



# Mesures de la qualité de l'air intérieur sur les quais du RER C en gare SNCF de Avenue Foch

JANVIER-DÉCEMBRE 2021





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) BILAN 2021

**Mars 2022**

« 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 & Connexions 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 en continu en gare RER C d'Avenue Foch** ont été mises en place depuis avril 2018.

Les particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2.5</sub>) sont suivies, ainsi que les métaux et les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>).

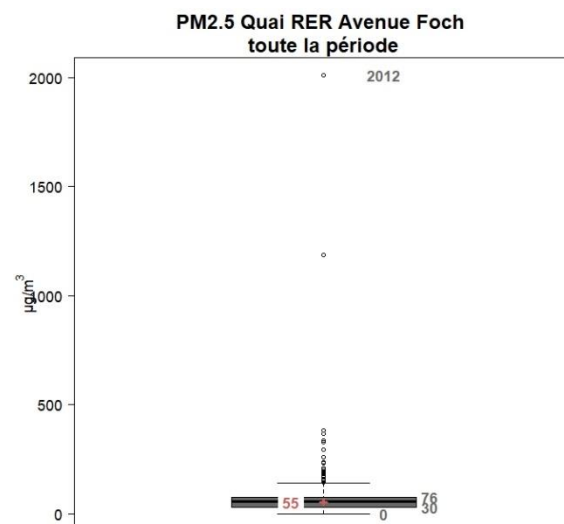
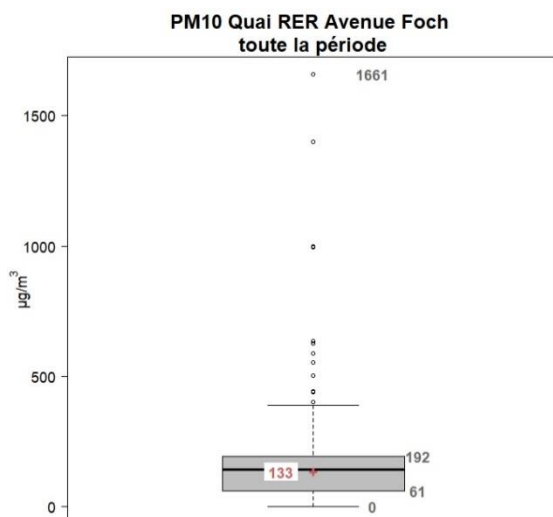
L'année 2021 a été marquée au niveau national par des restrictions de déplacement liées au covid (couvre-feux jusqu'en juin). Le nombre de trains ayant circulé a baissé d'environ 20% par rapport à 2019. Les voyageurs étaient également moins nombreux que les années précédant le covid.

Au cours de l'année 2021 d'importants travaux sur les voies (CASTOR) ont eu lieu l'été sur la ligne C du RER. Les mesures ont dû être suspendues du 5 Juillet au 1<sup>er</sup> septembre 2021. Aucune donnée n'est par conséquent disponible sur cette période.

## Les principaux résultats en particules

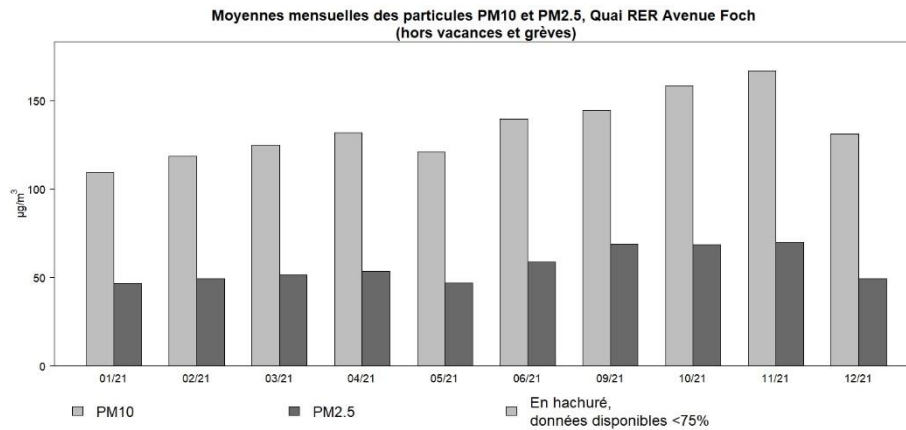
Les teneurs en particules fines PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare RER C Avenue Foch en 2021 sont en moyenne de 133 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 1661 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le mardi 16 novembre entre 4 et 5h, lors de travaux nocturnes, lorsque la gare est fermée au public).

Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2.5</sub> atteignent 55 µg/m<sup>3</sup> sur la même période, pour un maximum horaire de 2012 µg/m<sup>3</sup> (atteint le mercredi 10 novembre entre 4 et 5h, lors de travaux nocturnes, lorsque la gare est fermée au public).



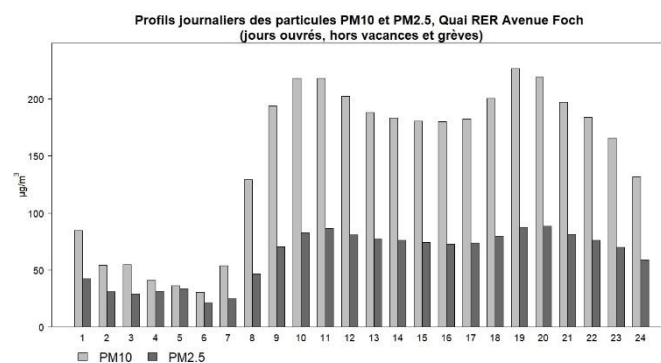
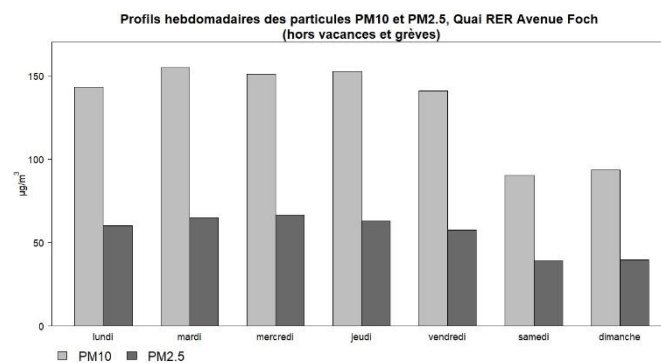
## Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle mensuelle, hebdomadaire, horaire) ?

A l'échelle mensuelle, une forte variabilité des concentrations en particules est observée, en lien notamment avec le nombre de trains en circulation et le nombre de voyageurs. En moyenne, le mois de janvier a présenté les concentrations en particules les plus faibles avec  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne pour les  $\text{PM}_{10}$  et  $47 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$ . Des maxima de  $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de particules  $\text{PM}_{10}$  et  $70 \mu\text{g}/\text{m}^3$  de  $\text{PM}_{2.5}$  ont été relevés au cours du mois de novembre.



Les variations temporelles hebdomadaires et journalières sont essentiellement liées au nombre de trains en circulation, qui fluctue fortement au cours de la journée et des jours (semaine / week-ends).

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, ceci pour les  $\text{PM}_{10}$  (avec - 38 %) et les  $\text{PM}_{2.5}$  (avec - 37 %), en lien avec la baisse de fréquentation et de trafic le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).



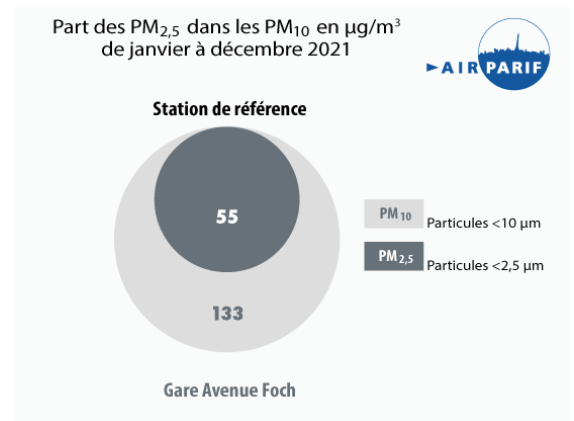
Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes (1-5h) hors périodes de travaux, sont les plus faibles, avec en moyenne  $54 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et  $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ . Les niveaux augmentent en journée. Les

concentrations sont maximales le matin (9-12h) et le soir (18-20h). A ces périodes, les concentrations sont en moyenne de 211 µg/m³ pour les PM<sub>10</sub> et 83 µg/m³ pour les PM<sub>2,5</sub>.

Les concentrations sont plus importantes en service commercial (5h-1h) que sur une journée de 24h, de 14 % pour les PM<sub>10</sub> et de 11 % pour les PM<sub>2,5</sub>.

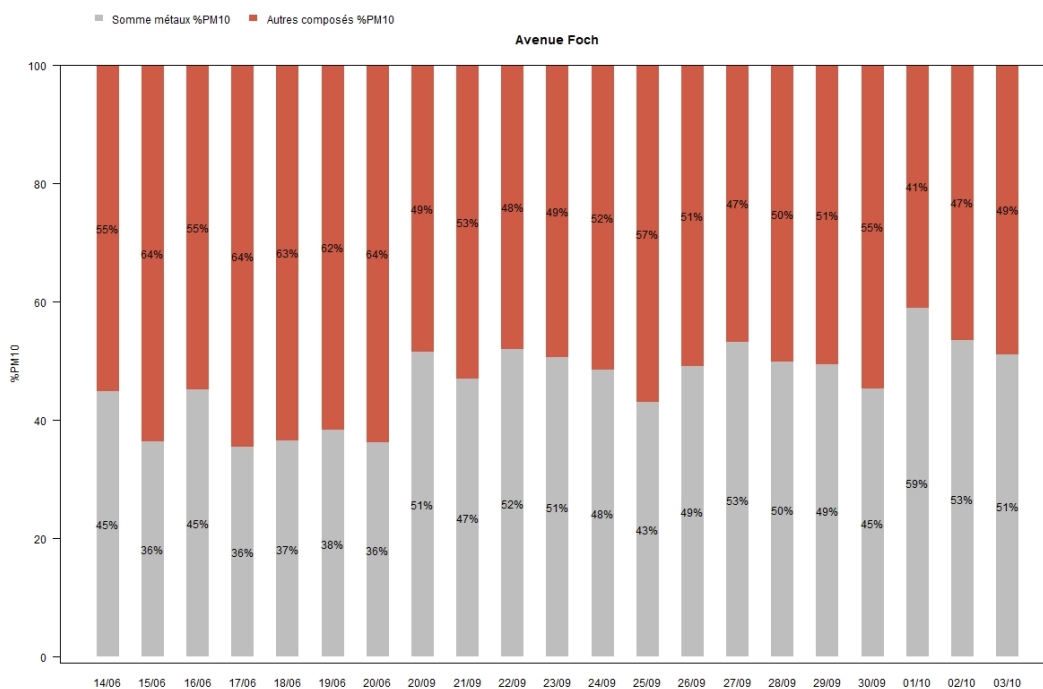
### Ratio PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio horaire PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> sur les quais de la gare RER C d'Avenue Foch est en moyenne de 0,49. Les ratios varient peu à l'échelle mensuelle ou hebdomadaire. Le profil journalier montre des ratios stables en journée (0,4 entre 7h et 24h), et en hausse la nuit (0,69). 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 PM<sub>10</sub> varie de 36 à 59 % sur les 21 journées de mesures réalisées en 2021 (du 14 au 20 juin et du 20 septembre au 3 octobre). Elle est en moyenne de 46%.



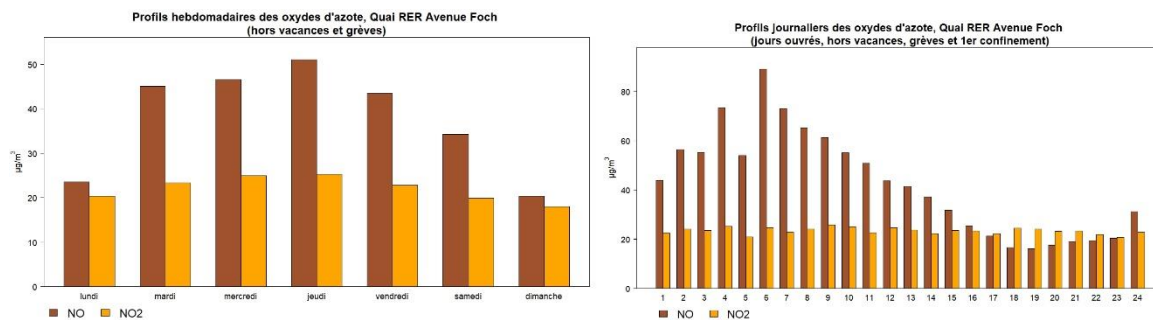
### Quelle est la répartition entre les onze métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 94 % de la masse des métaux mesurés à Avenue Foch. Suivent ensuite le **Baryum** (3,5 %), le **Zinc** et le **Manganèse** (0,8 % Chacun), le **Cuivre** (0,7 %) et le **Chrome** (0,3 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et Nickel sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués. A noter que le Baryum a été ajouté à la liste des métaux suivis.

## Les principaux résultats des autres composés suivis : oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>)

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C d'Avenue Foch en 2021, est de 34 µg/m<sup>3</sup> en NO et 21 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, de - 36 % pour le NO et de façon plus limitée pour le NO<sub>2</sub> avec une diminution de - 18 %. Le NO<sub>2</sub> étant un polluant secondaire, les niveaux relevés sont moins impactés par la pollution directe émise par les locomotives diesel (trains travaux), ce qui explique la baisse moins importante relevée.



Sur une journée ouvrée, les niveaux en NO<sub>2</sub> sont à peu près constants, avec une moyenne de 23 µg/m<sup>3</sup>. Concernant le NO, les niveaux nocturnes (1-5h) sont les plus forts, avec en moyenne 47 µg/m<sup>3</sup> contre 32 µg/m<sup>3</sup> durant le service commercial. La hausse des niveaux de NO la nuit s'explique par les travaux de maintenance du réseau souterrain, qui se font généralement la nuit, voire par le passage de trains à locomotive diesel.

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions plus importantes en NO qu'en NO<sub>2</sub>, probablement en lien avec la fréquence des travaux et la crise sanitaire qui ont entraîné une baisse globale du trafic.

### 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 PM<sub>10</sub> que très fines PM<sub>2,5</sub>, d'où des maxima observés aux heures de pointe les jours ouvrés, hors périodes de travaux.
- Les niveaux en CO<sub>2</sub>, 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 RER C 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 PM<sub>10</sub>, l'influence de l'air extérieur est négligeable par rapport aux teneurs observées sur les quais.
- Le matériel roulant pourrait avoir un impact sur les concentrations en particules en gare, tout comme la vitesse d'arrivée à quai ou le freinage.

