à Avenue Foch, période du 01/03/2019 au 31/10/2019 (hors vacances scolaires et jours de grève).

Les niveaux moyens en particules à la station Avenue Foch 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 $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne pour les $\text{PM}_{2.5}$. Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés, de 35 % 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 28 % et 26 % pour les $PM_{2.5}$.

La Figure 12 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en particules fines PM_{10} et très fines $PM_{2.5}$, 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 $PM_{2.5}$ 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)).

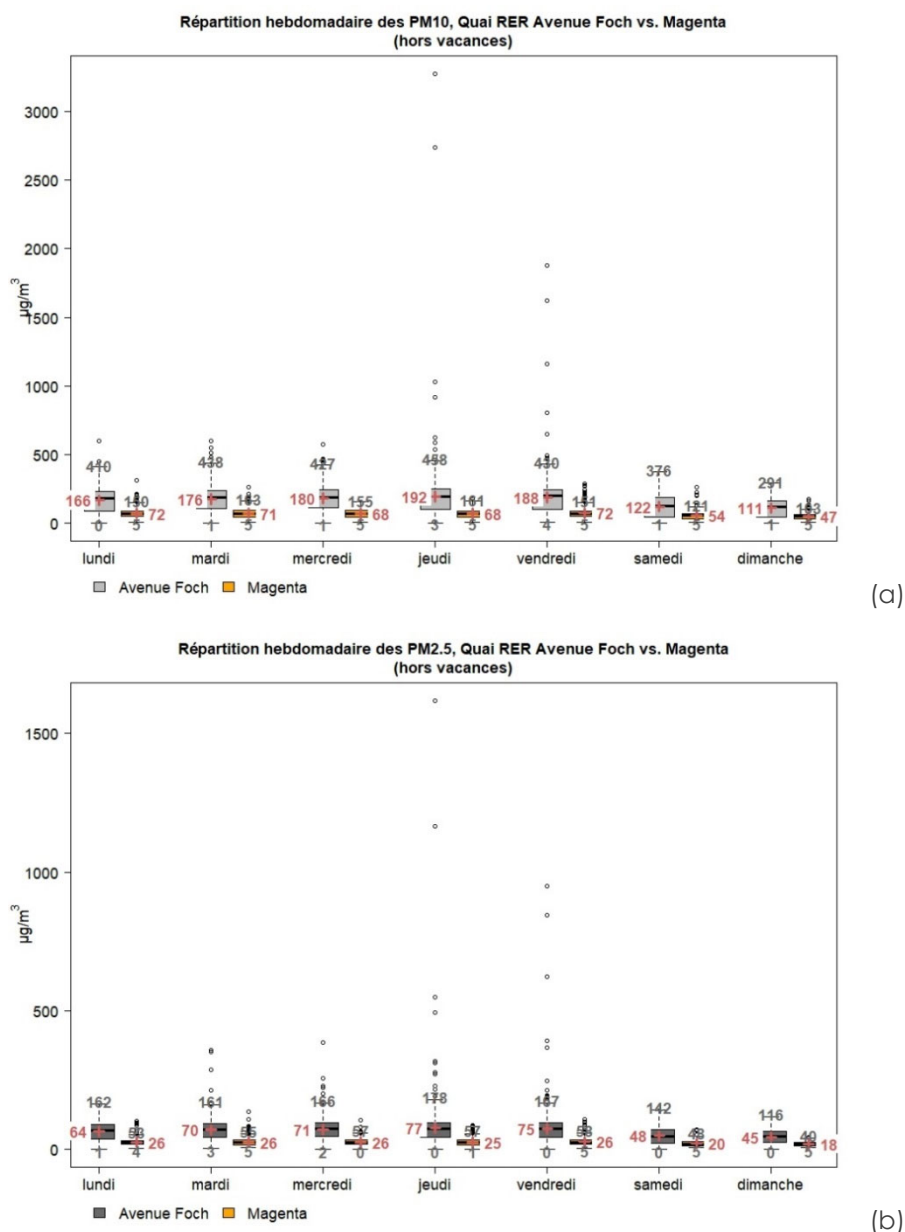


Figure 12 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en PM_{10} (a) et $PM_{2.5}$ (b) à la gare RER C d'Avenue Foch et de Magenta, année 2019 (hors vacances scolaires et jours de grève).

Concernant les NO_x , la Figure 13 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en NO et en NO_2 , en gare d'Avenue Foch (hors vacances scolaires).

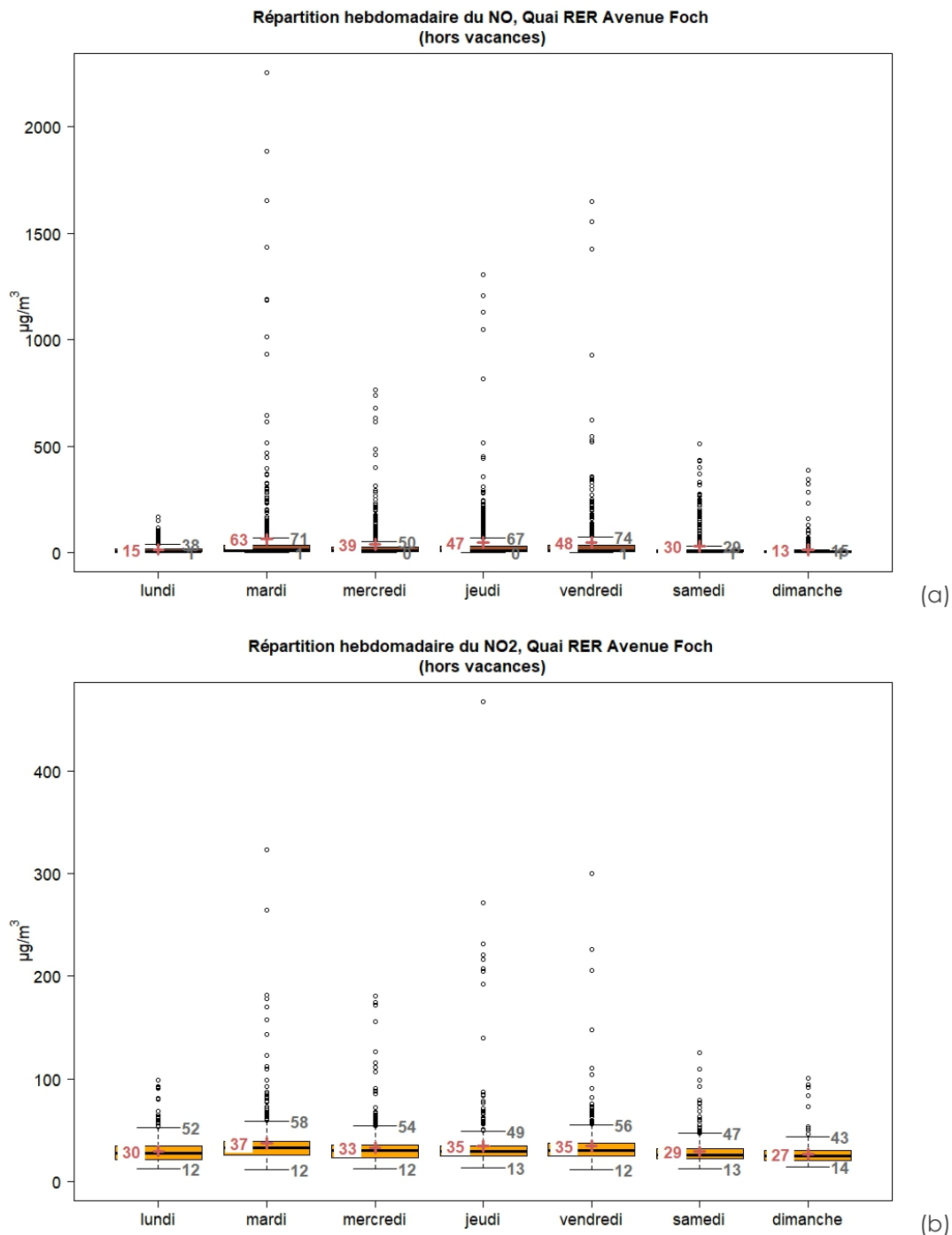


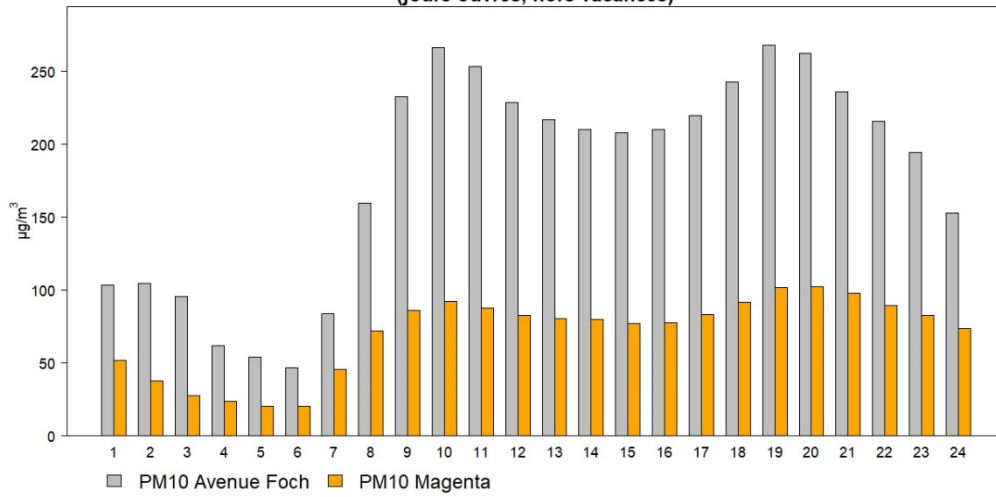
Figure 13 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en NO (a) et NO₂ (b) à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 01/03/2019 au 31/10/2019 (hors vacances scolaires et jours de grève).

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 de 50 % le week-end 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 : 18 %.

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

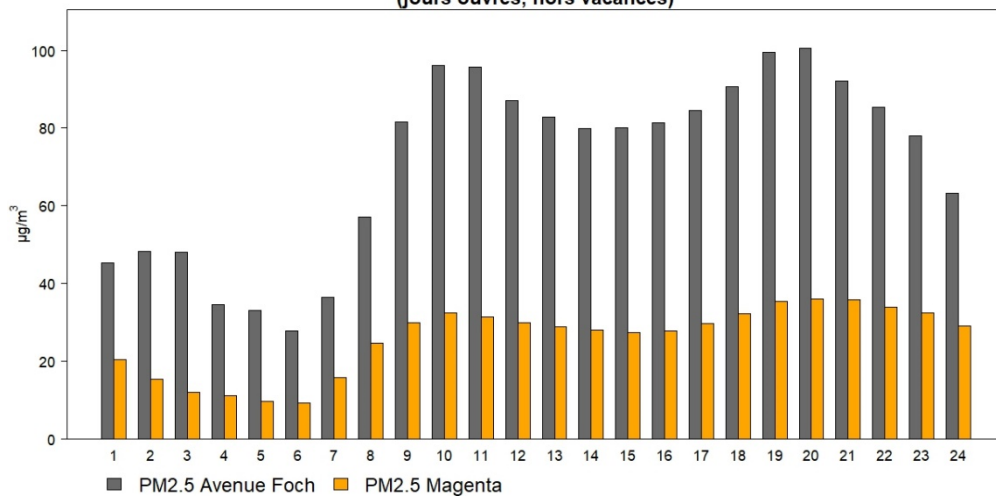
Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 14, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés** (hors vacances scolaires et jours de grève).