# SOMMAIRE

SYNTHESE .....	4
SOMMAIRE .....	8
GLOSSAIRE .....	10
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	11
1. DESCRIPTION DE LA STATION DE REFERENCE AVENUE FOCH.....	13
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE, POLLUANTS MESURES ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE .....	13
1.2 PERIODE DE MESURE.....	14
2. NIVEAUX DE POLLUANTS RENCONTRES DANS LA GARE.....	15
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI : PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> ET NO <sub>x</sub> .....	15
2.1.1. PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	16
2.1.2. PARTICULES PM <sub>2.5</sub> .....	17
2.1.3. OXYDES D'AZOTE (NO <sub>x</sub> ).....	18
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> ET NO <sub>x</sub> .....	19
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE .....	19
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	22
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	26
2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE .....	28
2.2.5. VARIABILITE ANNUELLE.....	30
2.2.6. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL .....	32
2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2.5</sub> .....	35
2.3.1. NIVEAUX MOYENS .....	35
2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	36
2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	38
2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE .....	39
2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL .....	39
2.3.6 VARIABILITE ANNUELLE.....	40
2.4 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES .....	41
2.4.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	42
2.4.2. REPARTITION DES METAUX.....	43
2.4.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	45
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	47
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR.....	47
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT.....	52
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.....	54
4. CONCLUSION.....	57
ANNEXES .....	59
ANNEXE 1.....	59



ANNEXE 2.....	60
ANNEXE 3.....	61
ANNEXE 4.....	63
ANNEXE 5.....	64

# GLOSSAIRE

**µg/m<sup>3</sup>** micro gramme par mètre cube

**ng/m<sup>3</sup>** 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.).

**CO<sub>2</sub>** Dioxyde de carbone

**NO** Monoxyde d'azote

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

**NO<sub>x</sub>** (NO+NO<sub>2</sub>) Oxydes d'azote

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

**PM<sub>2.5</sub>** Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

**FDMS** Filter Dynamics Measurement System : méthode de mesure des particules 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 collègues qui la composent (Etat, collectivités, acteurs économiques, milieu associatif et personnalités qualifiées) assurent son interaction avec les attentes de la société et lui garantissent indépendance et transparence dans ses orientations et ses activités.

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

- **Surveiller** par une combinaison technologique (modélisation, stations, émissions) permettant de renseigner 7 millions de points toutes les heures en Ile-de-France ; 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.

# INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Un programme de partenariat entre SNCF Gares France& Connexions 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'environnement<sup>1</sup>, 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.

Airparif assure le suivi de la qualité de l'air en gare RER C d'Avenue Foch. La station mesure au pas de temps horaire des particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2,5</sub>). Des relevés réguliers de métaux y sont également réalisés, 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), Chrome (Cr) et le Baryum (Ba).

Par ailleurs, la station Avenue Foch mesure également les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). 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.

Enfin, les paramètres de confort (CO<sub>2</sub>, Humidité et Température) ont été suivis. Les mesures ont été réalisées sur le quai de la gare.

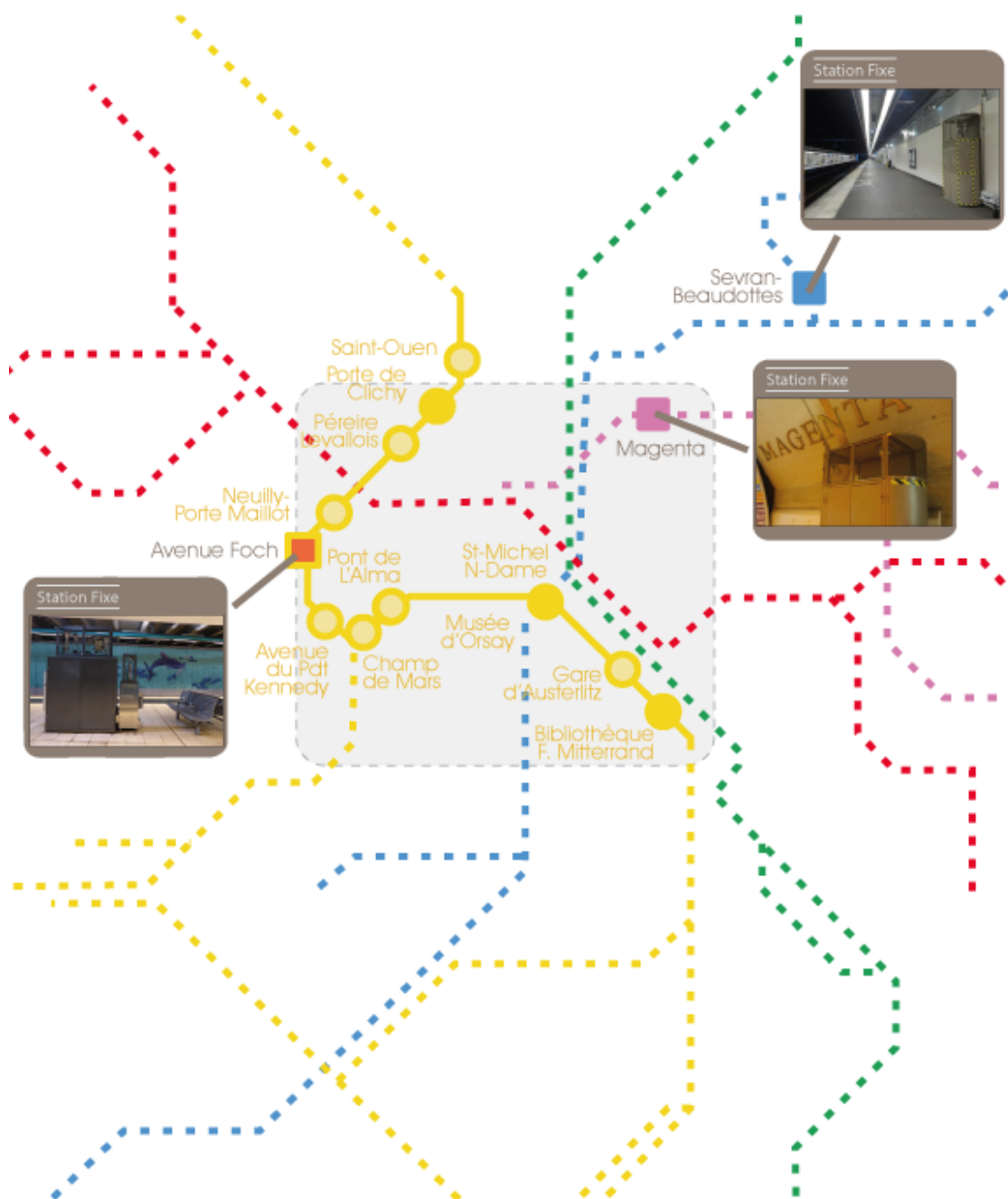
En parallèle de la station Avenue Foch, deux stations de mesure gérées par AEF ont été installées aux stations Magenta (RER E) et Sevrans-Beaudottes (RER B) Ces trois gares dites de référence ont été choisies pour leurs caractéristiques différentes : Magenta est une station récente, avec une ventilation contrôlée, alors que les gares d'Avenue Foch et Sevrans-Beaudottes sont plus anciennes, sans ventilation mécanique.

**Ce rapport présente les résultats à la station de référence d'Avenue Foch sur l'ensemble de l'année 2021.**

---

<sup>1</sup> 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).

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 trois stations fixes (Magenta, Sevrans-Beaudottes 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 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 permet de réaliser un suivi 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<sup>ème</sup>).

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

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

Le nombre de voyageurs montant en gare Avenue Foch sur le RER C est de 2 301, en moyenne par jour. C'est l'une des gares RER franciliennes les moins fréquentées (données SNCF 2021).

Le nombre de trains moyen circulant par jour en gare RER C Avenue Foch (2 sens et jours ouvrés/week-end confondus) est de 169.

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

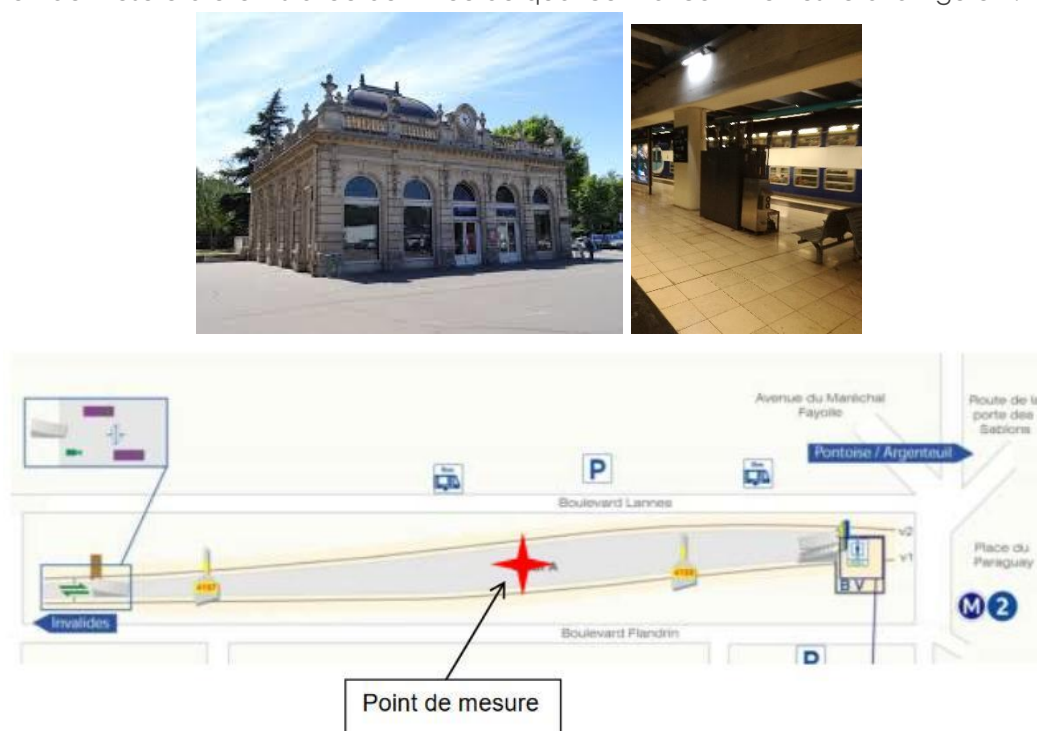


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Avenue Foch, ligne RER C, quai central), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare

Des mesures de particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub>, de métaux et d'oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) ont été réalisées dans cette gare. Les paramètres de confort complètent le dispositif de mesure avec des relevés en CO<sub>2</sub>, 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 2 et en Annexe 3.

## 1.2 PERIODE DE MESURE

La gare RER C 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**.

**Le présent rapport traite des mesures réalisées en 2021, entre janvier et décembre.**

## 2. NIVEAUX DE POLLUANTS 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 PM<sub>10</sub>.

### 2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI : PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et NO<sub>x</sub>

Les principaux résultats (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau suivant, pour la gare RER C Avenue Foch, sur l'ensemble de l'année 2021.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (particules fines)	PM <sub>2.5</sub> (particules très fines)	NO (monoxyde d'azote)	NO <sub>2</sub> (dioxyde d'azote)
Minimum horaire	0	0	1	3
Percentile 25 (P25)	61	30	4	14
Médiane ou Percentile 50	144	56	10	19
Moyenne horaire	<b>133</b>	<b>55</b>	<b>34</b>	<b>21</b>
Percentile 75 (P75)	192	76	28	25
Maximum horaire	1661	2012	1393	283
% de données horaires valides	80	79	81	81

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

Le niveau moyen en PM<sub>10</sub> relevé en gare RER C Avenue Foch sur l'année 2021 est de 133 µg/m<sup>3</sup>, celui en PM<sub>2.5</sub> est de 55 µg/m<sup>3</sup>.

Concernant les polluants gazeux, le niveau moyen en NO<sub>2</sub> relevé en gare RER C Avenue Foch est de 21 µg/m<sup>3</sup>, celui en NO est de 34 µg/m<sup>3</sup>.

Ces résultats sont détaillés dans les paragraphes suivants.

## 2.1.1. PARTICULES PM<sub>10</sub>

La variabilité des concentrations en PM<sub>10</sub> à la gare RER C d'Avenue Foch est présentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches sur toute la période de mesures.

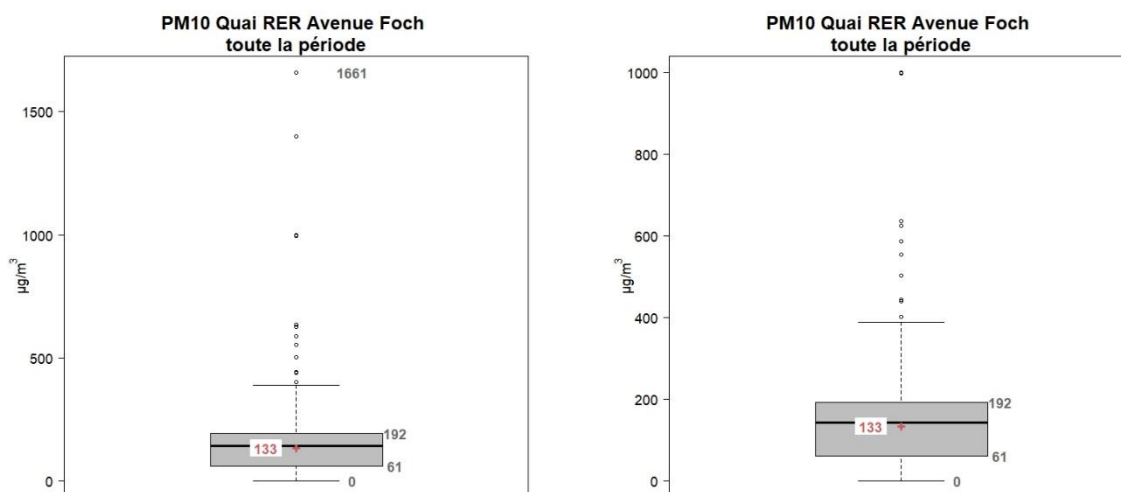


Figure 3 – Boîte à moustaches des relevés horaires en PM<sub>10</sub> (en µg/m<sup>3</sup>) à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2021. (Zoom sur les données à droite).

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 PM<sub>10</sub> en gare RER C d'Avenue Foch montre une répartition « équilibrée<sup>2</sup> » des mesures, avec toutefois des maxima horaires isolés (« valeurs atypiques ») élevés.