**Profils journaliers des particules PM10, Quai RER Avenue Foch vs. Magenta
(jours ouvrés, hors vacances)**



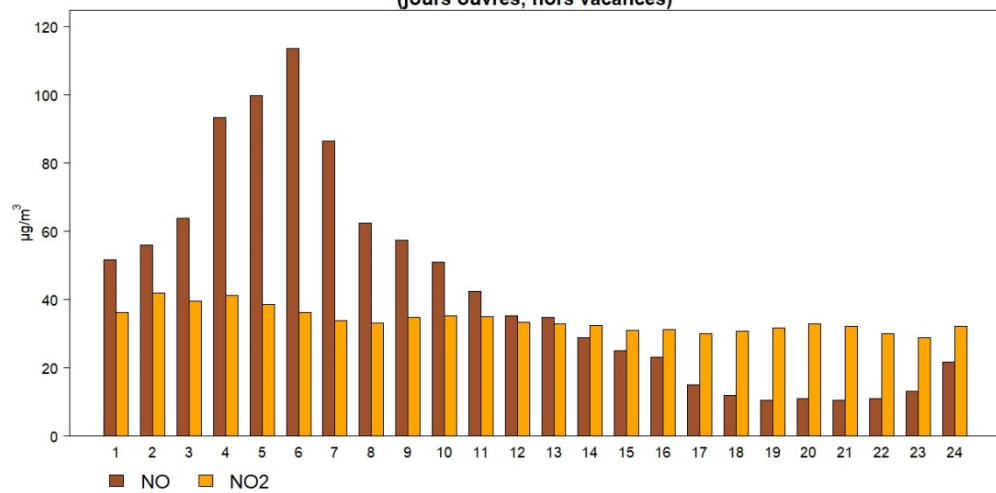
(a)

**Profils journaliers des particules PM2.5, Quai RER Avenue Foch vs. Magenta
(jours ouvrés, hors vacances)**



(b)

**Profils journaliers des oxydes d'azote, Quai RER Avenue Foch
(jours ouvrés, hors vacances)**



(c)

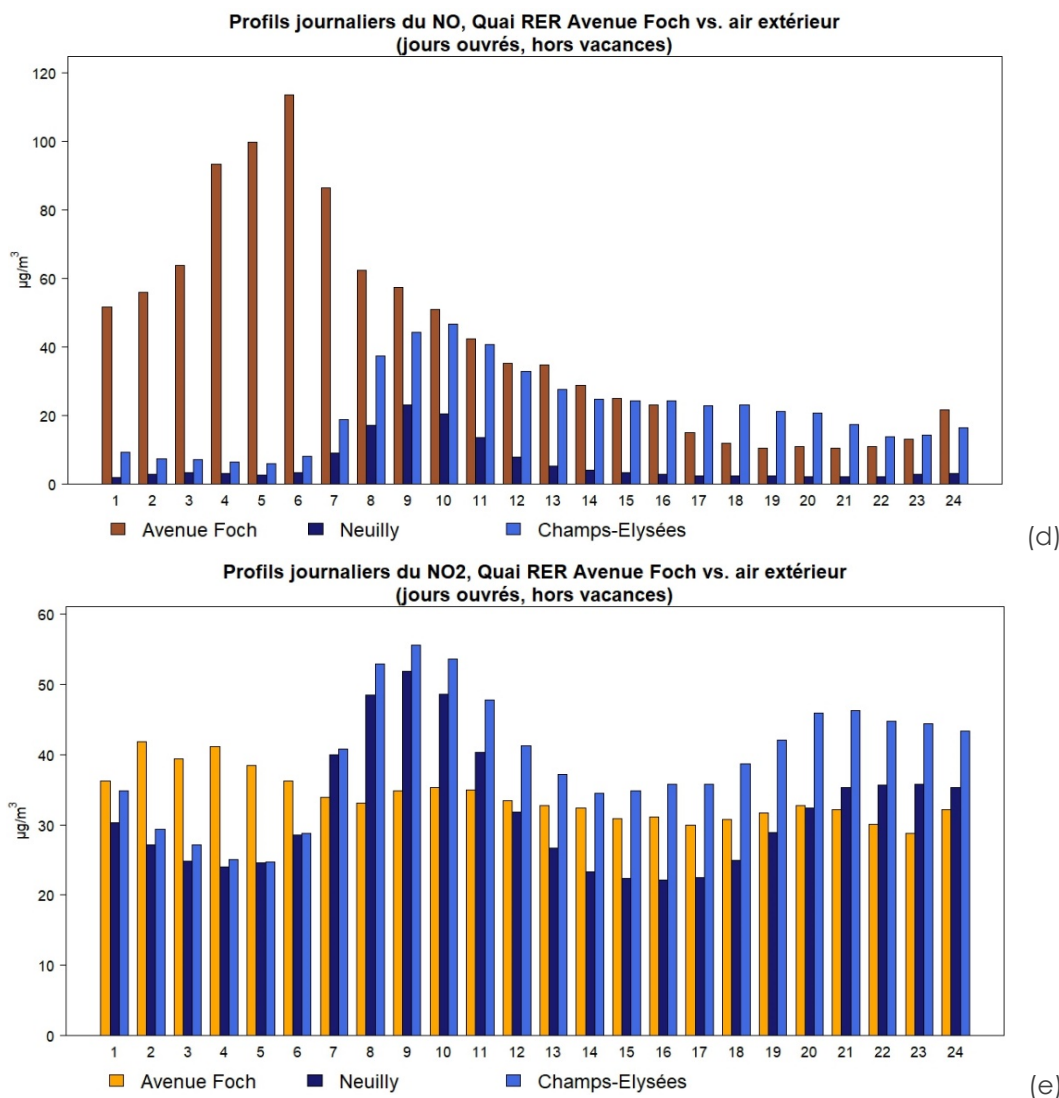


Figure 14 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta en 2019. Évolution des profils en NO et NO₂ (c) à Avenue Foch et comparaison avec l'air extérieur (d, e), période du 01/03/2019 au 31/10/2019 – jours ouvrés hors vacances scolaires et jours de grève.

Les particules PM₁₀ et PM_{2.5} ont des profils journaliers semblables. Les maxima horaires sont enregistrés lors des heures de pointe : le matin (09-11h) et le soir (18-20h). Les niveaux sont en moyenne sur ces périodes de pointe de 254 µg/m³ pour les PM₁₀ et 94 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 : 94 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 : 62 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 33 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 46 et 28 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

⁷ Rapport : site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2018), accessible sous <http://www.iseo.fr/sncf/rapports/DOC050453-00vf.signed.pdf>

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 $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM_{10} (écart type de $109 \mu\text{g}/\text{m}^3$). 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 PM_{10} ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) comme pour les $PM_{2.5}$ ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les oxydes d'azote (NO et NO_2) 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 1h et 6h, en lien avec la source que représentent les trains travaux à motorisation thermique. Sur cette période, les niveaux sont en moyenne de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare d'Avenue Foch. Des niveaux intermédiaires sont mesurés en matinée (8 à 13h). Les niveaux les plus faibles sont observés en fin de journée (18-21h).

Pour le NO_2 , les variations horaires sur un jour ouvré sont plus limitées. Le minimum horaire en NO_2 est observé entre 22 et 23h ($29 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

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

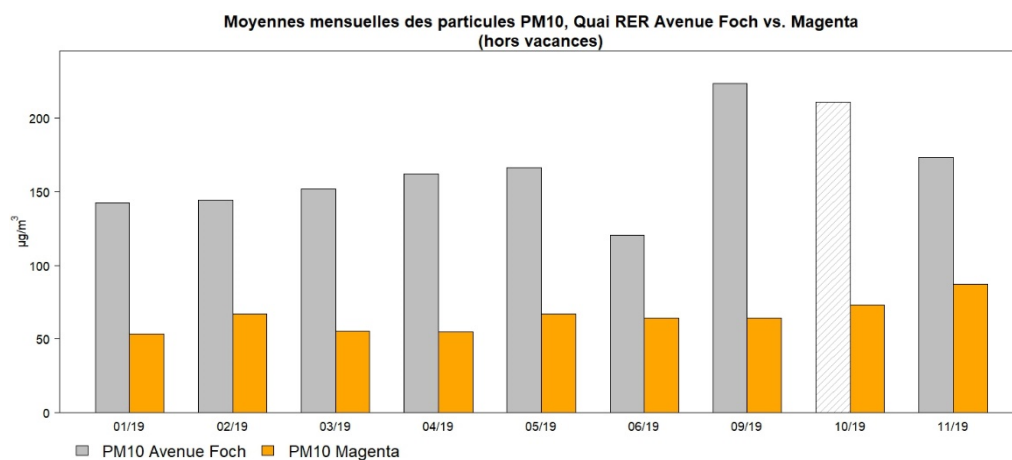
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Une faible influence de l'air extérieur est observée lors de la période d'ouverture de la gare au public, essentiellement sur les teneurs en NO.

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.

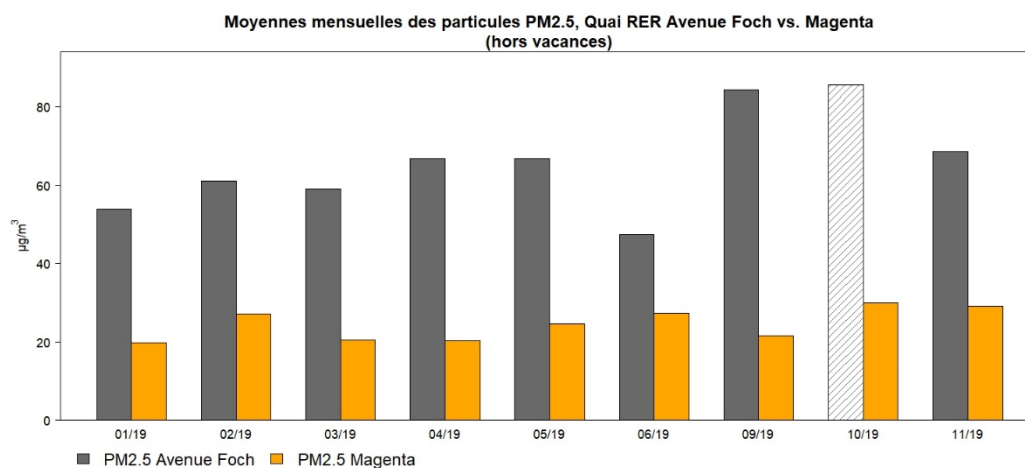
Les profils journaliers des concentrations en NO sont différents entre la gare d'Avenue Foch et les stations extérieures. En gare RER les maxima sont relevés la nuit, lors du passage des trains travaux, alors qu'en air extérieur les maxima sont observés le matin, à la fois lorsque le trafic routier est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

2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE

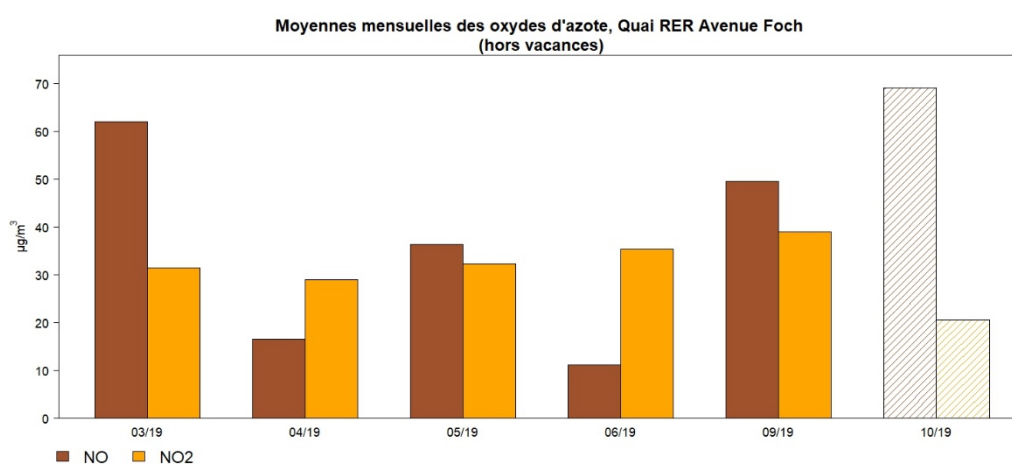
Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 15, résume les niveaux moyens observés chaque mois entre janvier et novembre 2019 pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} et de mars à octobre pour les oxydes d'azote.



(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 en 2019, évolution des profils en NO_x (c) à Avenue Foch, période du 01/03/2019 au 31/10/2019 – jours ouvrés hors vacances scolaires et jours de grève. 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 juin et une tendance à la hausse en septembre. Le mois de juin 2019 présente les moyennes mensuelles les plus faibles en PM₁₀ et en PM_{2.5} (respectivement 121 µg/m³ et 47 µg/m³). Les maxima mensuels ont été enregistrés en septembre pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}, avec respectivement 223 µg/m³ et 84 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 1) 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 juin 2019 (11 µg/m³) et le mois d'avril 2019 pour le NO₂ (29 µg/m³). Le maximum mensuel en NO a été le mois de mars 2019 (62 µg/m³) et celui de septembre pour le NO₂ (39 µg/m³). Les variations mensuelles peuvent s'expliquer notamment par la fréquence des travaux ou le passage de trains diesel en période nocturne.

La Figure 16 présente les niveaux moyens en particules observés chaque mois depuis le début de la surveillance de la gare RER C Avenue Foch (avril 2018), en gare d'Avenue Foch et en gare de Magenta.

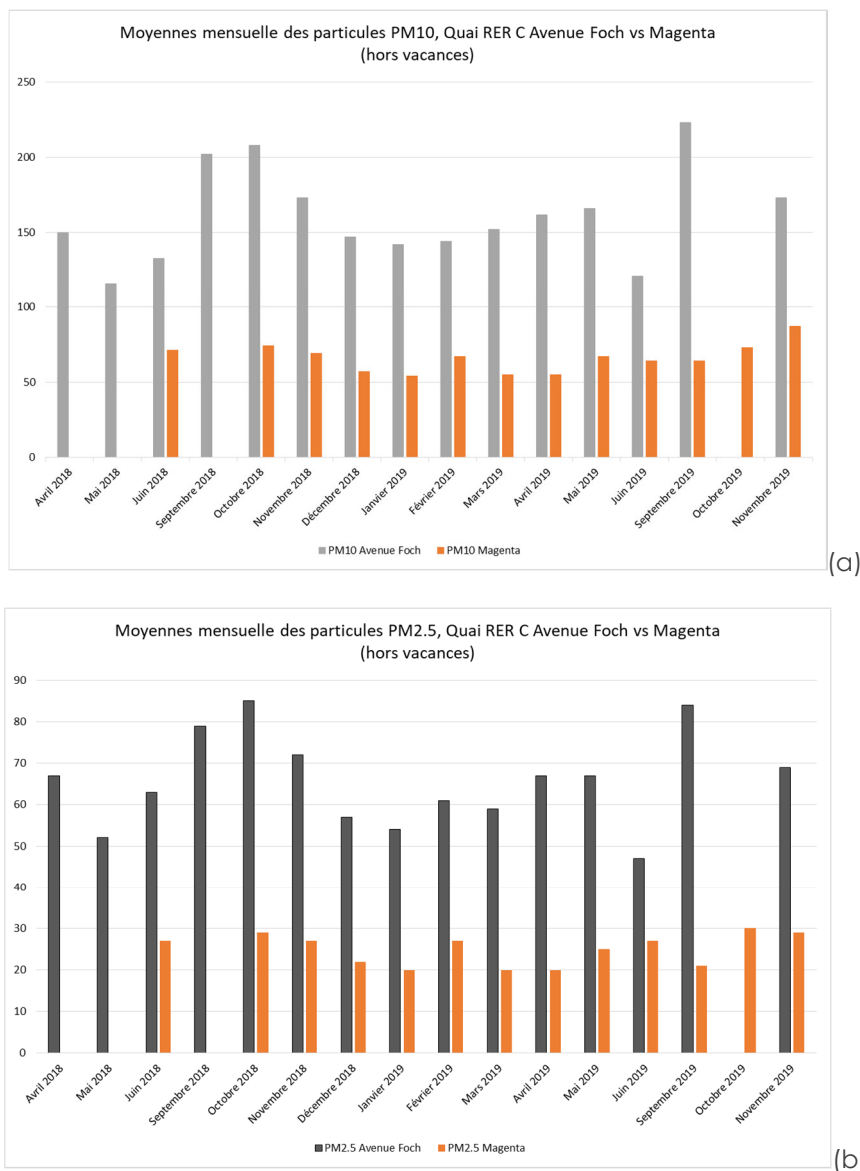


Figure 16 : Evolution des profils mensuels en particules PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C Avenue Foch et à Magenta – hors vacances et jours de grèves.

Les particules PM₁₀ et PM_{2.5} présentent des évolutions mensuelles comparables. Les variations de concentrations sont plus importantes à la gare RER C Avenue Foch, avec des concentrations qui varient de manière importante entre 116 à 223 µg/m³ pour les PM₁₀ et de 47 à 85 µg/m³ pour les particules PM_{2.5}. A Magenta, les variations mensuelles sont moins importantes, avec des concentrations qui varient de 54 à 87 µg/m³ pour le PM₁₀ et de 20 à 30 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

Ces différences peuvent s'expliquer par les configurations différentes des deux gares (ventilation, profondeur, volume).

La figure suivante présente les concentrations moyennes mensuelles en particules PM₁₀ et PM_{2.5} relevées sur le quai de la gare RER C Avenue Foch et à la station de fond Paris centre sur l'année 2019. La station Paris centre a été déplacée au cours de l'année 2019, c'est pourquoi les relevés sont disponibles jusqu'au mois d'août.

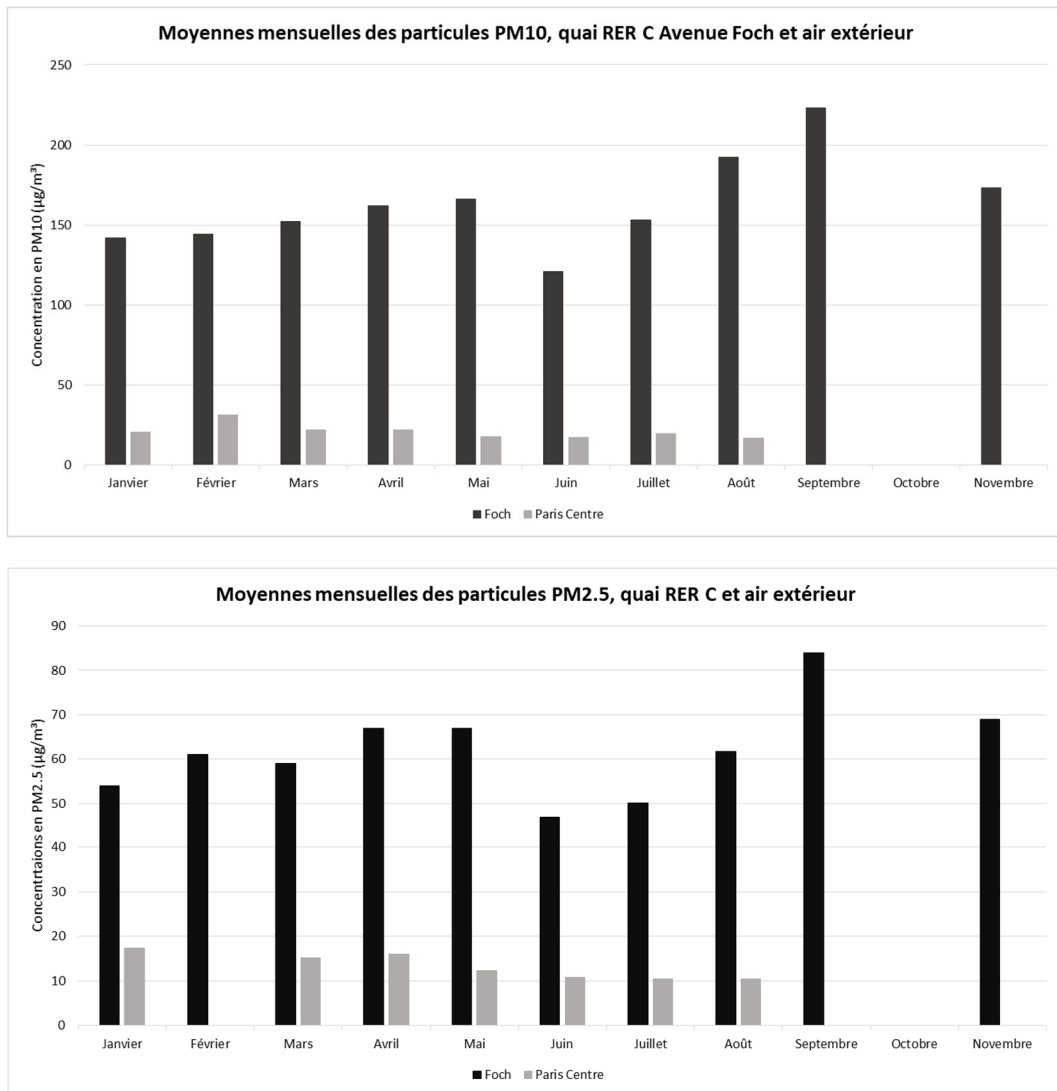


Figure 17 : Evolution des concentrations moyennes mensuelles en particules PM₁₀ (a) et PM_{2.5} à la gare RER C Avenue Foch et à la station Paris Centre – [hors vacances et jours de grèves](#)

Les concentrations relevées sur le quai de la gare RER C Avenue Foch sont quatre à huit fois supérieures aux concentrations relevées à la station de fond Paris Centre. Une influence de l'air extérieur sur les niveaux rencontrés sur le quai est donc difficile à mettre en avant.

2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 18 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).