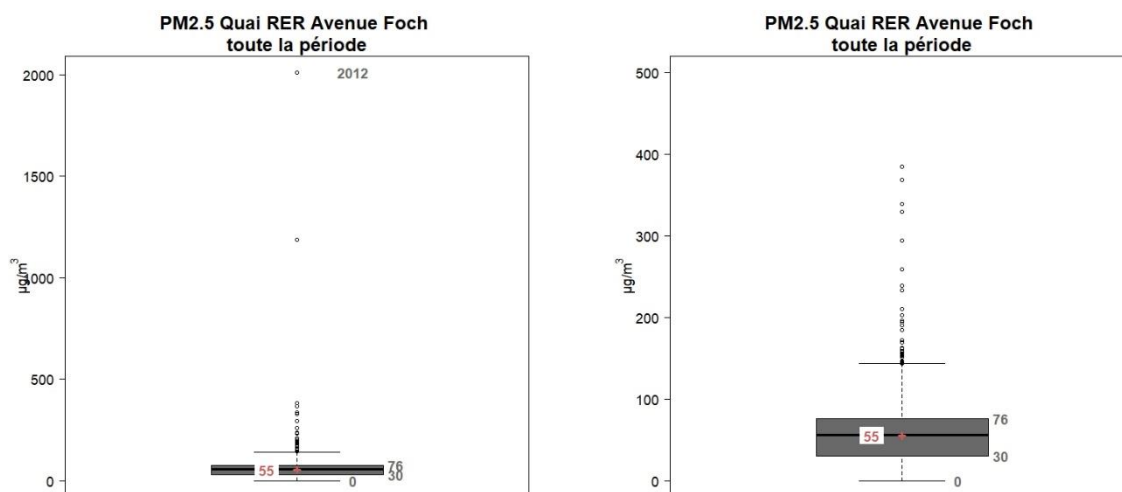
En considérant toutes les données, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 61 et 192 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 133 µg/m<sup>3</sup> (médiane légèrement supérieure, à 144 µg/m<sup>3</sup>). Le maximum atteint à Avenue Foch est de 1661 µg/m<sup>3</sup>, enregistré le mardi 11 novembre entre 4 et 5h, probablement lors de travaux nocturnes.

<sup>2</sup> 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.



## 2.1.2. PARTICULES PM<sub>2.5</sub>

La boîte à moustaches des concentrations horaires en PM<sub>2.5</sub> relevées à la gare RER C d'Avenue Foch est présentée Figure 4, sur toute la période de mesures.



La boîte à moustaches sur l'ensemble de la période de mesure montre une moyenne en PM<sub>2.5</sub> de 55 µg/m<sup>3</sup> en gare RER C Avenue Foch ; 50% des données sont comprises entre 30 et 76 µg/m<sup>3</sup> à Avenue Foch.

Le maximum atteint à Avenue Foch (2012 µg/m<sup>3</sup>) a été enregistré le mercredi 10 novembre entre 4 et 5h, probablement lors de travaux nocturnes.

### 2.1.3. OXYDES D'AZOTE (NO<sub>x</sub>)

Les boîtes à moustaches des concentrations horaires en oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) sont présentées Figure 5.

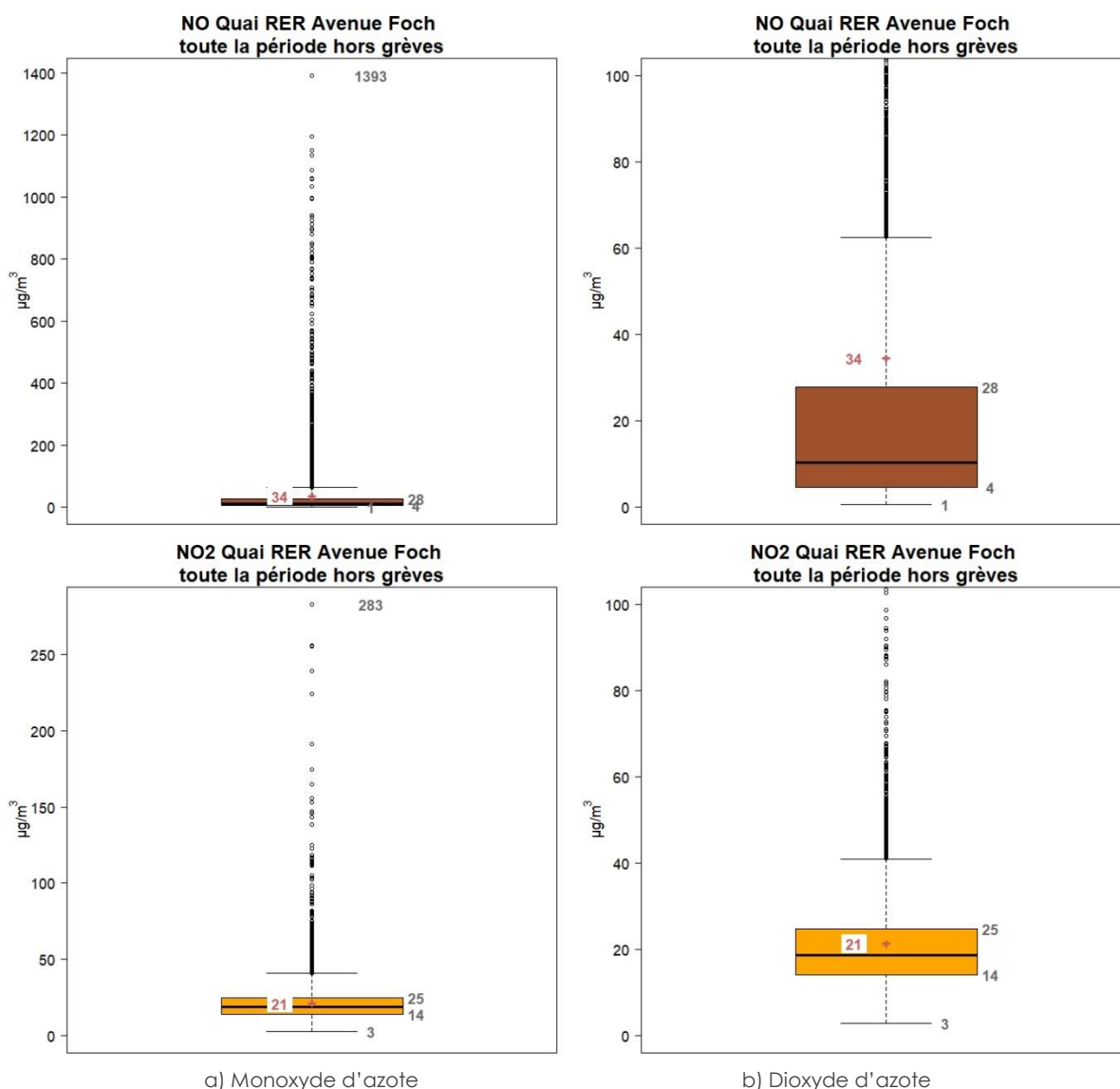


Figure 5 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en (a) NO et (b) NO<sub>2</sub> (en µg/m<sup>3</sup>) à la Gare RER C d'Avenue Foch, en 2021. (Zoom sur les données à droite)

Les 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 4 et 28 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 34 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 10 µg/m<sup>3</sup>.

Concernant le dioxyde d'azote, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 14 et 25 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 21 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 19 µg/m<sup>3</sup>.

**La teneur moyenne relevée sur le quai de la gare RER C Avenue Foch est de 133 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et de 55 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>2.5</sub>.**

**La teneur moyenne relevée sur le quai de la gare RER C Avenue Foch est de 34 µg/m<sup>3</sup> pour le NO et 21 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>. Ces niveaux moyens sont fortement influencés par des teneurs ponctuellement très élevées mesurées lors de travaux (hors période d'ouverture au public).**

## 2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et NO<sub>x</sub>

### 2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE

#### 2.2.1.1. PARTICULES PM<sub>10</sub>

Les relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> en gare RER C Avenue Foch sont présentés à la Figure 6.

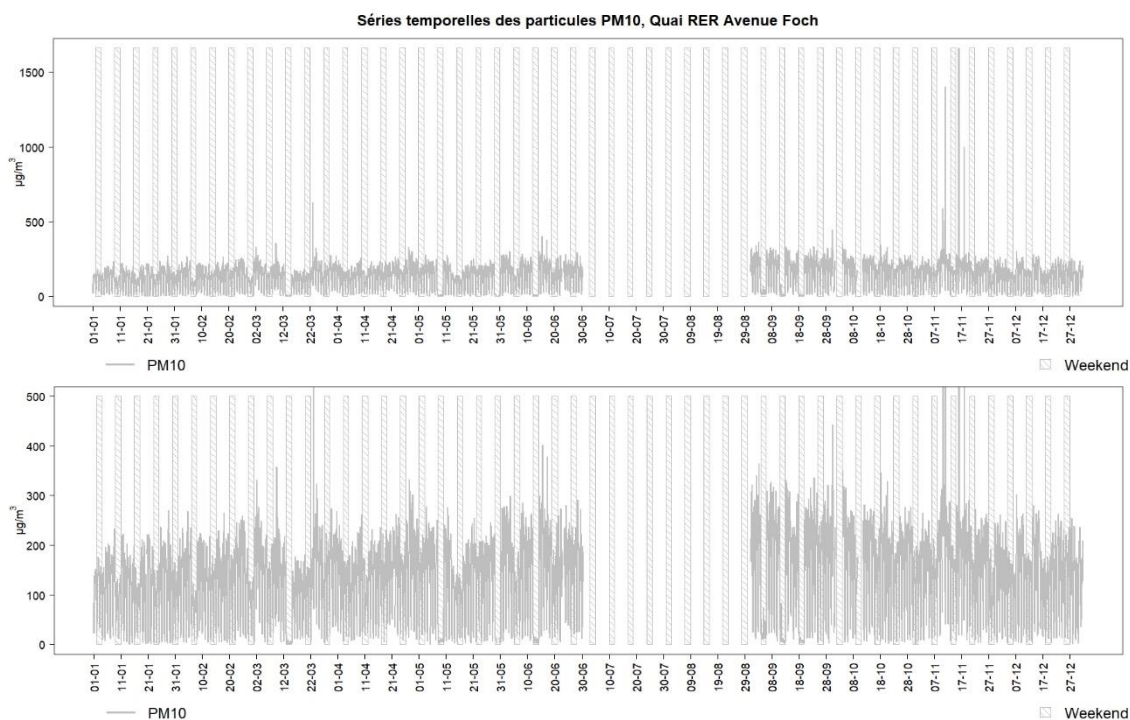


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> : gare RER C d'Avenue Foch, en 2021. (Zoom en bas)

Le graphique montre des teneurs maximales horaires relativement homogènes sur la période, à l'exception de certains pics. Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 250 µg/m<sup>3</sup>. Sur l'ensemble de la campagne, 12 relevés horaires non consécutifs sont supérieurs à 400 µg/m<sup>3</sup> (soit environ 0,2 % des relevés disponibles), et 2 relevés horaires non consécutifs supérieurs à 1000 µg/m<sup>3</sup>.

## 2.2.1.2. PARTICULES PM<sub>2.5</sub>

Les relevés horaires en PM<sub>2.5</sub> aux stations Avenue Foch sont présentés à la Figure 7.

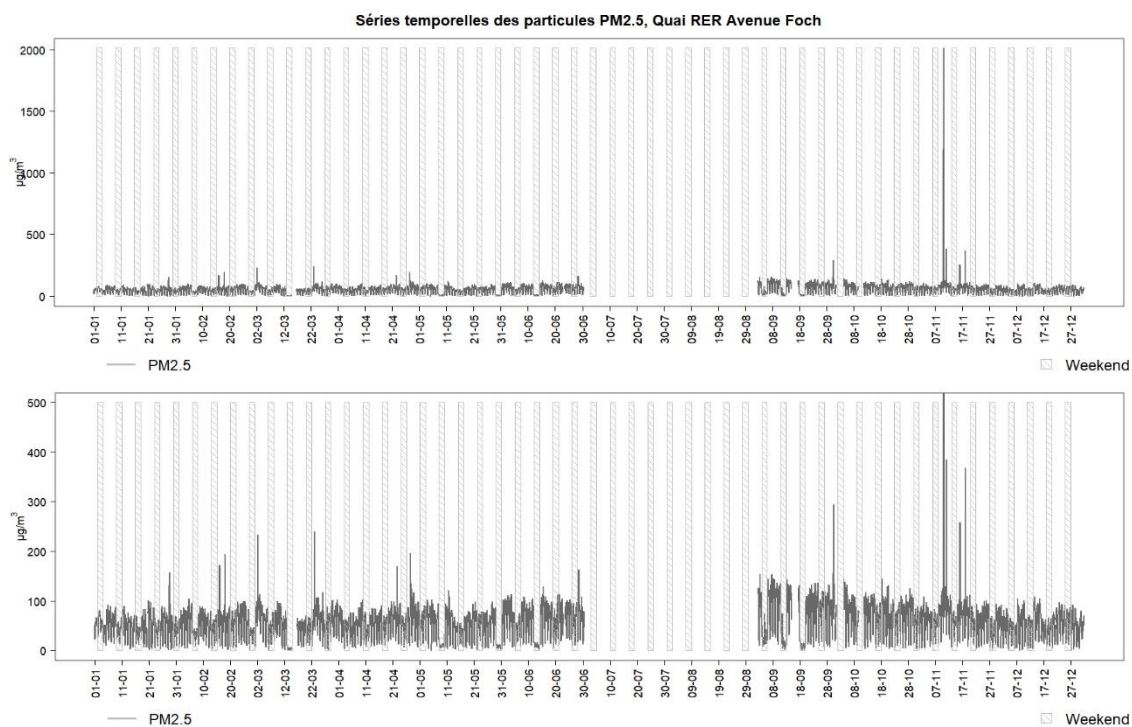


Figure 7 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> : gare RER C d'Avenue, en 2020. (Zoom en bas)

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 10 novembre entre 4 et 5h, avec 2012 µg/m<sup>3</sup>. Ce pic est très probablement lié à des travaux nocturnes.

Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 100 µg/m<sup>3</sup>. Très ponctuellement, des teneurs (12 heures, soit 0,2% environ des relevés disponibles) supérieures à 200 µg/m<sup>3</sup> ont été mesurées.

### 2.2.1.3. OXYDES D'AZOTE NO<sub>x</sub>

Les relevés horaires en NO<sub>x</sub>, présentés en Figure 8, montrent des fluctuations simultanées pour le NO et le NO<sub>2</sub>, cela s'expliquant par les mêmes sources d'émissions pour ces deux composés.