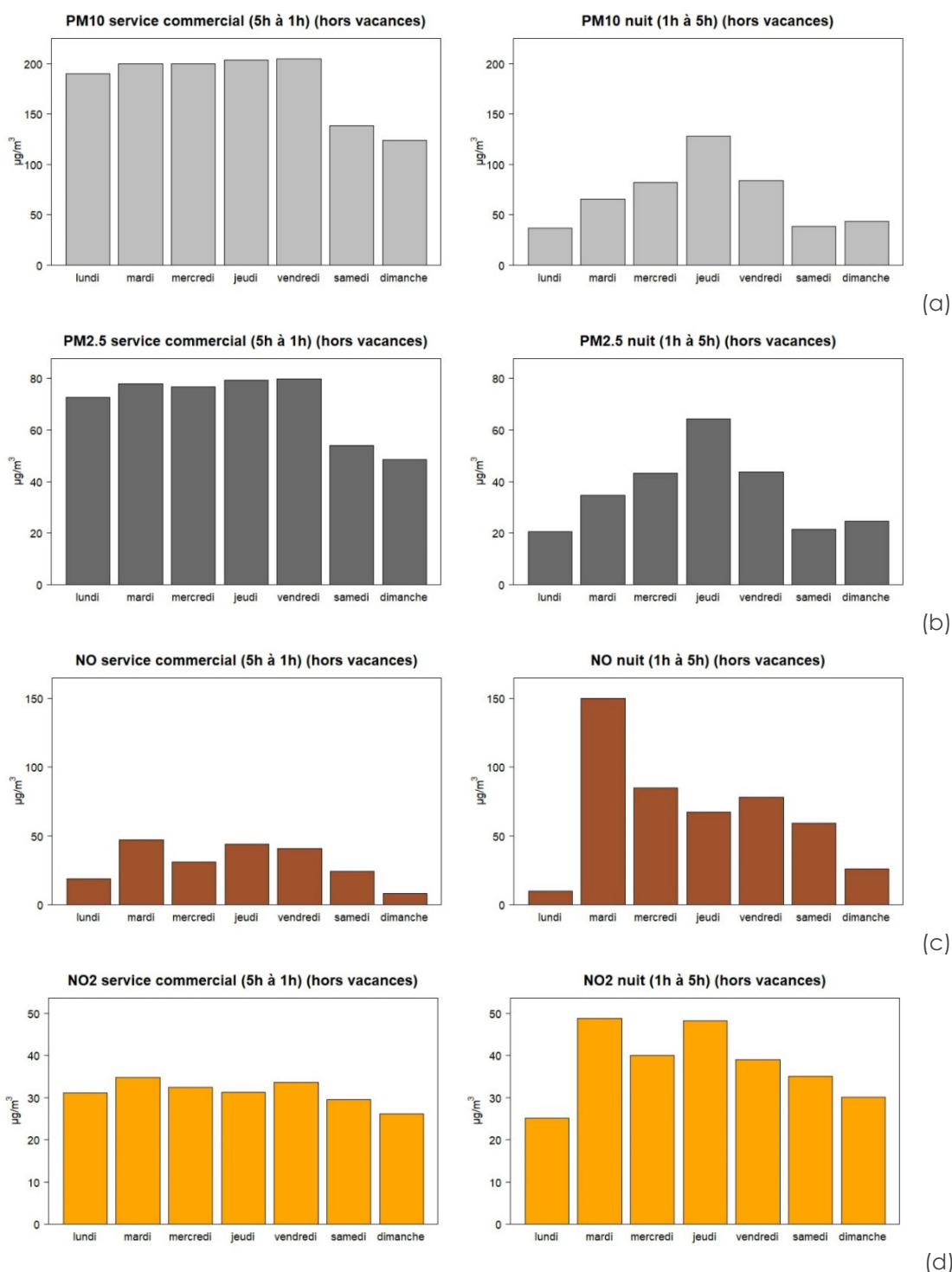


Figure 18 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a), PM_{2.5} (b), NO (c) et NO₂ (d) à la gare RER C d'Avenue Foch – hors vacances scolaires et jours de grève, Service commercial (5 à 1h) à gauche, Nuit (1 à 5h) à droite.

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 183 µg/m³, contre 163 µg/m³ en moyenne sur 24h, soit un écart de 12 %.

Concernant les $PM_{2.5}$, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de $69 \mu\text{g}/\text{m}^3$, contre $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 24h, soit un écart d'environ 10 %.

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 PM_{10} 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 PM_{10} , les concentrations nocturnes sont maximales les jeudis ($128 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et minimales entre les samedis et lundis ($37 - 43 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations minimales en particules $PM_{2.5}$ sont comprises entre 21 et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ les lundis et les weekends et les maxima sont observés les jeudis ($64 \mu\text{g}/\text{m}^3$), comme pour les particules PM_{10} .

Lors du **service commercial**, la teneur moyenne en **NO** les jours ouvrés est de $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$, contre $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h, ce qui s'explique cette fois par des teneurs plus élevées la nuit. Pour le **NO₂**, la concentration moyenne pendant le service commercial est de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$, contre $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 24h.

Les **teneurs nocturnes** en NO s'élèvent en moyenne à $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$, avec une forte variabilité selon les jours. Les minima sont enregistrés le lundi avec $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et les maxima le mardi (avec $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Les niveaux moyens nocturnes les jours ouvrés s'élèvent à $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$. 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 NO_2 sont en moyenne de $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$, les concentrations varient de $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Lundi) à $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (Mardi). Les niveaux moyens nocturnes en semaine s'élèvent à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

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 79 µg/m³ pour les PM₁₀ et de 41 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 11h le matin et entre 18h et 20h le soir. Les concentrations sur le quai atteignent alors 254 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀ et 94 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 35% pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}.

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions similaires pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}.

Enfin, **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} 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 78 µg/m³ en NO et 40 µg/m³ en NO₂ entre 23h et 5h, les jours ouvrés. 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 35 µg/m³ et celle de NO₂ avoisine 32 µg/m³. La légère 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 95 % pour le NO et de 13 % pour le NO₂.

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

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 19.

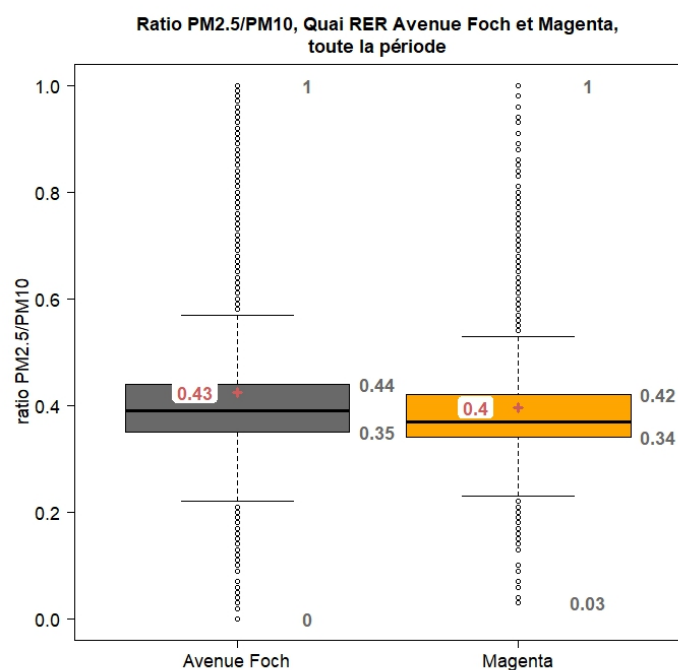


Figure 19 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en $PM_{2.5}/PM_{10}$, à la Gare RER C d'Avenue Foch et à la station de Magenta, en 2019 - [hors jours de grève](#).

En moyenne, en gare RER C d'Avenue Foch, sur toute la période de mesure, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est de 0,43. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,40 à Magenta. Les ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ sont très proches pour les deux gares, qui sont pourtant très différentes en termes de caractéristiques (volume, ventilation, nombre de trains...) mais qui ont une source principale de particules communes : la circulation ferroviaire

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

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 20.

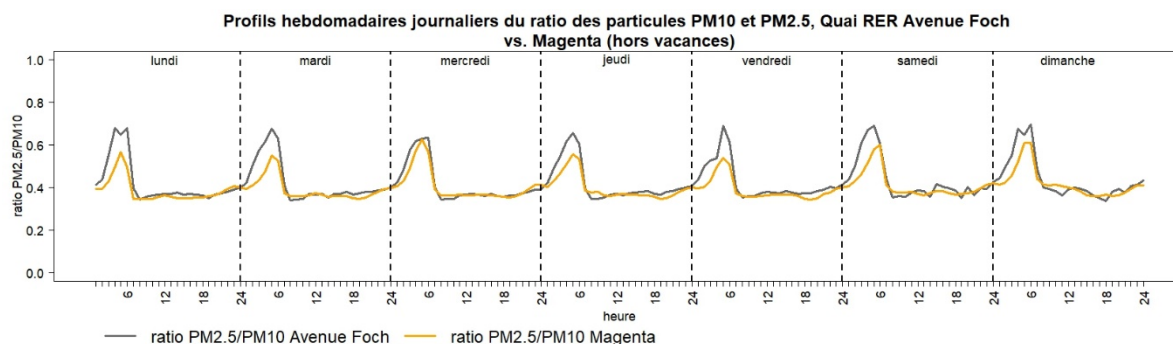
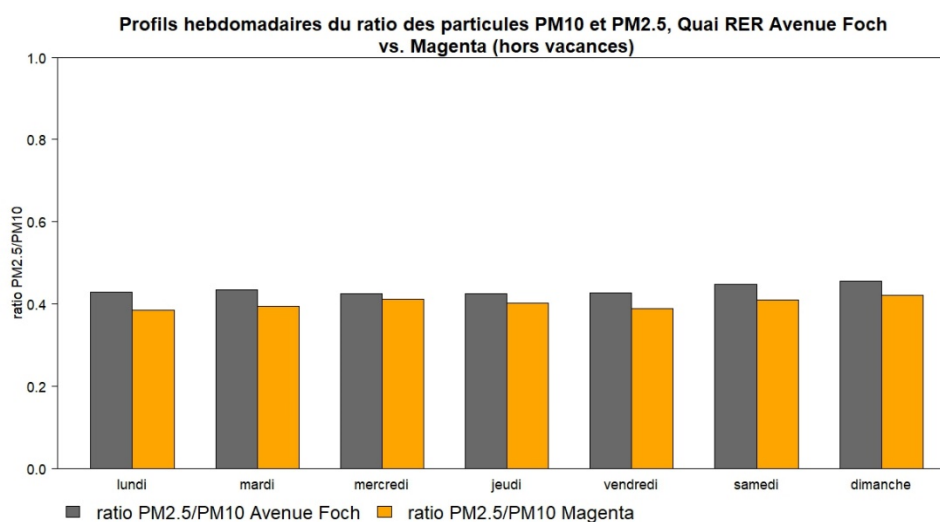


Figure 20 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de référence Magenta, période du 01/01/2019 au 04/12/2019.

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 la nuit 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 21.



(a)

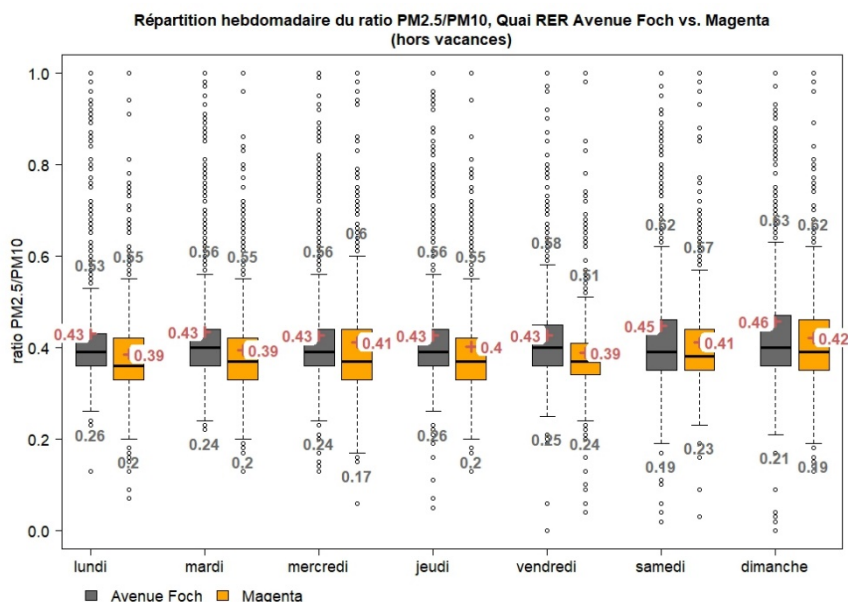


Figure 21 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de référence Magenta (a), période du 01/01/2019 au 04/12/2019. Zoom sur les boîtes à moustaches (b).

Les ratios sont stables les jours ouvrés avec en moyenne 0.43 pour la gare Avenue Foch et compris entre 0.39 et 0.41 à Magenta. Une hausse des ratios est observée les week-ends, ils atteignent 0.46 Avenue Foch et 0.42 à Magenta.

2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Les profils moyens journaliers (jours ouvrés) pour les gares Avenue Foch et Magenta sont présentés à la Figure 22.

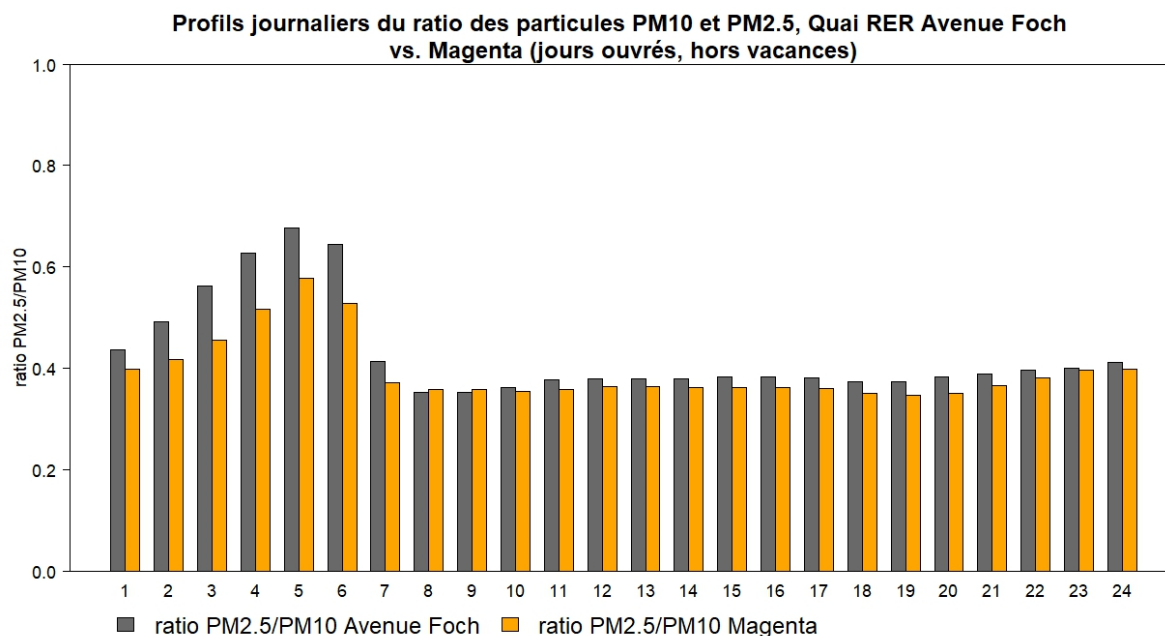


Figure 22 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER C d'Avenue Foch et à la station de référence Magenta, période du 01/01/2019 au 04/12/2019– jours ouvrés hors vacances et jours de grève.

Une certaine stabilité des ratios en journée (de 7h à 24h) est observée, aussi bien en gare d'Avenue Foch (moyenne à 0,38 - écart-type de 0,02) qu'à Magenta (moyenne à 0,37 - écart-

type 0,01). 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 0,49 à Magenta en début de nuit. Le ratio maximum est atteint à l'ouverture des deux gares au public (0,67 à 5h pour Avenue Foch).

Les particules PM_{10} étant plus grosses, elles sédimentent plus rapidement que les particules $PM_{2.5}$. Ainsi lors de la fermeture de la gare, les concentrations en particules PM_{10} vont diminuer plus rapidement que les $PM_{2.5}$ et seront moins susceptibles d'être remises en suspension, le ratio va donc augmenter.

2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE

Les profils mensuels moyens, présentés à la Figure 23, résument les ratios moyens observés chaque mois entre janvier et novembre 2019, hors vacances scolaires, aux gares d'Avenue Foch et de Magenta.

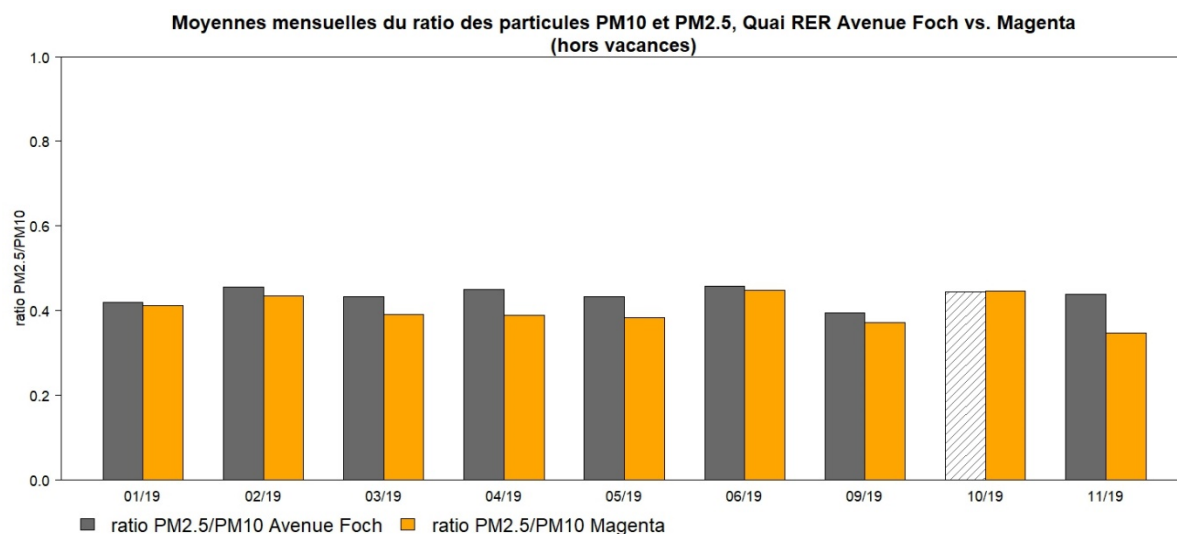


Figure 23 – Évolution des profils mensuels des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ (a) à la gare RER C d'Avenue Foch et à Magenta, période du 01/01/2019 au 04/12/2019 – [jours ouverts hors vacances scolaires](#). En hachuré, données disponibles < 75%.

Les ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ en gare d'Avenue Foch présentent de faibles variations mensuelles. Le mois de septembre 2019 présente le ratio le plus faible (0,39 en moyenne), le maximum (0,46) ayant été observé en février et juin 2019. A titre de comparaison, à Magenta, les ratios mensuels ont varié de 0,35 (novembre 2019) à 0,45 (juin 2019).

En gare d'Avenue Foch, le ratio mensuel le plus faible est observé lorsque la concentration mensuelle en particules PM_{10} est la plus élevée. Toutefois, l'inverse n'est pas vérifié

2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 24 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.

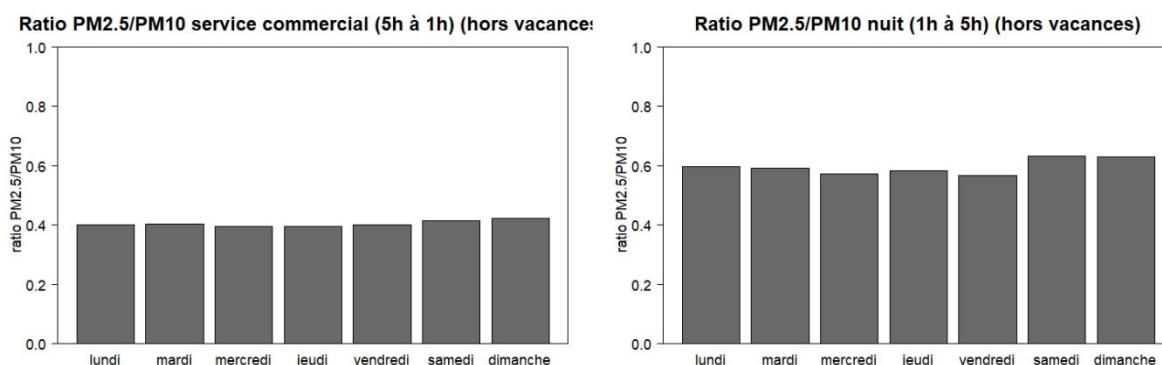


Figure 24 – Évolution des profils hebdomadaires du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 01/01/2019 au 04/12/2019 –hors vacances scolaires. Service commercial à gauche, Nuit à droite.

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 égaux à 0,68. 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 0,43 en gare d'Avenue Foch, soit un peu plus élevé que celui de Magenta (0,40).

A l'échelle journalière, les ratios sont stables en journée (0,38 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. Néanmoins, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est légèrement plus élevé le weekend du fait du plus faible impact du trafic ferroviaire.

A l'échelle mensuelle, le mois de septembre 2019 présente les ratios les plus faibles avec 0,39 en moyenne, le maximum ayant été observé en juin et février 2019 avec 0,46.

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 nettement 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 d'Avenue Foch. Les mesures ont été réalisées du 18 septembre au 3 octobre (des prélèvements ont également été réalisés du 4 au 17 février mais ont été invalidés suite à un problème technique).

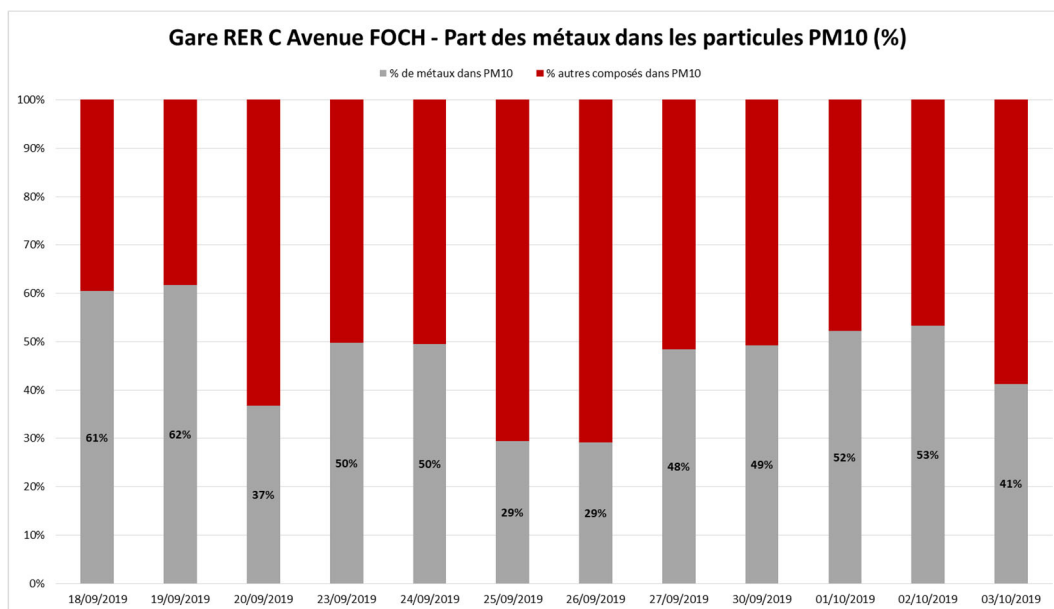
Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h, chaque jour du lundi au vendredi.

Des résultats de mesure des métaux sont donc disponibles pour 12 jours ouvrés.

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 25) 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.