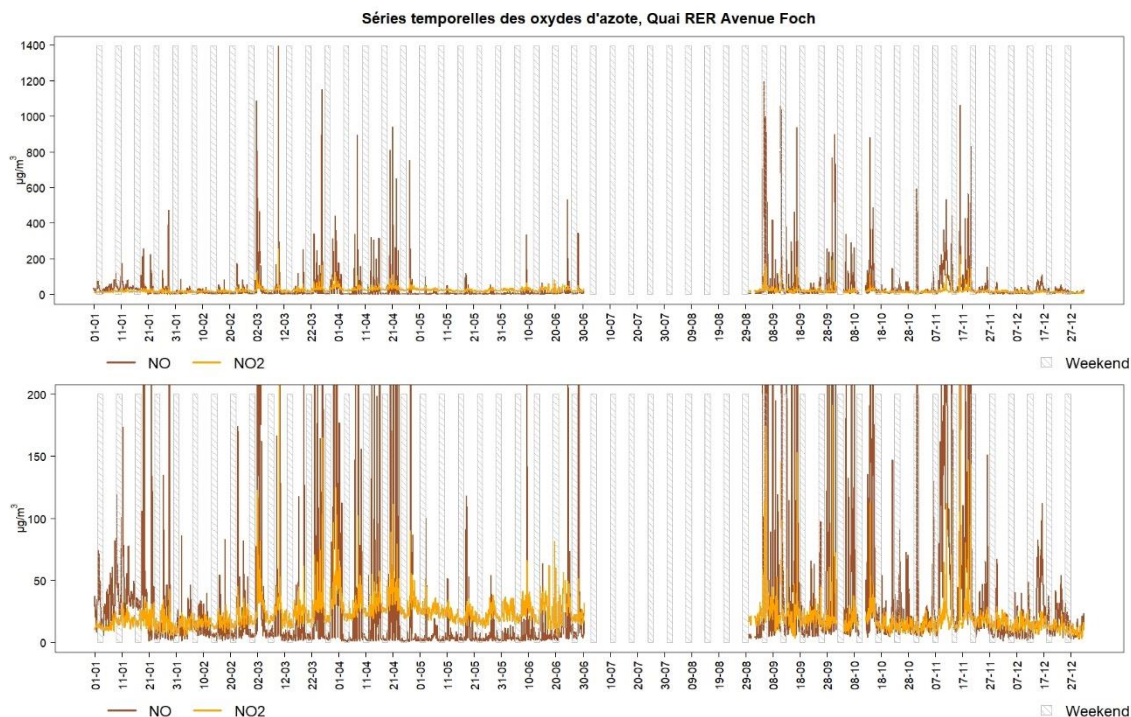


Figure 8 – Evolution des relevés horaires en NO<sub>x</sub>, en µg/m<sup>3</sup>, à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2020. (Zoom en bas)

Les teneurs en NO sont variables dans le temps. 0,1 % des relevés horaires en NO dépassent 1000 µg/m<sup>3</sup>, valeurs majoritairement enregistrées entre 21h et 6h, probablement en lien avec la réalisation de travaux nocturnes avec des trains diesel. Pour le NO<sub>2</sub>, les teneurs sont plus homogènes sur l'ensemble de la période. Les niveaux les plus élevés sont mesurés simultanément aux teneurs les plus élevées de NO. Les niveaux les plus élevés de NO<sub>2</sub> peuvent ponctuellement dépasser les 100 µg/m<sup>3</sup> (0.4 % des relevés horaires en NO<sub>2</sub> dépassent les 100 µg/m<sup>3</sup>).

## 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'Ile-de-France) est présenté en Figure 9.

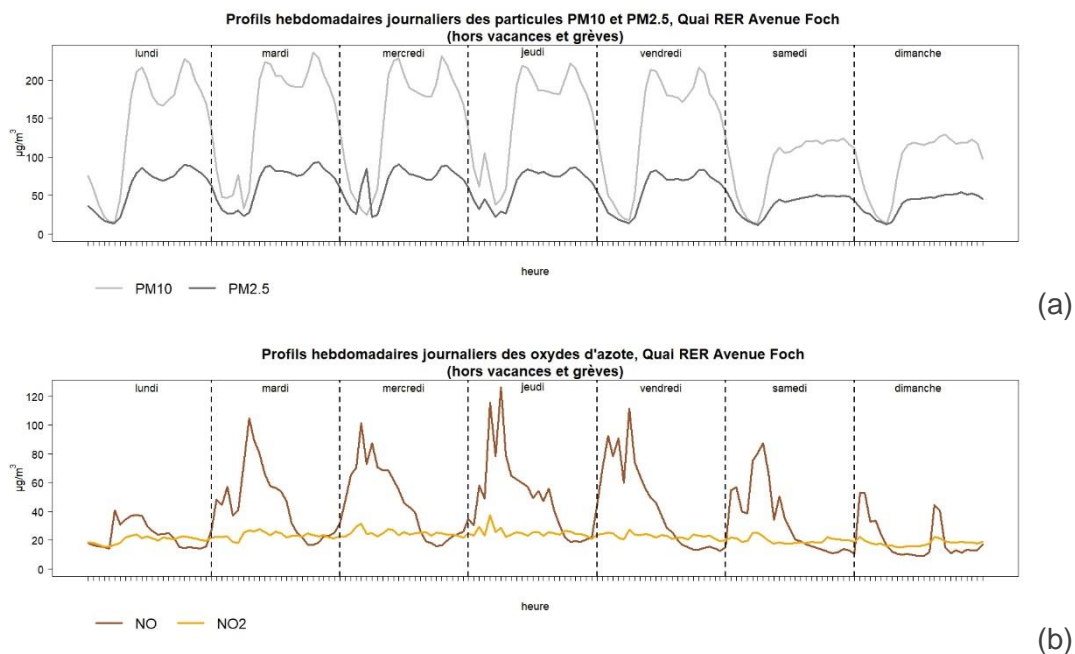


Figure 9 – Évolution des profils horaires en  $\text{PM}_{2.5}$  et  $\text{PM}_{10}$  à la gare RER C d'Avenue Foch (a) et évolution des profils horaires en NO et  $\text{NO}_2$  à Avenue Foch et en air extérieur (b), sur l'année 2021 - [hors vacances scolaires et grèves](#).

Le graphique « a » traite des résultats pour les  $\text{PM}_{10}$  et les  $\text{PM}_{2.5}$  en gare RER C d'Avenue Foch. Les variations montrent des fluctuations les jours ouvrés entre les niveaux plus faibles la nuit et la hausse des teneurs en journée, avec les maximaux aux heures de pointe du trafic ferroviaire. Des niveaux plus faibles sont mesurés les samedis et dimanches, avec également des concentrations en journée plus stables que celles observées les jours ouvrés (profil sans heure de pointe).

Le profil des  $\text{NO}_x$  (graphique « b ») est très différent de celui des particules : les niveaux les plus faibles sont enregistrés durant le service commercial.

Les concentrations en dioxyde d'azote sont stables en semaine, comme le week-end.

Concernant le monoxyde d'azote, de fortes augmentations de concentrations, pouvant atteindre  $120 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne horaire, sont observées durant la nuit les jours ouvrés. Ces pics de NO sont liés au passage de trains diesel, en lien avec des travaux en gare ou sur la ligne de RER.

## 2.2.2.2. ZOOM SUR LES VARIATIONS JOURNALIÈRES SUR UNE SEMAINE

Les profils hebdomadaires à la gare RER C Avenue Foch sont présentés à la Figure 10 pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> (a) et les NO<sub>x</sub> (b).

Une comparaison entre les résultats en période commerciale et en période nocturne est présentée au paragraphe 2.2.6.

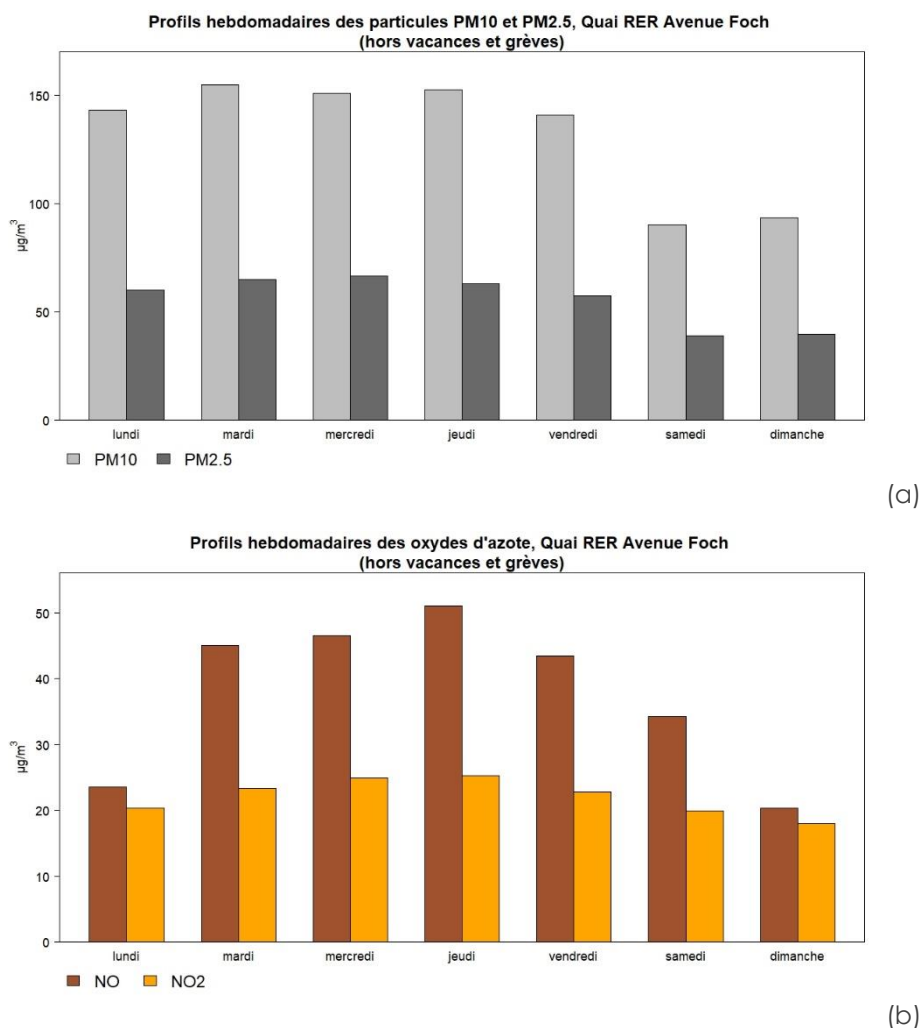


Figure 10 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> (a) à la gare RER C Avenue Foch et évolution des profils hebdomadaires en NO et NO<sub>2</sub> (b) à Avenue Foch, en 2021 - [hors vacances scolaires](#).

**Les niveaux moyens en particules** à la station Avenue Foch sont relativement stables les jours ouvrés : autour de 150 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une journée pour les PM<sub>10</sub> et 60 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>2.5</sub>. Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés, de 38 % pour les PM<sub>10</sub> et 37 % pour les PM<sub>2.5</sub>. Cette différence s'explique par la diminution du nombre de trains le week-end par rapport aux jours ouvrés, facteur d'influence sur les particules (cf. paragraphe 3.3).

La Figure 11 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en particules fines PM<sub>10</sub> et très fines PM<sub>2.5</sub> en gare RER C Avenue Foch. Pour chacun des polluants, les dispersions des niveaux horaires pour les jours ouvrés sont relativement stables. 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)).

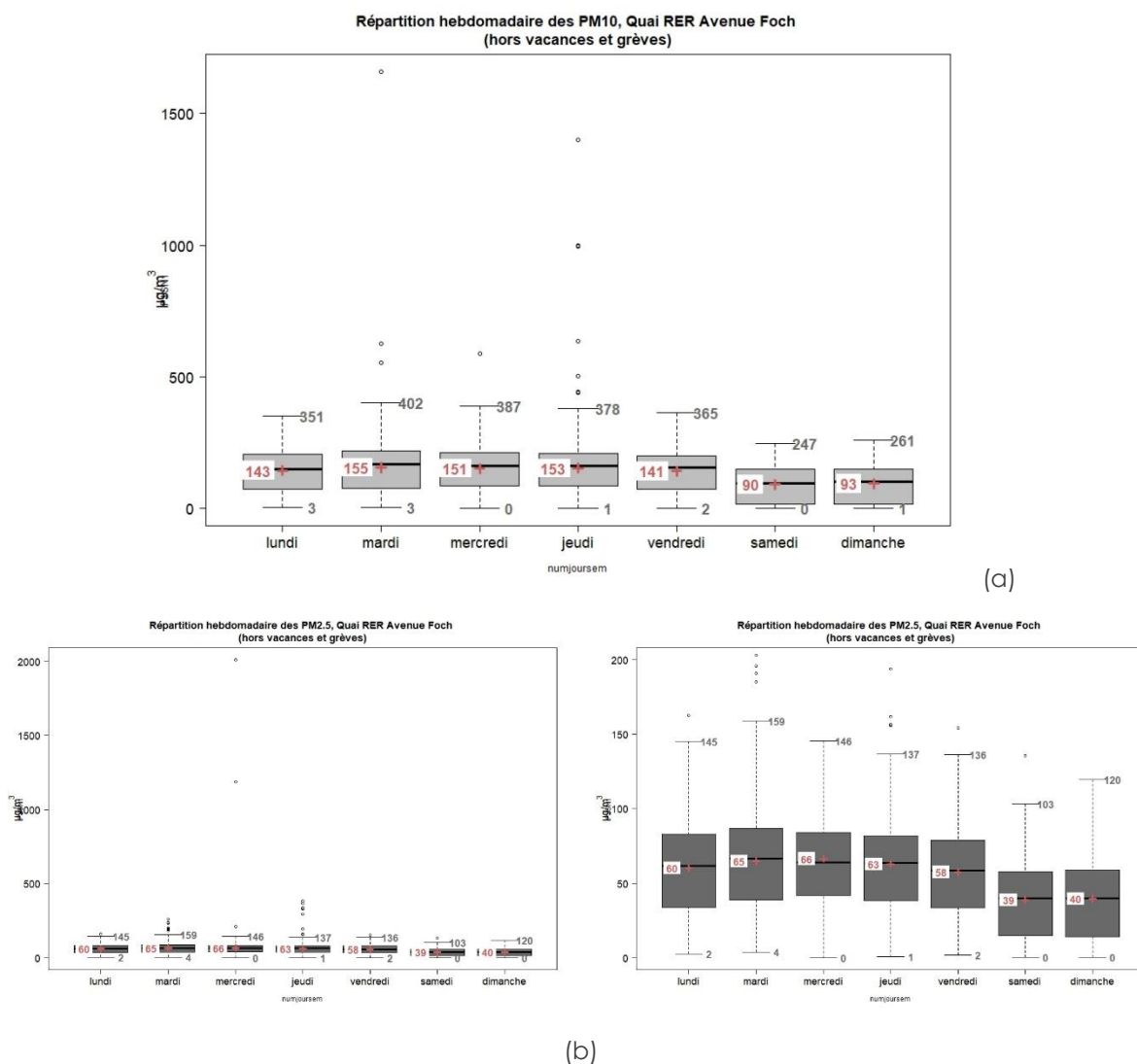


Figure 11 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C d'Avenue Foch, année 2020 - hors vacances scolaires.



Concernant les NO<sub>x</sub>, la Figure 12 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en NO et en NO<sub>2</sub>, en gare RER C Avenue Foch (hors vacances scolaires et grèves).

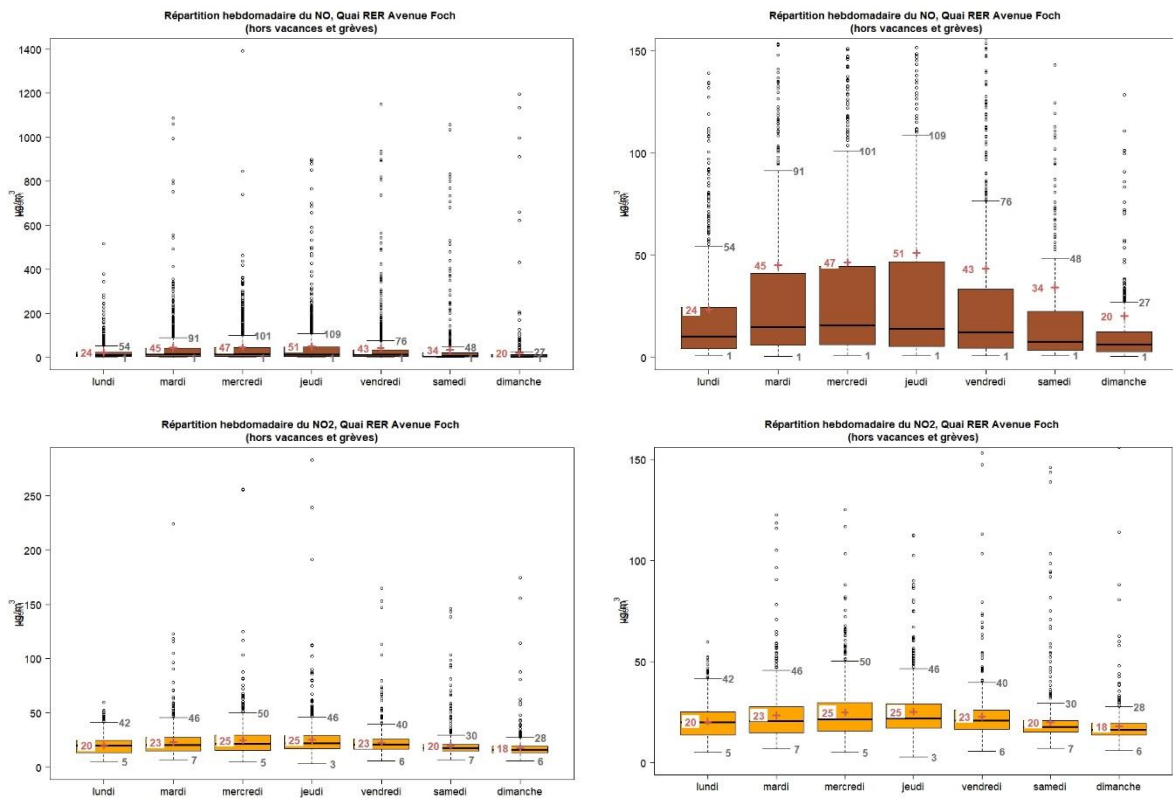


Figure 12 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en NO (a) et NO<sub>2</sub> (b) à la gare RER C d'Avenue Foch, année 2020 - hors vacances scolaires. (Zoom sur la droite)

Les distributions des concentrations en NO<sub>2</sub> sont globalement stables et équilibrées les jours ouvrés comme le week-end. Concernant le NO, les boîtes à moustaches ne sont pas équilibrées, en lien avec les nombreuses valeurs atypiques relevées. Les concentrations en NO relevées les jours ouvrés sont supérieures à celles observées le week-end, ce qui s'explique par le fait que les travaux ont essentiellement lieu les jours ouvrés. Ainsi, les niveaux en NO diminuent de 36 % le week-end par rapport aux jours ouvrés.

Pour le NO<sub>2</sub>, polluant secondaire et par conséquent moins impacté par la pollution directe émise par les locomotives diesel (trains travaux), la baisse des teneurs le week-end est moins importante avec – 18 %.

## 2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 13, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés** (hors vacances scolaires).

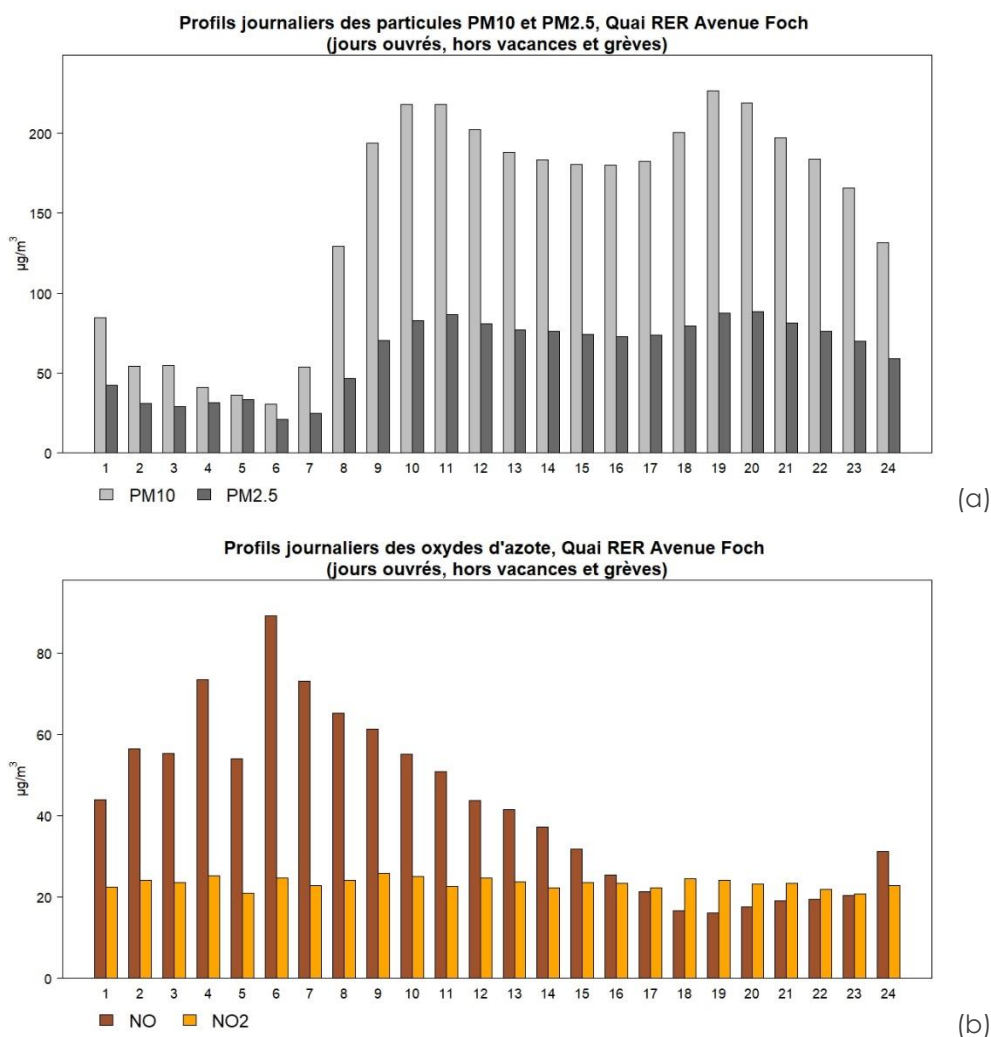


Figure 13 – Évolution des profils journaliers en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C d'Avenue Foch et évolution des profils en NO et NO<sub>2</sub> (c) à Avenue Foch, année 2021 – jours ouvrés hors vacances scolaires

**Les particules** PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> ont des profils journaliers semblables. Les maxima horaires sont enregistrés lors des heures de pointe : le matin (09-12h) et le soir (18-20h). Les niveaux sur ces périodes de pointe sont en moyenne de 211 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 83 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> en gare RER C d'Avenue Foch.

Les niveaux les plus faibles en gare RER C Avenue Foch sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 54 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et 33 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>. 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 PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> sont respectivement de 31 et 21 µg/m<sup>3</sup>.

Ces profils journaliers en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) fluctuent en partie en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est maximale (cf. paragraphe 3.3).

Le profil journalier en PM<sub>2.5</sub> au sein de la gare RER C Avenue Foch présente des variations horaires moindres (écart type de 42 µg/m<sup>3</sup> sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM<sub>10</sub> (écart type de 84 µg/m<sup>3</sup>). 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.

**Les oxydes d'azote** (NO et NO<sub>2</sub>) mesurés à la gare RER C Avenue Foch ont des profils journaliers différents de ceux des particules.

Pour le NO, les maxima horaires sont enregistrés la nuit, en lien avec la source que représentent les trains travaux à motorisation thermique. Les niveaux sont maximums entre 5 et 6h avec 89 µg/m<sup>3</sup> et diminuent de manière constante jusqu'à 19h, où les niveaux atteignent 16 µg/m<sup>3</sup>.

Concernant le NO<sub>2</sub>, les variations horaires sur un jour ouvré sont plus limitées, avec des concentrations variant de 21 à 26 µg/m<sup>3</sup>.

Les profils journaliers en NO<sub>x</sub> 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).

## 2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE

Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 14, résume les niveaux moyens en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> ainsi qu'en oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) observés chaque mois de l'année 2021 (hors vacances scolaires).

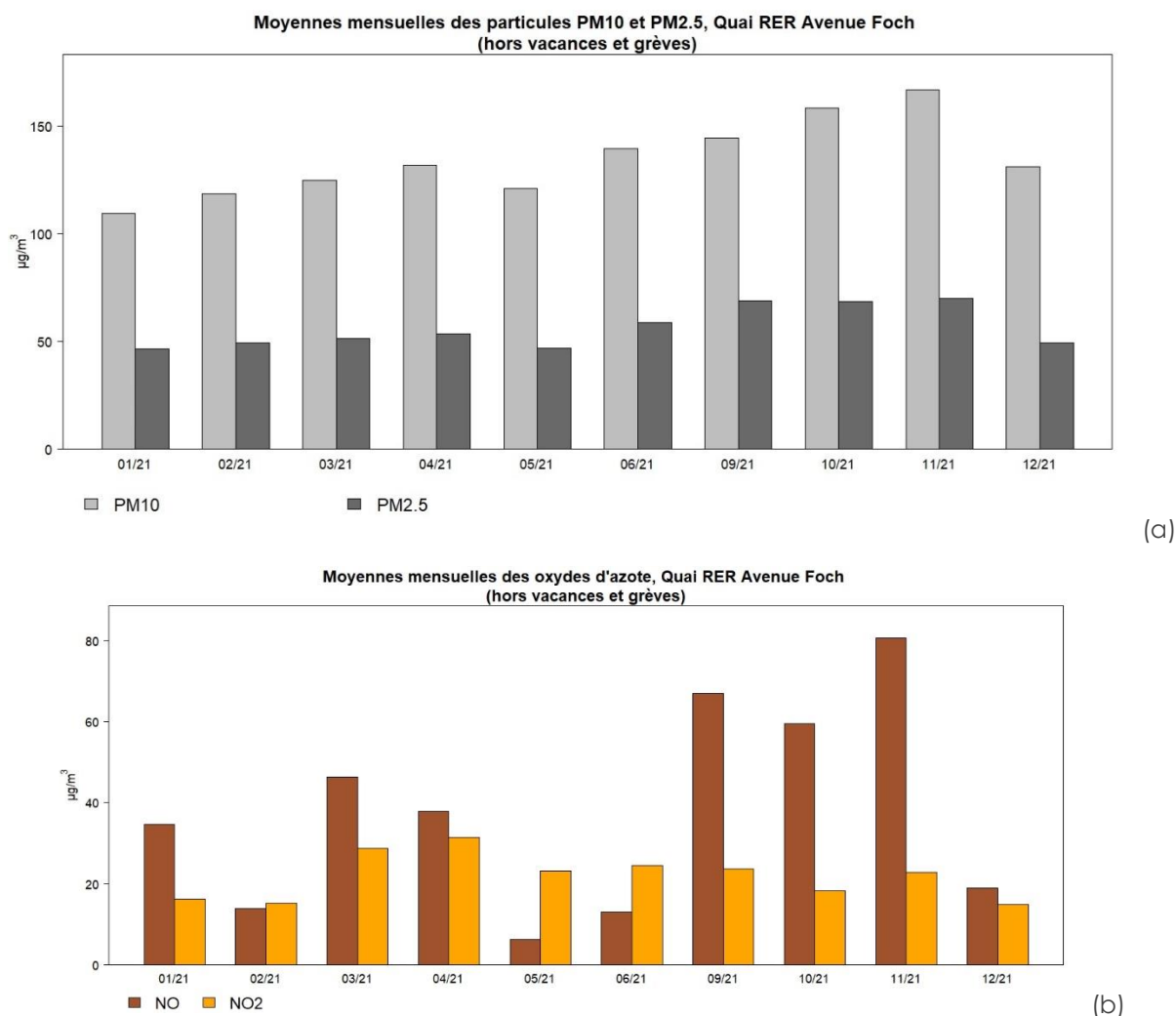


Figure 14 – Évolution des profils mensuels en PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>) à la gare RER C d'Avenue Foch en 2021, [hors vacances scolaires](#).

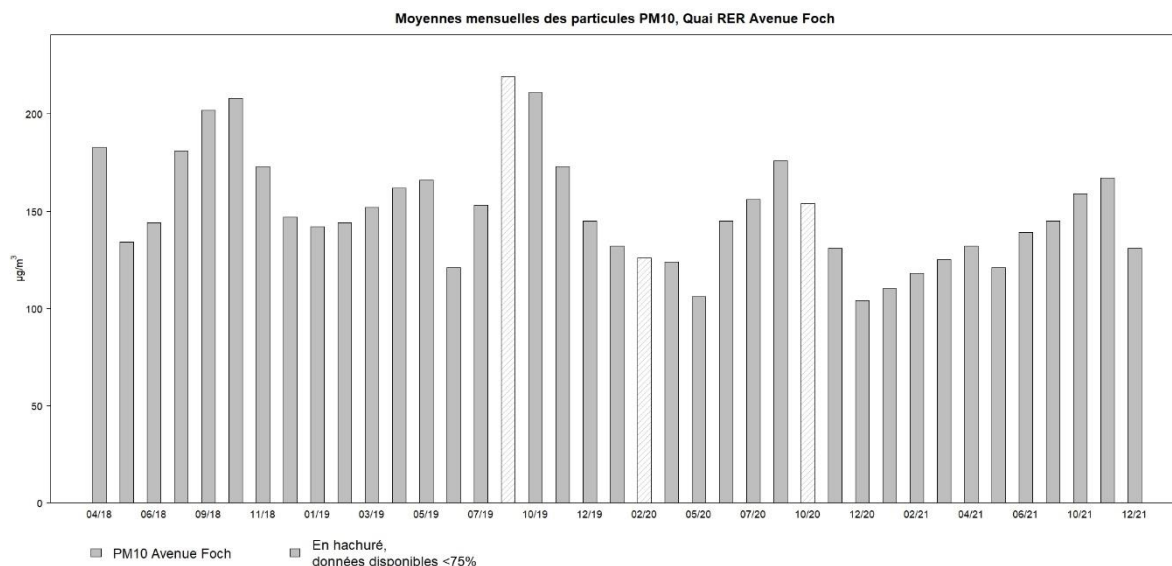
**Les particules PM<sub>10</sub> et les particules PM<sub>2,5</sub>** présentent des variations mensuelles comparables. Des baisses de concentrations ont été observées au cours des mois de mai et décembre. Le reste de l'année une légère hausse des concentrations en particules au fil des mois a été observée.

Les variations mensuelles en **NO et NO<sub>2</sub>** 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 NO<sub>2</sub>.