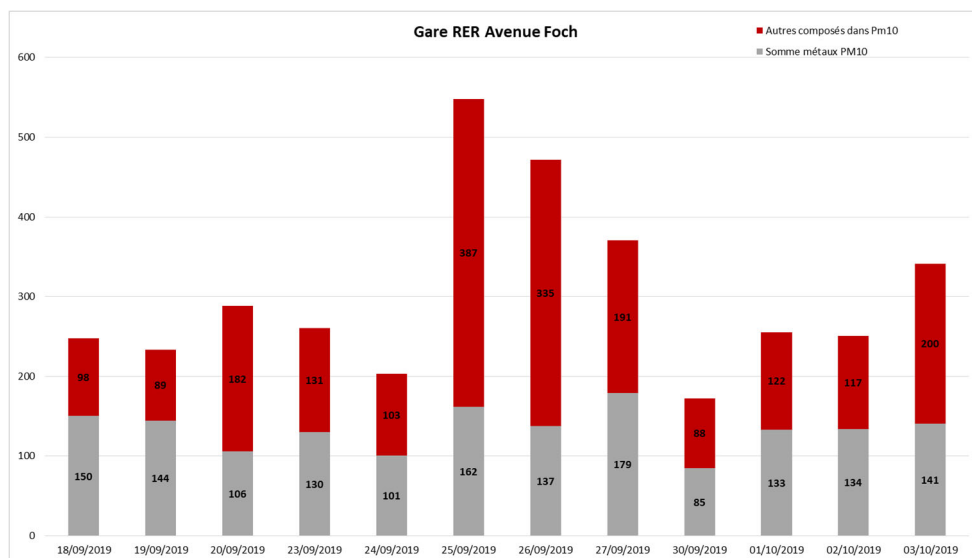


Figure 25 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ (en % de particules PM₁₀) et évolution des relevés journaliers (concentrations en µg/m³) sur les périodes de prélèvement entre le 18 septembre et le 3 octobre 2019, à la gare RER C de Avenue Foch.

Sur l'ensemble des données disponibles (12 journées de mesure), les concentrations en métaux varient de 85 µg/m³ (le 30/09/19) à 179 µg/m³ (le 27/09/19). En comparaison avec la concentration en particules PM₁₀ enregistrée les mêmes journées lors des même tranches horaires, **la part des métaux** a varié de 29 % (le 25 et 26 septembre 2019) à 62 % (le 19/09/2019). Elle est **en moyenne de 47 %**.

2.4.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 26) représente la répartition moyenne des composés mesurés entre le 18 septembre et le 3 octobre (12 journées disponibles).

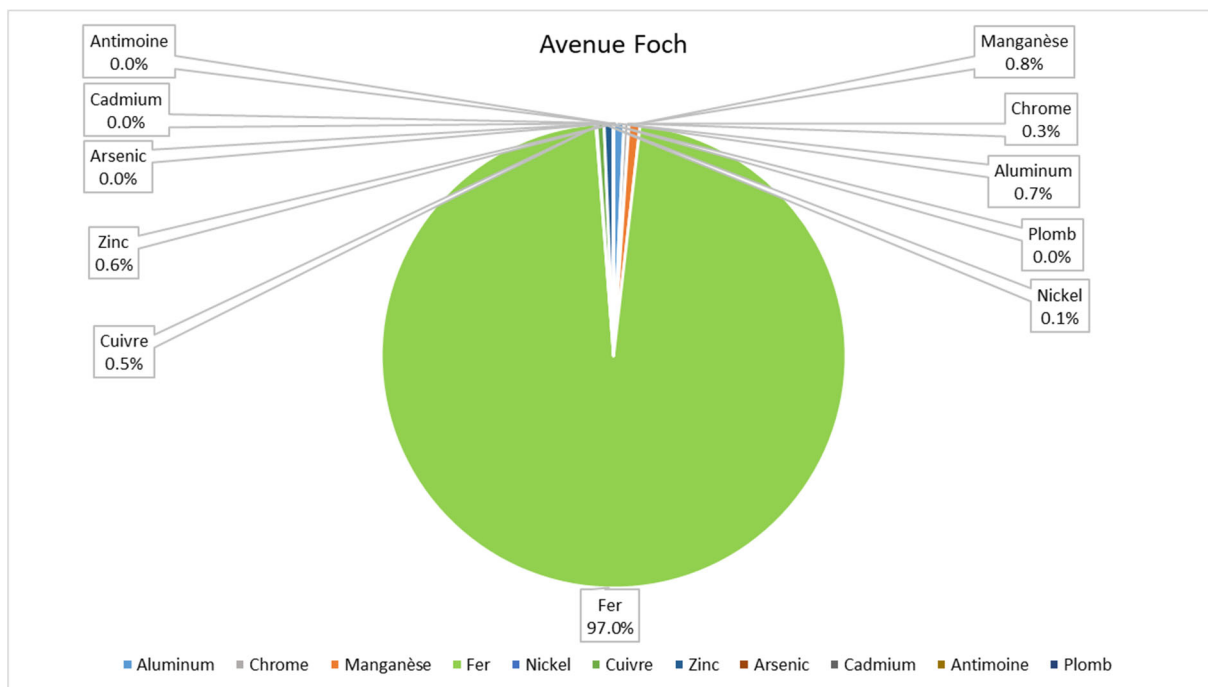


Figure 26 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne des mesures entre le 18 septembre et le 3 octobre 2019, en gare RER C de Avenue Foch.

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

Le métal le plus abondant ensuite est le **Manganèse**, mais dans des proportions bien plus faibles que le fer : 0,8 % en moyenne. Il varie de 0,7 % à 0,8%.

Vient ensuite l'**Aluminium**, qui représente en moyenne 0,7 % des métaux mesurés dans les particules PM₁₀. Il varie entre 0,6 % et 0,9 %.

Le **Zinc** est présent dans de plus faibles proportions que le manganèse et l'aluminium : 0,6 % en moyenne, variant de 0,5 % à 0,7 %.

Suivent ensuite le **Cuivre** (0,5 % en moyenne), le **Chrome** (0,3%) 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 (hors fer) relativement stable sur les différentes journées de mesure.

Les sources connues dans les enceintes ferroviaires souterraines 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 ferroviaires souterraines 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 caténaires (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 27) présente les concentrations journalières observées pour le Fer (12 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.

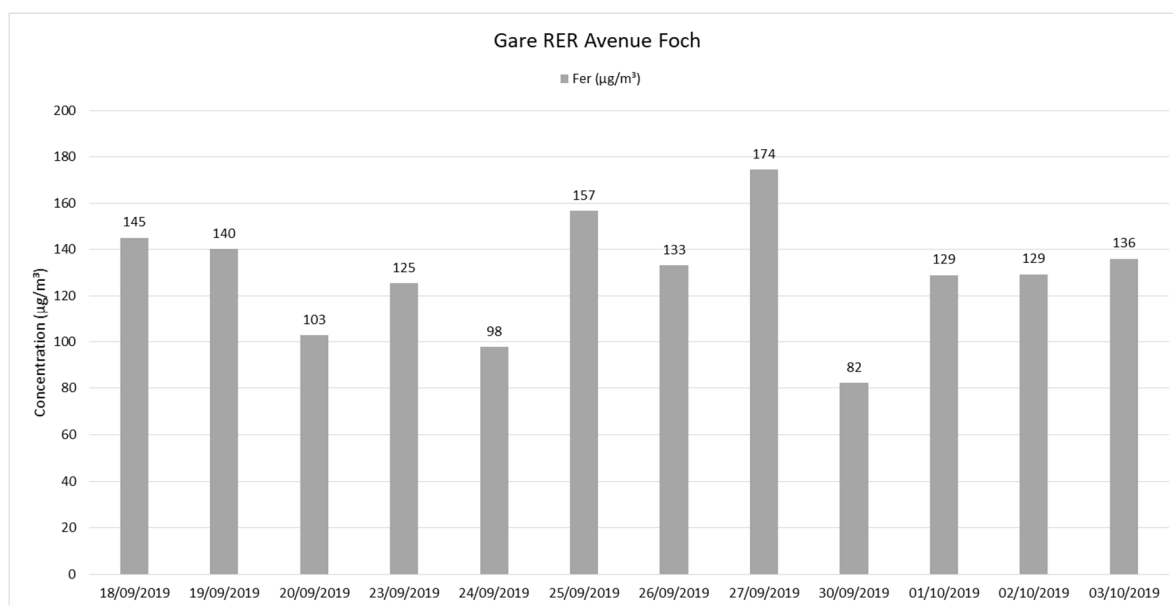


Figure 27 – Relevés journaliers en fer à la gare RER C de Avenue Foch, période de mesure entre le 18/09 et le 03/10/2019.

Les teneurs en **Fer** ont beaucoup varié en gare RER C Avenue Foch au cours de de la période de mesure, de 82 µg/m³ le lundi 30/09/2019 à 174 µg/m³ le vendredi 27/09/2019. 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 centaines de ng/m³. Il s'agit du **Cuivre, Zinc, Manganèse, Chrome et de l'Aluminium**.

Les concentrations journalières en **Aluminium** ont varié de 555 à 1162 ng/m³, les résultats sont en moyenne de 960 ng/m³.

Les teneurs journalières en **Zinc, Cuivre et Manganèse** sont du même ordre de grandeur. Les teneurs en **Zinc** varient de 549 à 1059 ng/m³, pour une moyenne de 857 ng/m³. Celles du **Cuivre** varient de 444 à 875 ng/m³, pour une moyenne de 680 ng/m³. Les teneurs **Manganèse** varient de 702 à 1272 ng/m³ pour une moyenne de 1020 ng/m³

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** sont plus faibles, entre 312 à 539 ng/m³, pour une moyenne de 453 ng/m³.

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 46 et 110 ng/m³ pour le Nickel⁹, pour une moyenne de 71 ng/m³.
- Entre 9 et 63 ng/m³ pour le Plomb⁹, pour une moyenne de 18 ng/m³,
- Entre 1 et 8 ng/m³ pour l'Antimoine⁹, pour une moyenne de 4 ng/m³.
- Entre 6 et 43 ng/m³ pour l'Arsenic⁹, pour une moyenne de 15 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 et ouvertures 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 28 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 dix 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. De plus, les concentrations maximales ont été relevées en Février en air extérieur alors que le maximum a été atteint en septembre en gare RER C Avenue Foch.

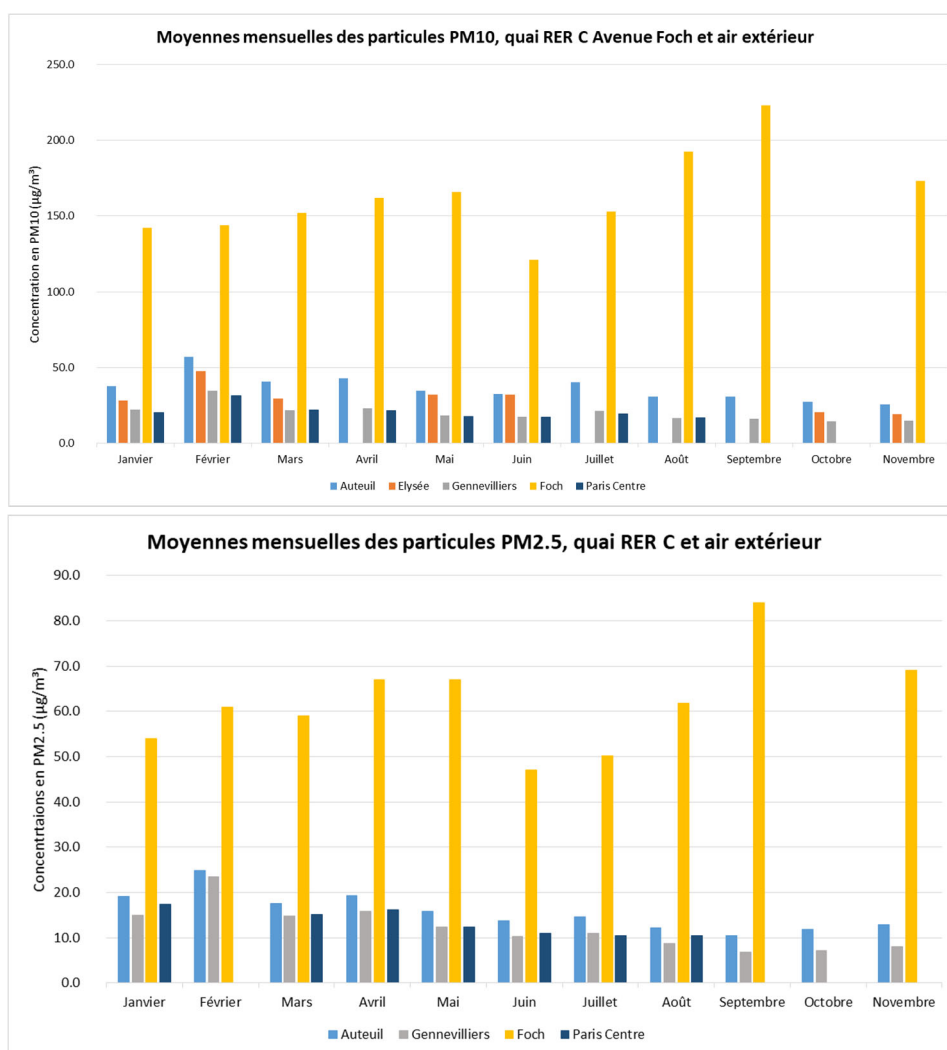


Figure 28 – Moyennes mensuelles des concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5}, en air extérieur et en gare d'Avenue Foch, entre janvier et novembre 2019.

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 29) 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 sur le quai ne suivent pas celles des concentrations mesurées en air extérieur, en situation de fond et à proximité du trafic routier. A l'échelle mensuelle, une influence de l'air extérieur sur les concentrations mesurées en gare est difficile à mettre en avant.

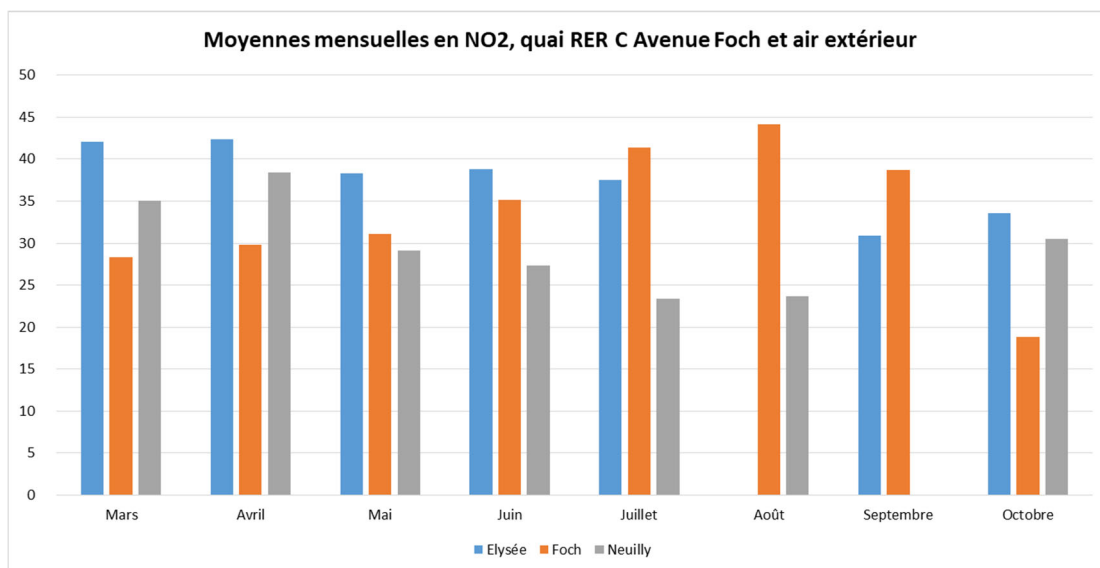


Figure 29 – Moyennes mensuelles des concentrations en NO₂, en air extérieur et en gare d'Avenue Foch, de mars à octobre 2019.

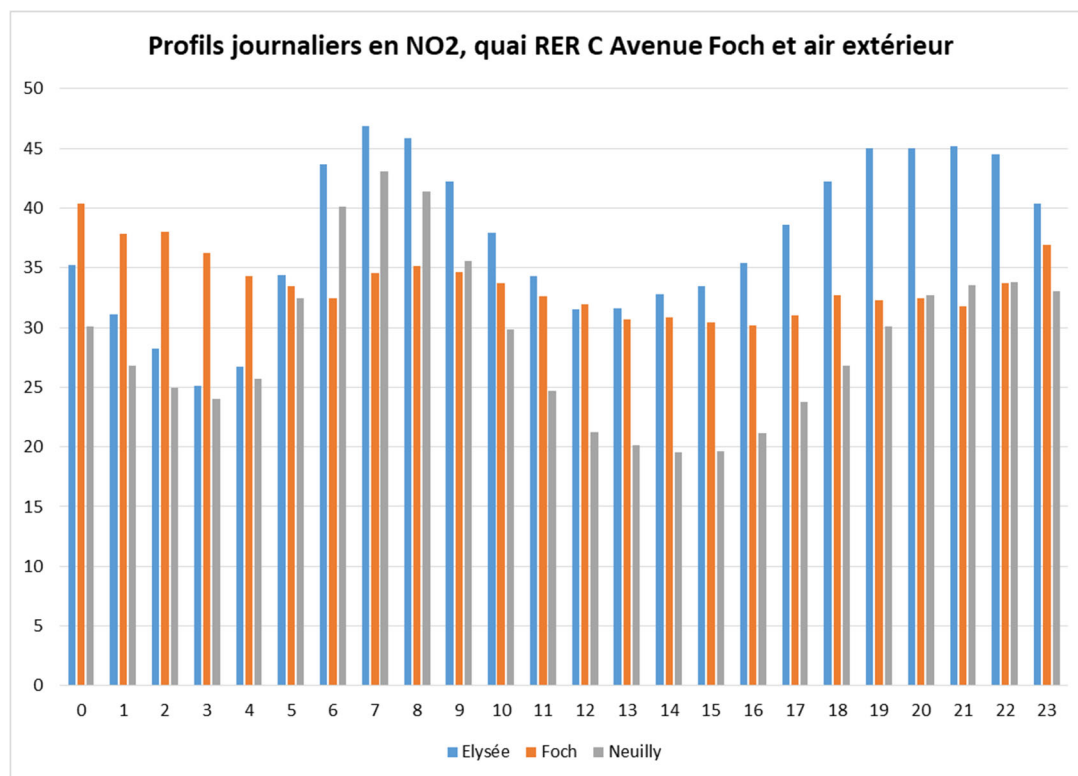


Figure 30 : Profils journaliers des concentrations en NO₂, en air extérieur et en gare d'Avenue Foch, de mars à octobre 2019.

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. La dynamique des niveaux extérieurs est ainsi plus marquée avec les teneurs les plus élevées lors des heures de pointe du trafic routier et les plus faibles en heures creuses (la nuit et l'après-midi).

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

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 31.

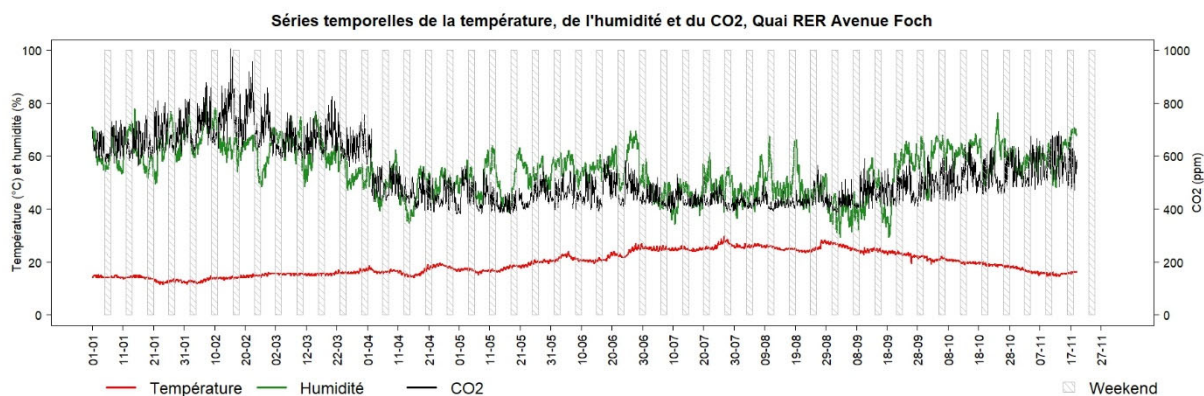


Figure 31 – Relevés journaliers de dioxyde de carbone (CO₂), température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Avenue Foch, en 2019.

Sur l'ensemble de la période étudiée, la **température** moyenne en gare d'Avenue Foch est de 19°C. Les relevés horaires ont varié entre 12 et 30°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% en 2019, les relevés horaires ont varié entre 29% et 82%.

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 528 ppm, alors que les relevés horaires ont varié entre 381 ppm et 1005 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 32) 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. Toutefois l'amplitude des niveaux de dioxyde de carbone sont au cours d'une journée moins fluctuante que pour les particules.

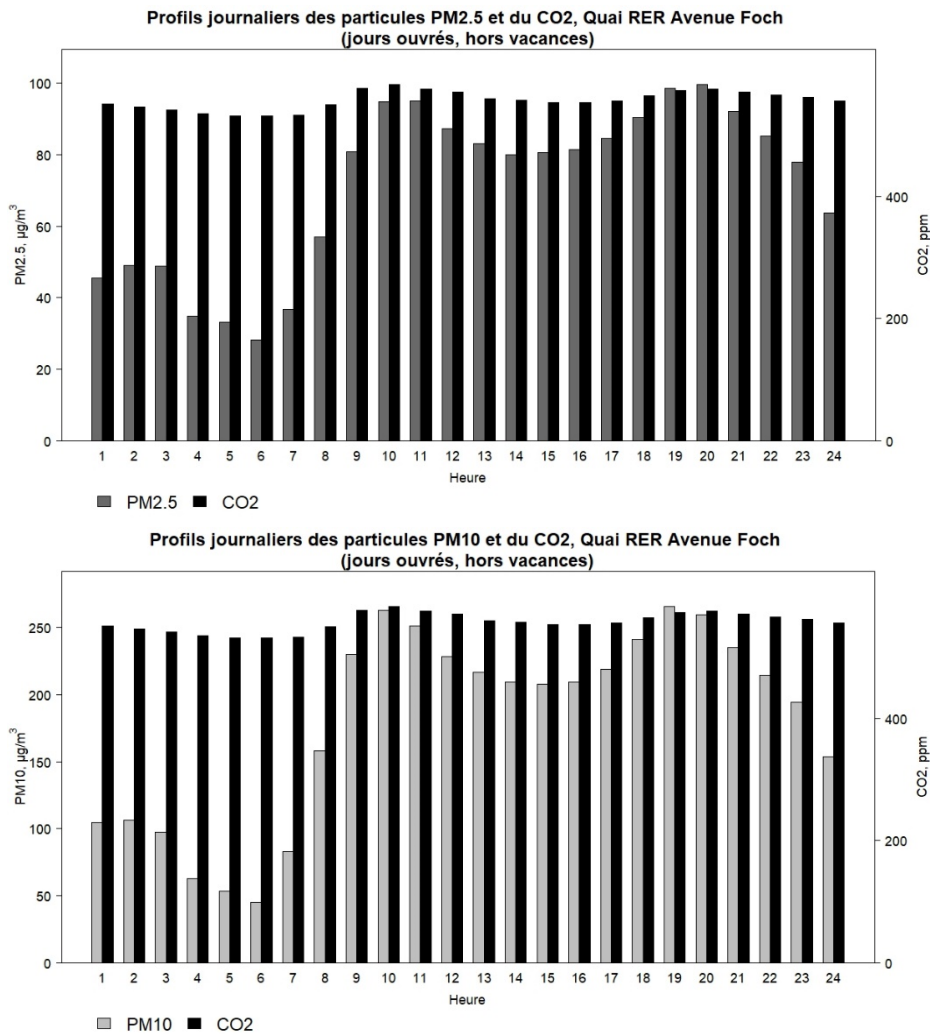


Figure 32 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ et en PM_{2.5} et CO₂, à la gare RER C de Avenue Foch, en 2019 – [jours ouvrés, hors vacances scolaires et jours de grève.](#)

Les concentrations en **particules et en dioxyde d'azote** observées sur le quai RER d'Avenue Foch sont **négligeables 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 ou pas visible. Les teneurs en NO₂ sont majoritairement influencées 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 potentiels facteurs 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, 179 trains circulent en gare d'Avenue Foch. Le samedi et le dimanche, ce sont 143 trains qui circulent. Il s'agit du nombre de trains théorique en circulation. Les chiffres sont présentés en Figure 33.