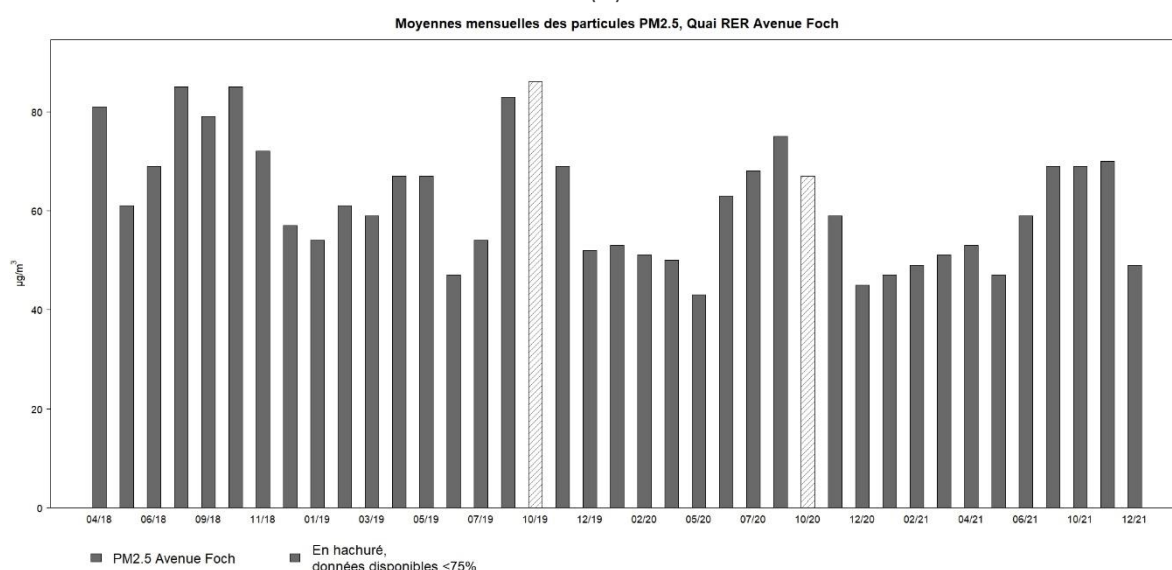
Les teneurs en NO<sub>x</sub> varient beaucoup selon les mois. Le mois présentant la plus faible valeur mensuelle en NO est le mois de mai 2021 (6 µg/m<sup>3</sup>) et le mois de décembre 2021 pour le NO<sub>2</sub> (15 µg/m<sup>3</sup>). Le maximum mensuel en NO a été le mois de novembre 2021 (81 µg/m<sup>3</sup>) et celui d'avril pour le NO<sub>2</sub> (31 µg/m<sup>3</sup>). Les variations mensuelles peuvent s'expliquer notamment par la fréquence des travaux ou le passage de trains diesel en période nocturne.

La Figure 15 présente les niveaux moyens en particules observés chaque mois\* depuis le début de la surveillance (avril 2018), en gare RER C Avenue Foch.

\*Les données des vacances scolaires, des grèves et du 1<sup>er</sup> confinement de l'année 2020 ne sont pas prises en compte.



(a)



(b)

Figure 15 : Evolution des profils mensuels en particules PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C Avenue Foch depuis avril 2018 – hors vacances, grèves et 1<sup>er</sup> confinement. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> présentent des évolutions mensuelles comparables. Les concentrations varient de manière importante, entre 104 à 219 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 43 à 86 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>2.5</sub>.

Depuis le début de la surveillance de cette gare (avril 2018), une tendance semble se dessiner sur les niveaux moyens mensuels en gare RER C Avenue Foch, avec des teneurs plus élevées en septembre et octobre et plus faibles durant le printemps.

## 2.2.5. VARIABILITE ANNUELLE

Les tableaux suivants présentent les statistiques des relevés horaires en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et en oxydes d'azote (NOx) depuis le début de la surveillance de la gare en avril 2018.

Les niveaux relevés au cours de l'année 2021 ont diminué par rapport aux années précédentes, ce qui peut s'expliquer par une baisse globale du trafic ferroviaire depuis l'année 2020 en lien avec la crise sanitaire. La baisse des concentrations est toutefois plus marquée pour les particules PM<sub>10</sub> que pour les particules PM<sub>2.5</sub>.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	2018	2019	2020	2021
Minimum horaire	0	0	0	0
Percentile 25 (P25)	83	86	65	61
Médiane ou Percentile 50	165	168	151	144
Moyenne horaire	<b>168</b>	<b>163</b>	<b>148</b>	<b>133</b>
Percentile 75 (P75)	241	229	216	192
Maximum horaire	1318	3278	518	1661
% de données horaires valides	90	94	87	80

Tableau 2 : Statistiques des relevés horaires en PM<sub>10</sub> à la station de référence RER C Avenue Foch depuis 2018.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	2018	2019	2020	2021
Minimum horaire	5	5	0	0
Percentile 25 (P25)	45	40	30	30
Médiane ou Percentile 50	68	65	61	56
Moyenne horaire	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>62</b>	<b>55</b>
Percentile 75 (P75)	87	87	88	76
Maximum horaire	324	973	316	2012
% de données horaires valides	79	80	88	79

Tableau 3 : Statistiques des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub> à la station de référence RER C Avenue Foch depuis 2018.

Concernant le monoxyde d'azote, les niveaux relevés au cours de l'année 2021 sont en hausse après la baisse observée en 2019 et 2020 (impact du covid), mais ils restent inférieurs au niveau annuel de 2018. Cette évolution s'explique probablement par la reprise des travaux. Par contre, les niveaux annuels en NO<sub>2</sub> sont en baisse en 2020 et 2021 par rapport à 2018 et 2019.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	2018	2019	2020	2021
Minimum horaire	2	0	1	1
Percentile 25 (P25)	8	3	4	4
Médiane ou Percentile 50	14	6	6	10
Moyenne horaire	<b>38</b>	<b>29</b>	<b>26</b>	<b>34</b>
Percentile 75 (P75)	32	18	19	28
Maximum horaire	1467	2257	1745	1393
% de données horaires valides	91	96	85	81

Tableau 4 : Statistiques des relevés horaires en NO à la station de référence RER C Avenue Foch depuis 2018.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	2018	2019	2020	2021
Minimum horaire	13	8	4	3
Percentile 25 (P25)	26	23	14	14
Médiane ou Percentile 50	32	29	18	19
Moyenne horaire	<b>35</b>	<b>34</b>	<b>20</b>	<b>21</b>
Percentile 75 (P75)	40	38	23	25
Maximum horaire	329	468	206	283
% de données horaires valides	91	96	85	81

Tableau 5 : Statistiques des relevés horaires en NO<sub>2</sub> à la station de référence RER C Avenue Foch depuis 2018.

## 2.2.6. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

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

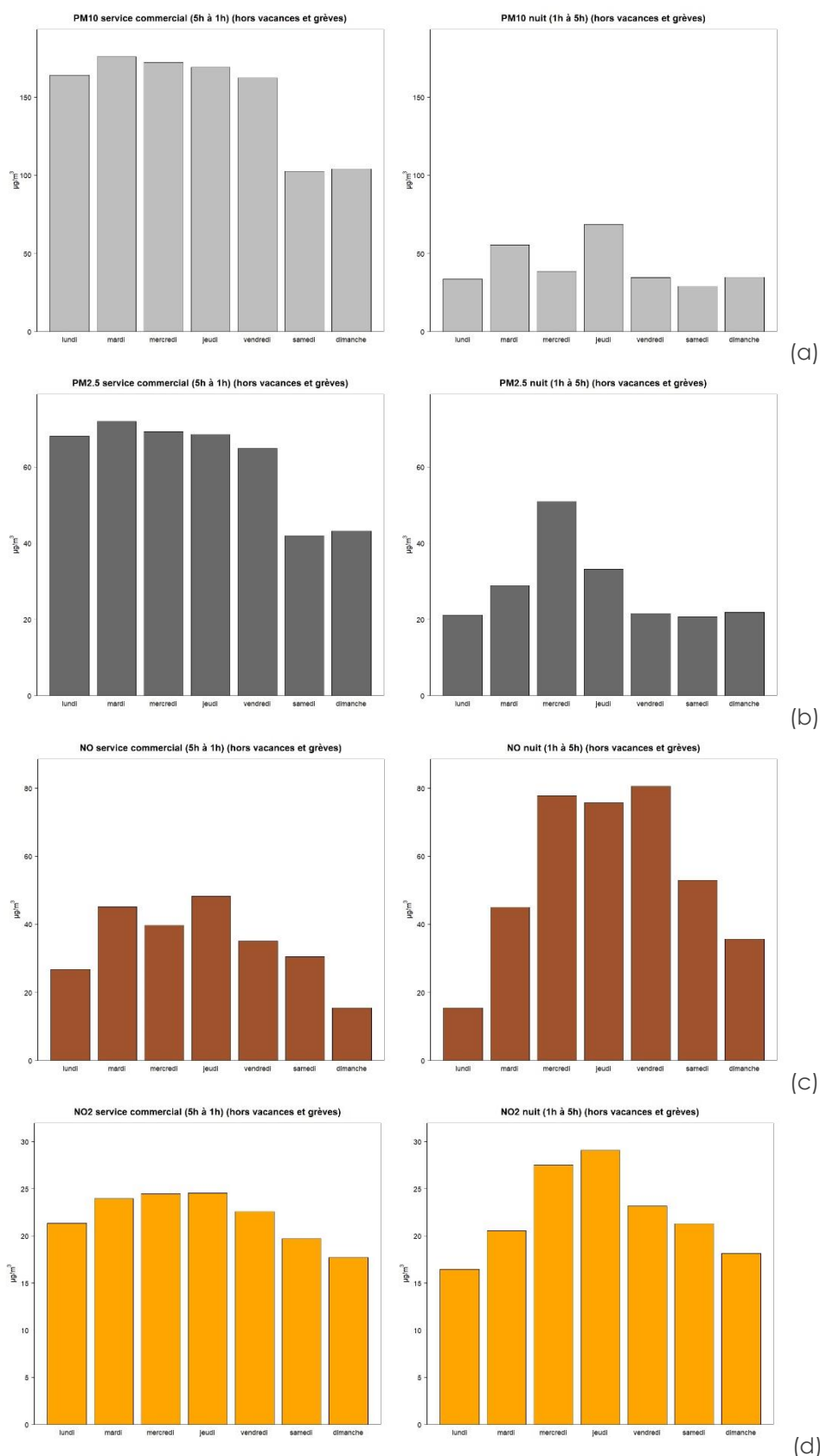


Figure 16 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> (a), PM<sub>2.5</sub> (b), NO (c) et NO<sub>2</sub> (d) à la gare RER C Avenue Foch en 2021 – hors vacances scolaires, Service commercial (5 à 1h) à gauche, Nuit (1 à 5h) à droite.



**Les niveaux en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>)** sont stables les jours ouvrés lors du **service commercial**. Ces teneurs sont supérieures aux moyennes journalières (24h) : pour les PM<sub>10</sub>, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 151 µg/m<sup>3</sup>, contre 133 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24h, soit un écart de 13 %.

Concernant les PM<sub>2.5</sub>, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 61 µg/m<sup>3</sup>, contre 55 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24h, soit un écart de 11 %.

Ces écarts entre les moyennes en service commercial et les moyennes de toute la journée s'expliquent par des teneurs en particules plus faibles la nuit, de façon nettement plus marquée pour les PM<sub>10</sub> que pour les PM<sub>2.5</sub> (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<sub>10</sub>, les concentrations nocturnes sont maximales les jeudis (69 µg/m<sup>3</sup>) et minimales les samedis (29 µg/m<sup>3</sup>). Les concentrations minimales en particules PM<sub>2.5</sub> sont comprises entre 21 et 22 µg/m<sup>3</sup> les vendredis et lundis et les week-ends et les maxima sont observés les mercredis (51 µg/m<sup>3</sup>).

Lors du **service commercial**, la teneur moyenne en **NO** les jours ouvrés est de 32 µg/m<sup>3</sup>, contre 34 µg/m<sup>3</sup> sur 24h, ce qui s'explique cette fois par des teneurs plus élevées la nuit, lors de travaux. Pour le **NO<sub>2</sub>**, la concentration moyenne est de 21 µg/m<sup>3</sup> pendant le service commercial et sur 24h.

Les **teneurs nocturnes** en NO s'élèvent en moyenne à 47 µg/m<sup>3</sup>, avec une forte variabilité selon les jours. Les minima sont enregistrés le lundi avec 15 µg/m<sup>3</sup> et les maxima le vendredi (avec 80 µg/m<sup>3</sup>). Les niveaux moyens nocturnes les jours ouvrés s'élèvent à 59 µg/m<sup>3</sup>. 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<sub>2</sub> sont en moyenne de 21 µg/m<sup>3</sup>, les concentrations varient de 16 µg/m<sup>3</sup> (lundi) à 29 µg/m<sup>3</sup> (jeudi). Les niveaux moyens nocturnes les jours ouvrés s'élèvent à 23 µg/m<sup>3</sup>.

**Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) en gare RER C 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 42 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 27 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub>. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont alors maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, à savoir lors des heures de pointe, entre 9 et 12h le matin et entre 18h et 20h le soir. Les concentrations sur le quai atteignent alors 211 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub> et 83 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub>.

**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 38 % pour les PM<sub>10</sub> et 37 % pour les PM<sub>2,5</sub>.

**A l'échelle mensuelle**, il existe également des fluctuations, dans des proportions similaires pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>. Cette variabilité est notamment liée aux différentes périodes de grèves, de confinement et de couvre-feu.

Enfin, **les concentrations sont plus importantes en service commercial** que sur une journée de 24h, de l'ordre de 13% pour les PM<sub>10</sub> et 11 % pour les PM<sub>2,5</sub> compte-tenu des émissions de particules liées au trafic ferroviaire (remise en suspension, abrasion).

**Concernant les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) et contrairement aux particules, les variations temporelles observées en gare RER C 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 47 µg/m<sup>3</sup> en NO et 21 µg/m<sup>3</sup> en NO<sub>2</sub> entre 1h 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 durant le service commercial est de 32 µg/m<sup>3</sup> et de 21 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>.

**A l'échelle hebdomadaire**, les profils montrent des teneurs en NO et NO<sub>2</sub> plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, les travaux ayant lieu du lundi soir au jeudi matin. La baisse est de 36 % pour le NO et de 18 % pour le NO<sub>2</sub>.

## 2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM<sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM<sub>2.5</sub>

Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> en air extérieur est généralement de l'ordre de 0,7. Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> peut ainsi servir à identifier des sources de particules différentes.

### 2.3.1. NIVEAUX MOYENS

Le ratio entre particules très fines (PM<sub>2.5</sub>) et particules fines (PM<sub>10</sub>) en gare Avenue Foch est présenté à la Figure 17.