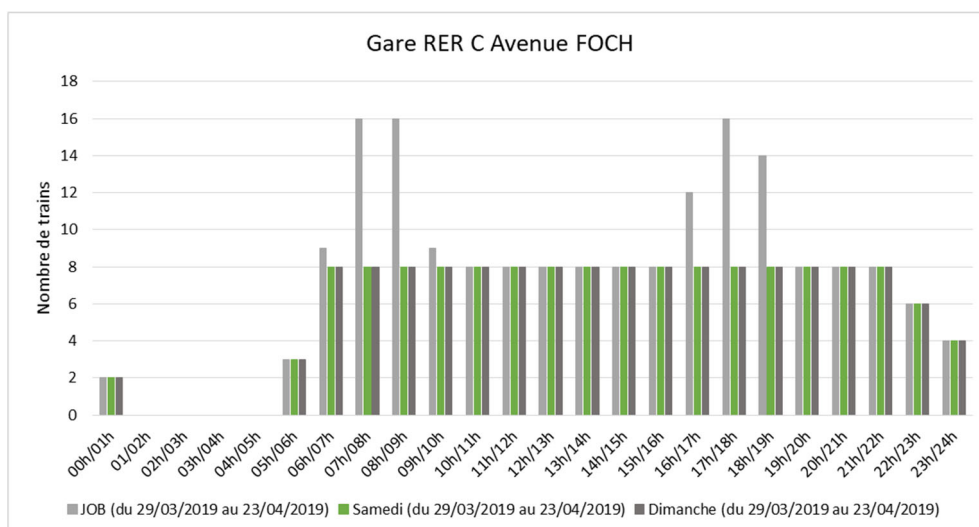


Figure 33 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Avenue Foch, période du 29/03/2019 au 23/04/2019.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations moyennes en **particules** à l'échelle journalière est présenté à la Figure 34 pour les jours ouvrés en gare d'Avenue Foch.

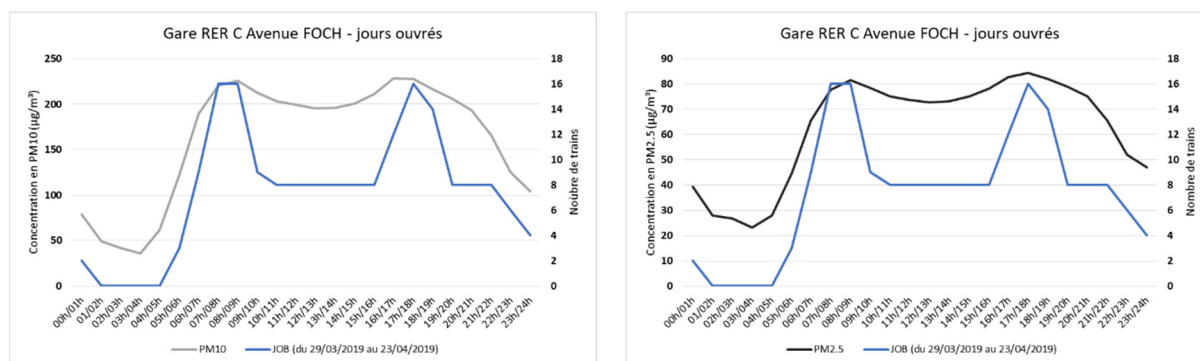


Figure 34 – Teneurs en particules PM₁₀, PM_{2.5} et nombre de trains en circulation à la gare RER C de Avenue Foch, période du 29/03/2019 au 23/04/2019.

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 35. Les teneurs observées en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) sont liées au nombre de trains en circulation.

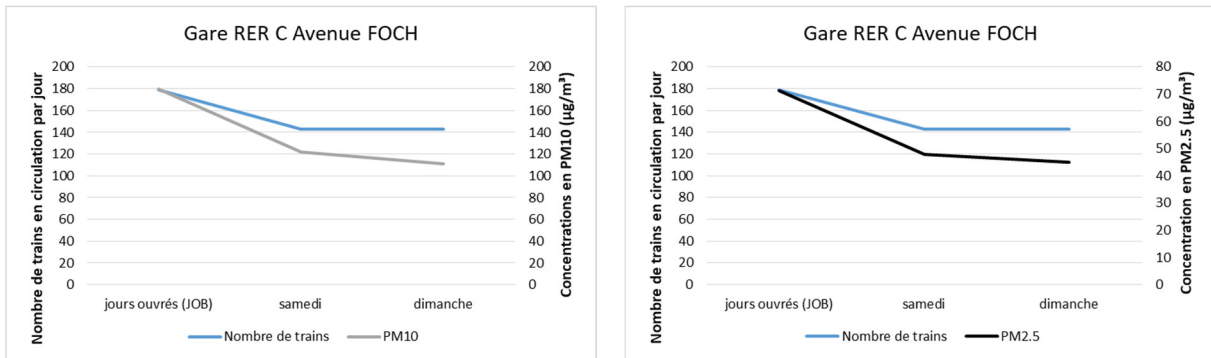


Figure 35 – Teneurs en particules PM₁₀ et PM_{2.5} observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Avenue Foch.

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 36) 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).

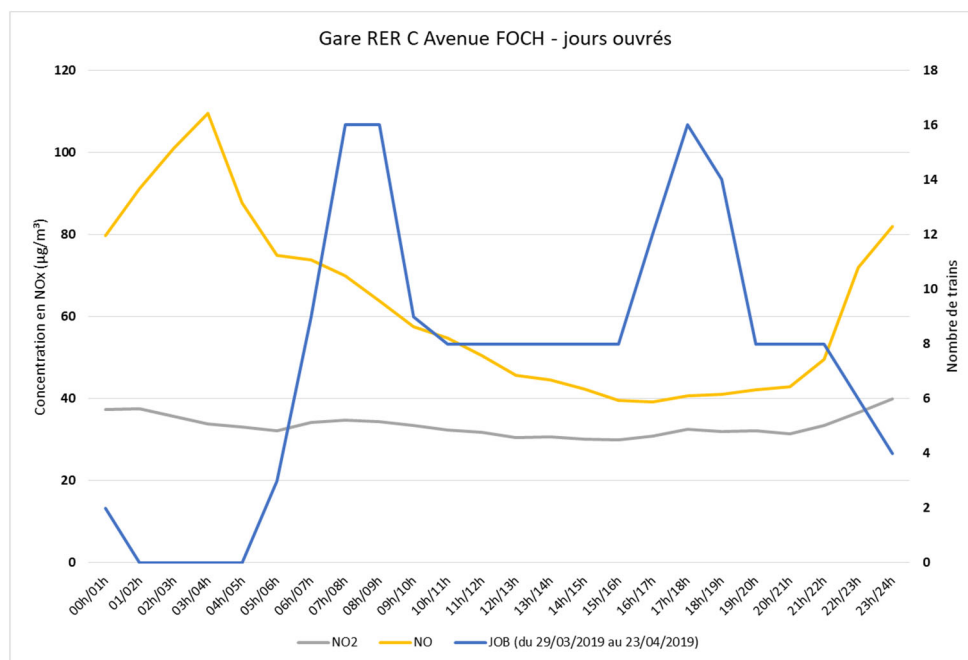


Figure 36 – Teneurs en NO_x, et nombre de trains en circulation à la gare RER C d'Avenue Foch, période du 01/03/2019 au 31/10/2019.

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 de janvier à décembre 2019 (hors périodes de grève). Cette gare bénéficie d'un suivi en continu mis en place dans le cadre du partenariat 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 **étaient en moyenne de 163 µg/m³**, le maximum horaire atteint étant de 3278 µg/m³ (enregistré la nuit, lors de travaux).
- **Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} étaient de 63 µg/m³**, pour un maximum horaire de 1619 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}. Le mois de juin présente les niveaux moyens les plus faibles.

L'évolution des profils hebdomadaires montre des concentrations plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés: une baisse de l'ordre de 35 % 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 12 % pour les PM₁₀ et 10 % pour les PM_{2.5}.

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 **29 µg/m³ en NO** et **34 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 ouvrés. La baisse est de l'ordre de 95 % pour le NO et de 13 % 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 78 µg/m³ en NO et 40 µg/m³ en NO₂). Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée (le teneur moyenne de NO est de 35 µg/m³ et celle de NO₂ de 32 µg/m³).

La part des **métaux** dans les **particules PM₁₀**, suivie périodiquement, est en moyenne de 47 %. Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 97 % de la masse des métaux mesurés. Suivent ensuite le **Manganèse** (0.8 %), l'**Aluminium** (0.7 %), le **Zinc** (0.6 %), le **Chrome** (0.3 %) 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 pour les valeurs les plus élevées.

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

ANNEXE

ANNEXE 1 :

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 2 :

ÉLÉMENTS TECHNIQUES DE LA GARE AVENUE FOCH

Configuration de la gare :

Pas de correspondance.

Un quai central encadré de 2 voies.

Pas de portes palières

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 2 310 par jour (source SNCF)

Nombre de trains/jour ; 179 les jours ouvrés et 143 le weekend

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 mouvements sociaux ont perturbé la circulation normale des trains du 4 au 31 décembre 2019.

ANNEXE 3 :

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.

A 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. 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 (pour les campagnes dans les gares, 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 1er 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 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 volatile des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2.5} par micro-balance à l'aide d'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.

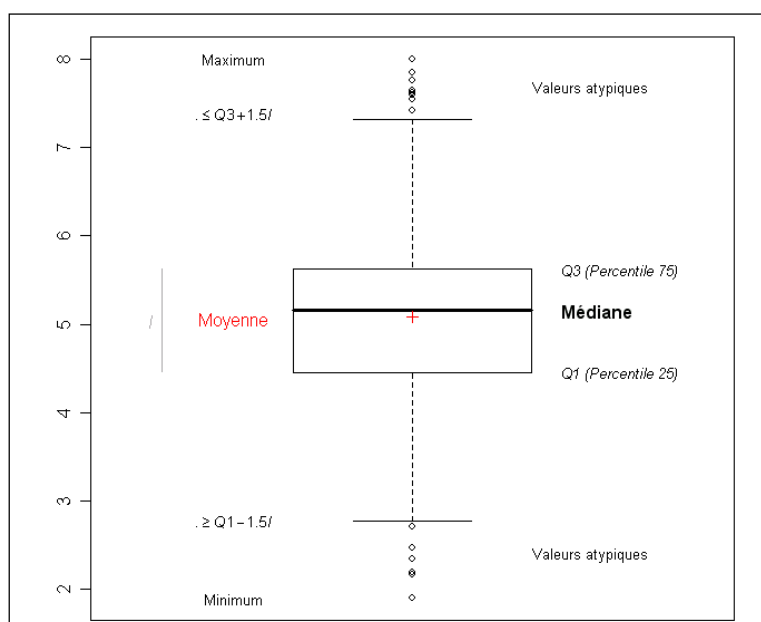
¹⁴ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 4 :

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 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 JANVIER ET DECEMBRE 2019