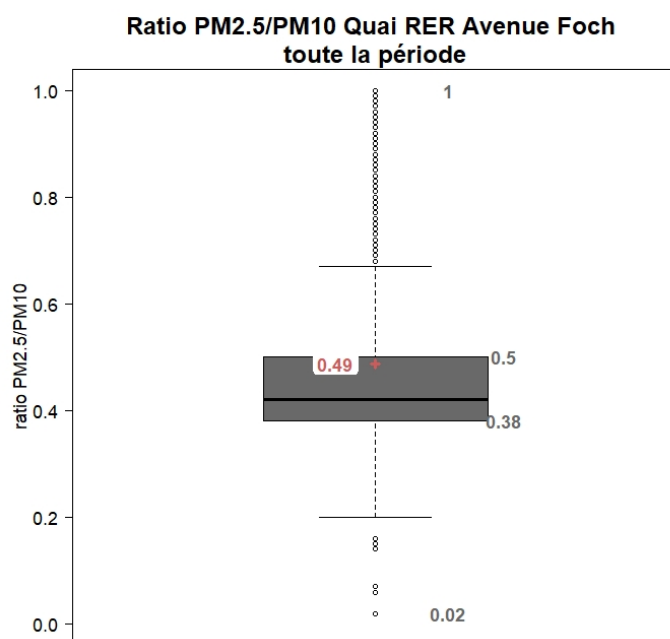


Figure 17 – Boîte à moustache des ratios horaires en PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, à la Gare RER C Avenue Foch, en 2021.

En moyenne, en gare RER C d'Avenue Foch, sur toute la période de mesure, le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est de 0,49.

Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> 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 du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  (ratios horaires moyennés sur une semaine) en gare Avenue Foch sont présentées à la Figure 18.

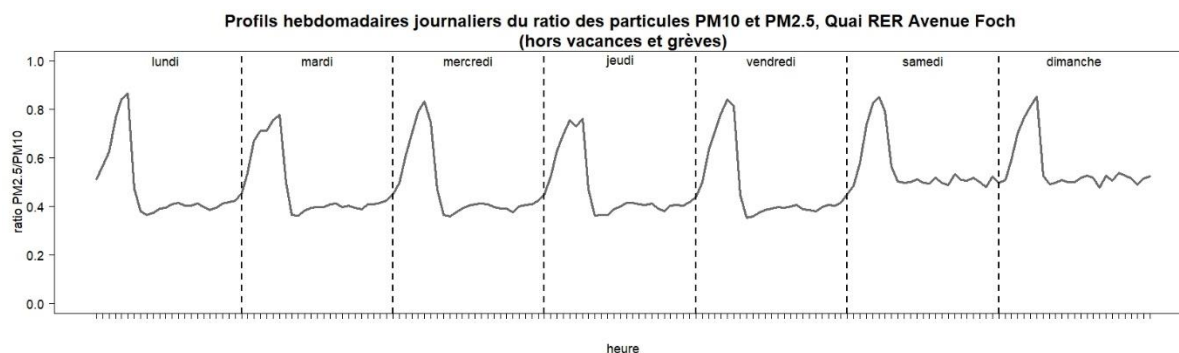


Figure 18 – Evolution du profil horaire du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2021 [hors vacances scolaires](#).

Les ratios relevés à la gare RER C Avenue Foch sont relativement stables en journée, autour de 0,4, et augmentent la nuit pour atteindre 0,8 environ, en lien avec la baisse des passages de trains entraînant une moindre formation et remise en suspension de grosses particules liées au freinage et au dépôt des particules les plus grosses. Le ratio nocturne tend vers le ratio habituellement observé en air extérieur.

### 2.3.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS JOURNALIÈRES SUR UNE SEMAINE

Les fluctuations journalières du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  en gare Avenue Foch sont présentées à la Figure 19.

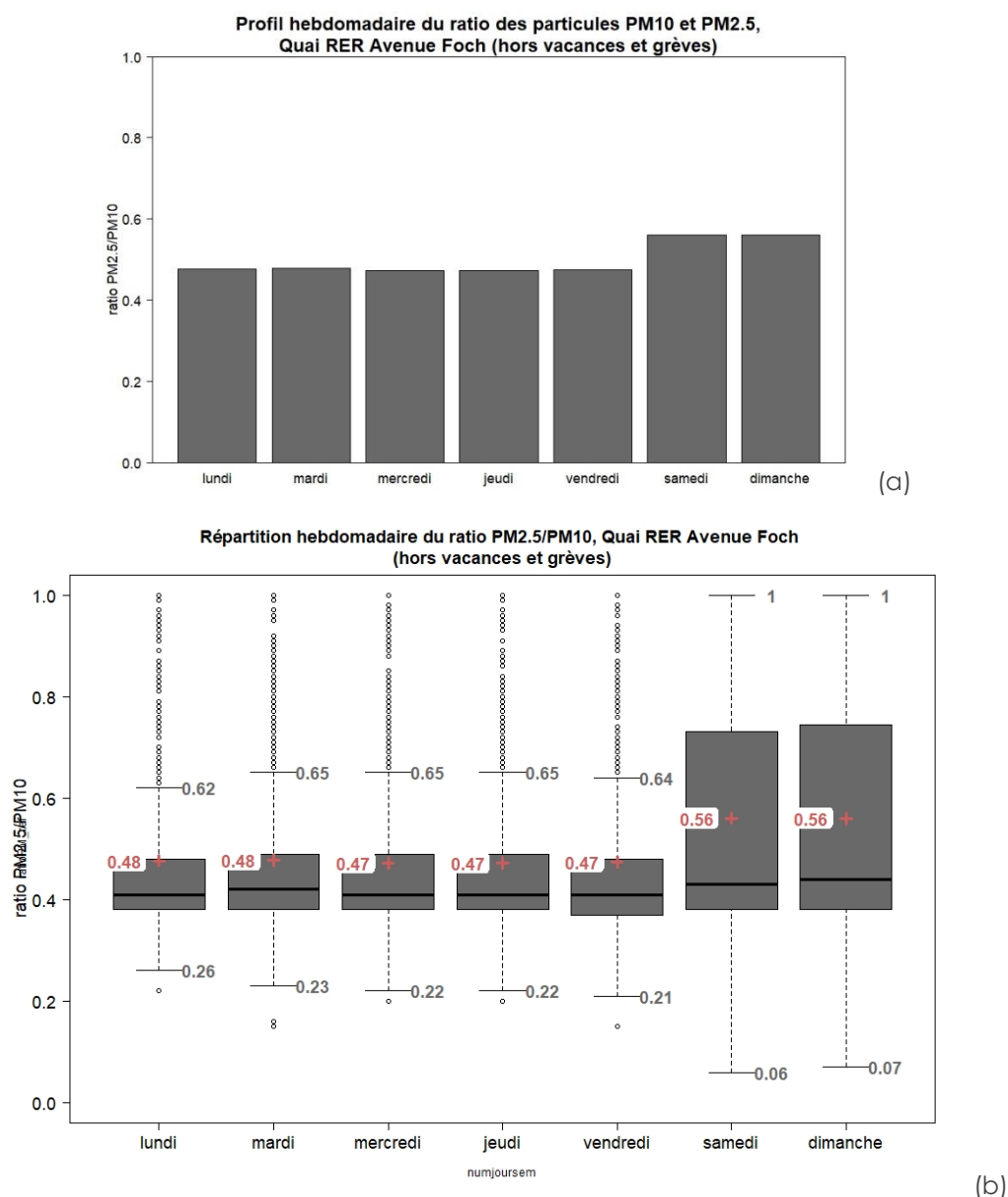


Figure 19 – Évolution des profils journaliers des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C d'Avenue Foch (a), en 2021 - hors vacances scolaires. Zoom sur les boîtes à moustaches (b).

En semaine les ratios sont stables, variant entre 0,47 et 0,48 en gare RER C Avenue Foch. Une hausse des ratios est observée les week-ends, ils atteignent 0,56 Avenue Foch. Cette augmentation des ratios s'explique par la diminution du nombre de trains le week-end par rapport aux jours ouvrés, qui entraîne une baisse plus importante des concentrations en  $PM_{10}$  qu'en  $PM_{2.5}$ .

### 2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil moyen journalier (jours ouvrés) pour la gare Avenue Foch est présenté à la Figure 20.

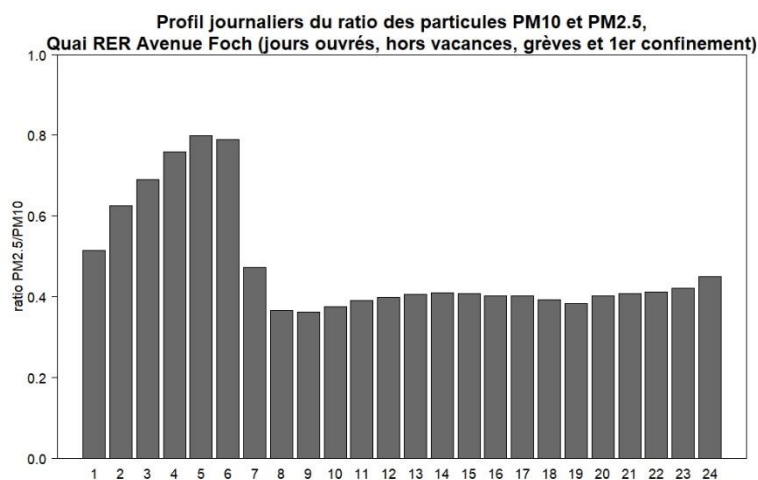


Figure 20 – Évolution du profil journalier du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2021 – [jours ouvrés hors vacances scolaires](#).

Une certaine stabilité des ratios en journée (de 8h à 24h) est observée en gare RER C Avenue Foch (moyenne à 0,40 - écart-type de 0,02). La nuit (entre 1h et 5h, lors de la fermeture de la gare au public), les ratios sont plus importants et augmentent tout au long de la nuit. Le ratio maximum est atteint à l'ouverture de la gare au public (0,80 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

Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 21, résume les ratios moyens observés chaque mois en 2021, hors vacances scolaires, en gare RER C Avenue Foch.

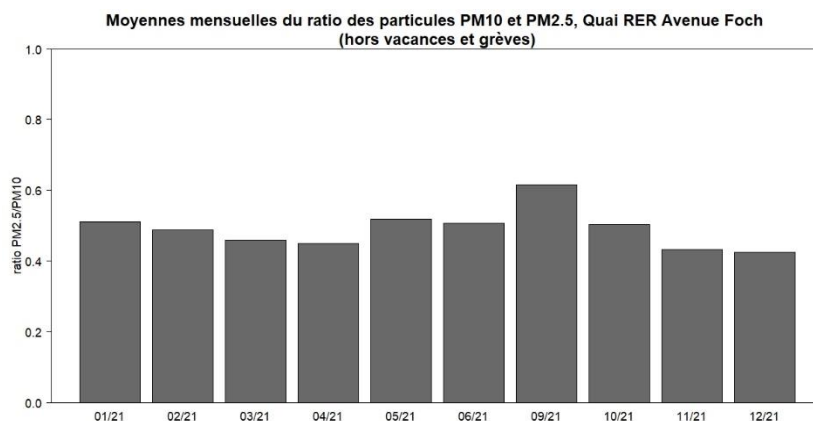


Figure 21 – Évolution du profil mensuel du ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> (a) à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2021 – [jours ouvrés hors vacances scolaires](#).

Les ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> en gare RER C Avenue Foch présentent de faibles variations mensuelles. Le mois de décembre 2021 présente le ratio le plus faible (0,42 en moyenne), le maximum (0,61) ayant été observé en septembre.

## 2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 22 présente les moyennes hebdomadaires des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, 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 RER C Avenue Foch.

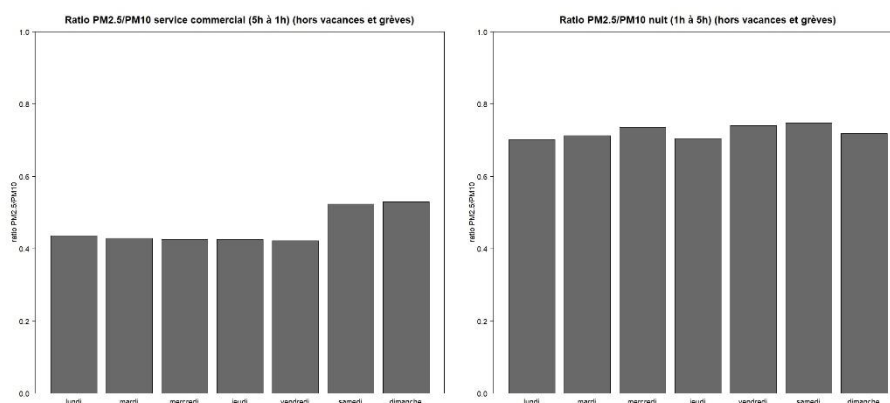


Figure 22 – Évolution des profils hebdomadaires du ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2021 – [hors vacances scolaires](#). Service commercial à gauche, Nuit à droite.

Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est stable les jours ouvrés lors du **service commercial, avec des ratios** proches de 0,4 et légèrement plus élevée le week-end (autour de 0,5). Les **ratios nocturnes** sont plus élevés, autour de 0,7 et sont constants la semaine comme le week-end. Cela s'explique par la baisse des concentrations en particules (en particulier PM<sub>10</sub>) la nuit, lors de l'arrêt de circulation des trains, principale source de particules de grosse taille.

## 2.3.6 VARIABILITE ANNUELLE

Le tableau suivant présente les statistiques des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  depuis le début de la surveillance de la gare en avril 2018.

Statistiques ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2018	2019	2020	2021
Minimum horaire	0,04	0	0,03	0,02
Percentile 25 (P25)	0,38	0,35	0,38	0,38
Médiane ou Percentile 50	0,42	0,39	0,43	0,42
Moyenne horaire	<b>0,47</b>	<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	<b>0,49</b>
Percentile 75 (P75)	0,49	0,44	0,5	0,5
Maximum horaire	1	1	1	1
% de données horaires valides	89	88	85	79

Tableau 6 : Statistiques des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  en gare RER C Avenue Foch depuis 2018.

Les ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  varient peu depuis 2018, entre 0,43 en 2019 et 0,49 en 2021. Les variations annuelles du ratio peuvent s'expliquer par les variations annuelles de fréquentation de la gare, de trafic ferroviaire et de travaux.

**Le ratio  $PM_{2,5}/PM_{10}$  est en moyenne de 0,49 en gare RER C Avenue Foch en 2021**, et il varie peu depuis le début de la surveillance de la gare.

**A l'échelle journalière**, les ratios sont stables en journée (0,40 entre 8h et 24h) et en hausse la nuit (autour de 0,7 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 week-end du fait du plus faible impact du trafic ferroviaire.

**A l'échelle mensuelle**, le mois de décembre 2021 présente les ratios les plus faibles avec 0,42 en moyenne, le maximum ayant été observé en septembre 2021 avec 0,61.



## 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 freinage<sup>3</sup>, 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 PM<sub>10</sub> en gare RER C Avenue Foch. Des mesures ont été réalisées du 14 au 20 juin 2021, au même moment que les mesures réalisées en gare de Pont de l'Alma, et du 20 septembre au 3 octobre 2021. Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h, chaque jour. Des résultats de mesure des métaux sont donc disponibles pour **21 jours**.

**Onze métaux** ont été étudiés : Baryum, Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature<sup>3</sup>. Le Baryum a été ajouté à la liste des métaux étudiés en 2021, en cohérence avec les recommandations nationales de réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines<sup>4</sup>.

Au cours de l'année 2021, un changement de filtre a été effectué pour la mesure des métaux. Des filtres en téflon sont dorénavant utilisés plutôt que des filtres en quartz, permettant ainsi la mesure gravimétrique des particules PM<sub>10</sub>.

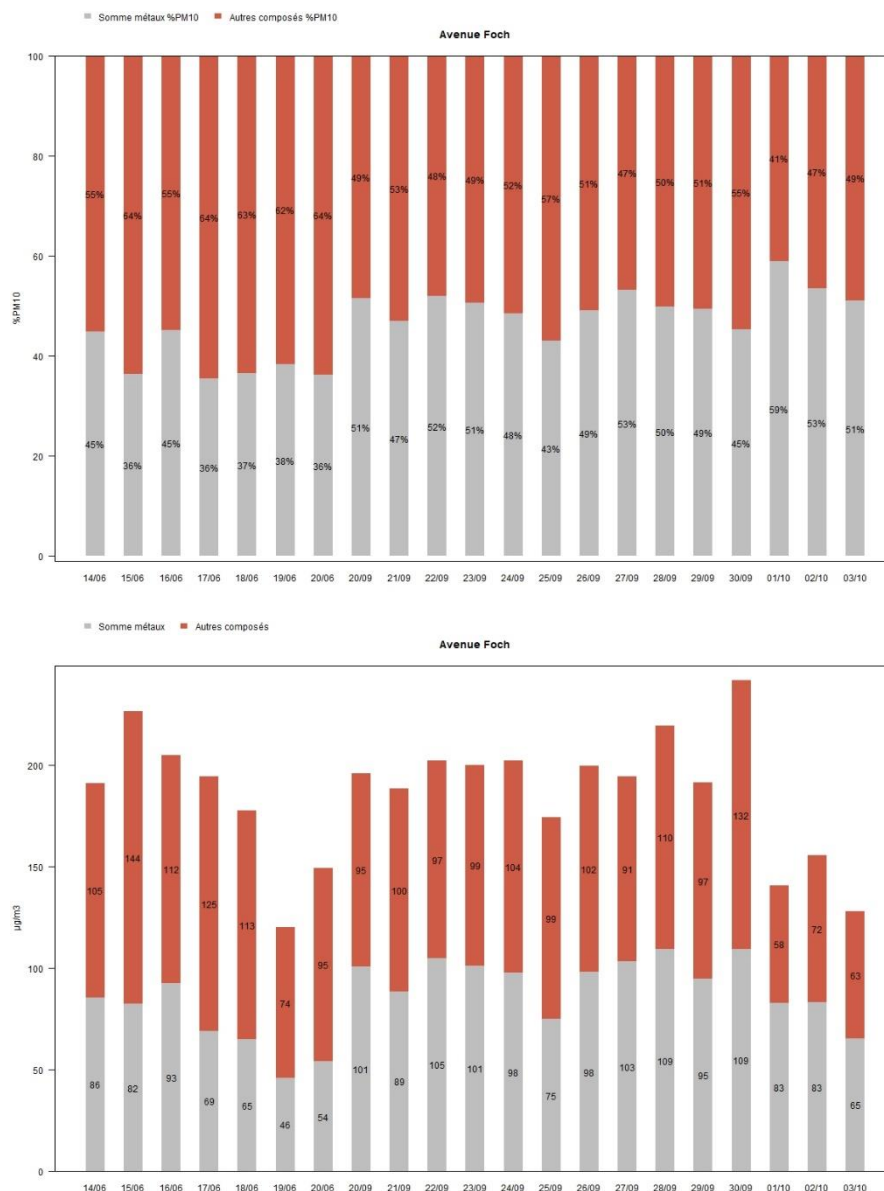
---

<sup>3</sup> 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.

<sup>4</sup> Recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines, [https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris-Guide\\_Protocole\\_EFS\\_WEB\\_BD.pdf](https://www.ineris.fr/sites/ineris.fr/files/contribution/Documents/Ineris-Guide_Protocole_EFS_WEB_BD.pdf)

## 2.4.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM<sub>10</sub>

Les graphiques suivants (Figure 23) montrent la part de l'ensemble des métaux mesurés parmi les particules PM<sub>10</sub>, pour chaque journée de mesure en gare RER C Avenue Foch.



Sur l'ensemble des données disponibles (21 journées de mesure), les concentrations en métaux varient de 46 µg/m<sup>3</sup> (le 19/06/2021) à 109 µg/m<sup>3</sup> (les 28 et 30 septembre). En comparaison avec la concentration en particules PM<sub>10</sub> enregistrée les mêmes journées lors des même tranches horaires, **la part des métaux** a varié de 36 % (les 15, 17 et 20 juin 2021) à 59 % (le 01/10/2021). Elle est **en moyenne de 46 %**.

La part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> varie peu d'une année à l'autre. La part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> a été globalement stable en 2018, 2019 et 2021 avec des parts de métaux respectivement de 50, 47 et 45 %. Les parts de métaux les plus faibles ont été relevées en 2020 (37% en moyenne sur les prélèvements de l'année 2020), ce qui s'explique par la baisse globale du trafic ferroviaire liée à la crise sanitaire.

## 2.4.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 24) représente la répartition moyenne des composés mesurés au cours des différentes périodes de prélèvements de l'année 2021 (21 jours disponibles).

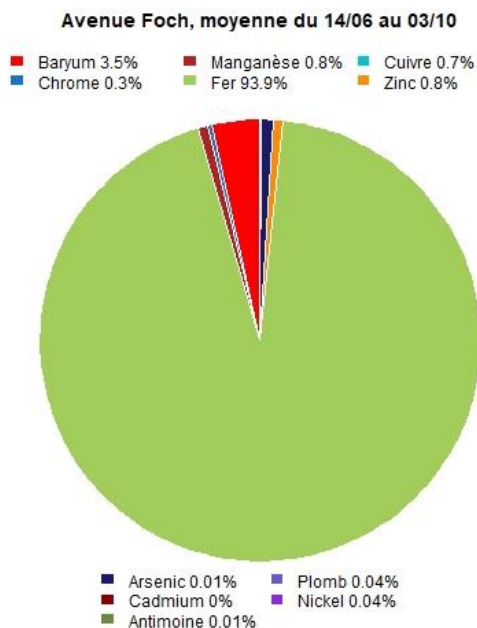


Figure 24 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne des mesures réalisées en 2021, en gare RER C de Avenue Foch.

Parmi les onze métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 94 % des métaux mesurés à Avenue Foch. Ce résultat est stable sur toutes les journées de mesure, le pourcentage variant de 89 à 95 %.

Les métaux les plus abondants sont ensuite le **Baryum**, le **Zinc**, et le **Manganèse** mais dans des proportions bien plus faibles que le Fer, avec 3,5 % pour le Baryum et 0,8 % pour le Zinc et le Manganèse.

Vient ensuite le **Cuivre**, qui représente en moyenne 0,7 % des métaux mesurés dans les particules PM<sub>10</sub>. Les proportions de cuivre dans les particules PM<sub>10</sub> ont variés entre 0,5 % et 2,6 % durant les périodes de mesures de l'année 2021.

Le **Chromé** représente en moyenne 0,3 % des métaux mesurés dans les particules PM<sub>10</sub>. Les proportions de Chromé sont stables sur l'ensemble des périodes de mesures de l'année.

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

Les proportions des différents métaux ont peu varié au cours des dernières années. Le tableau suivant présente les proportions de métaux relevés depuis le début de la surveillance de la gare, en avril 2018.

Métaux	2018 (20 jours de mesures)	2019 (12 jours de mesures)	2020 (10 jours de mesures)	2021 (21 jours de mesures)
Aluminium	1,1 %	0,7 %	1,0 %	Non mesuré
Chrome	0,4 %	0,3 %	0,4 %	0,3 %
Manganèse	0,8 %	0,8 %	0,9 %	0,8 %
Fer	96 %	97 %	96 %	94 %
Nickel	0,1 %	0,1 %	0,1 %	< 0,1 %
Cuivre	0,7 %	0,5 %	0,7 %	0,7 %
Zinc	0,9 %	0,6 %	1,0 %	0,8 %
Arsenic	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Cadmium	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Antimoine	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Baryum	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	3,5 %

Tableau 7 : Evolution de la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> depuis 2018.

Les graphiques journaliers en Annexe 5 montrent une répartition en métaux (hors Fer) relativement stable sur les différentes journées de mesures. Des concentrations anormalement élevées ont été observées au cours de la journée du 30 septembre, notamment pour le Cuivre, le Zinc et le Cadmium, l'Antimoine et le Plomb, en lien avec un dégagement de fumée liée à un train défectueux.

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, Baryum) 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 25) présente les concentrations journalières observées pour le Fer (21 jours ouvrés de mesures) à la gare Avenue Foch. Les relevés journaliers pour chacun des autres métaux sont présentés en Annexe 5.

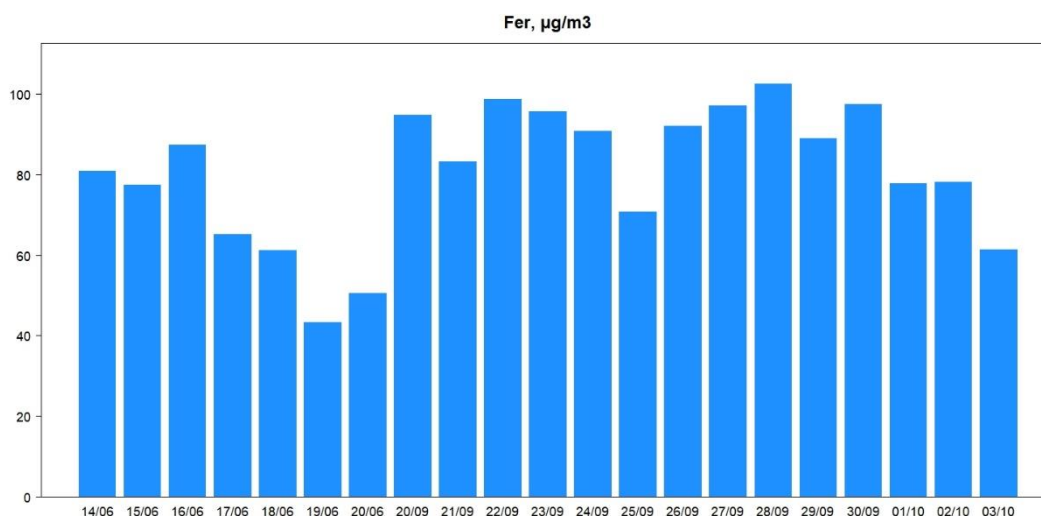


Figure 25 – Relevés journaliers en Fer (en µg/m³) à la gare RER C de Avenue Foch, 2021.

Les teneurs en **Fer** ont varié en gare RER C Avenue Foch au cours des différentes périodes de mesures, de 43 µg/m³ le samedi 19 Juin 2021 à 103 µg/m³ le mardi 28 septembre 2021. Ces niveaux sont en lien direct avec les concentrations en particules PM<sub>10</sub> observées sur ces mêmes journées, comme évoqué au paragraphe précédent.

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

Les concentrations journalières en **Baryum** ont varié de 1 415 à 4 513 ng/m³, les résultats sont en moyenne de 3 010 ng/m³. Les teneurs journalières en **Zinc, Cuivre et Manganèse** sont du même ordre de grandeur. Les teneurs en **Zinc** varient de 338 à 3 117 ng/m³, pour une moyenne de 718 ng/m³. Celles du **Cuivre** varient de 282 à 2 803 ng/m³, pour une moyenne de 608 ng/m³. Les teneurs **Manganèse** varient de 344 à 793 ng/m³ pour une moyenne de 647 ng/m³.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** sont plus faibles, entre 151 à 352 ng/m³, pour une moyenne de 282 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 22 et 46 ng/m³ pour le Nickel<sup>5</sup>, pour une moyenne de 37 ng/m³.
- Entre 12 et 794 ng/m³ pour le Plomb<sup>5</sup>, pour une moyenne de 43 ng/m³,
- Entre 1 et 108 ng/m³ pour l'Antimoine<sup>5</sup>, pour une moyenne de 7 ng/m³.
- Entre 4 et 8 ng/m³ pour l'Arsenic<sup>5</sup>, pour une moyenne de 6 ng/m³.
- Pour le Cadmium<sup>5</sup>, les relevés journaliers sont tous inférieurs au seuil de détection (0.27 ng/m³) à l'exception de la journée du 30/09 où les niveaux ont atteint 40 ng/m³

Les concentrations maximales en Cuivre, Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et en Zinc ont été relevées au cours de la journée du 30/09/2021 au cours de laquelle un dégagement de fumée a eu lieu dans la station en lien avec le passage d'un train défectueux.

<sup>5</sup> 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.

Le tableau suivant présente les concentrations moyennes en métaux relevées depuis le début de la surveillance de la gare RER C Avenue Foch, en avril 2018.

Métaux (ng/m <sup>3</sup> )	2018 (20 journées de mesures)	2019 (12 journées de mesures)	2020 (10 journées de mesures)	2021 (21 journées de mesures)
Aluminium	989	960	820	Non mesuré
Chrome	366	453	324	282
Manganèse	787	1 020	744	647
Fer	93 416	129 353	75 500	80 766
Nickel	56	71	44	37
Cuivre	677	680	564	608
Zinc	843	857	780	718
Arsenic	9	15	12	6
Cadmium	0,27	0,27	0,27	2,15
Antimoine	4	4	5	7
Plomb	24	18	154	43
Baryum	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	3 010

Tableau 8 : Concentrations moyennes en métaux (ng/m<sup>3</sup>) relevées depuis avril 2018 en gare RER C Avenue Foch.

Les concentrations en métaux évoluent peu au fil des années. Les concentrations en métaux ont globalement diminué sur l'année 2021, en lien avec la diminution globale du trafic ferroviaire et aux restrictions de la crise sanitaire (confinements et couvre-feux). Une augmentation de concentrations de l'Antimoine et du Cadmium a été observée au cours de l'année 2021, ce qui s'explique par les fortes concentrations relevées au cours de la journée du 30 septembre 2021 au cours de laquelle un dégagement de fumée lié au passage d'un train défectueux a été observé.

## 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.

Les concentrations relevées en gare RER C Avenue Foch sont comparées aux concentrations relevées par différentes stations du réseau de surveillance d'Airparif :

- Station Gennevilliers, située 60 Rue Richelieu 92230 Gennevilliers. Station de typologie urbaine de fond ;
- Station Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil, située au niveau du boulevard Périphérique Porte d'Auteuil 75016 Paris. Station de typologie trafic ;
- Station Paris Centre, située dans le Jardin des Halles – Al J. Supervielle 75001 Paris. Station de typologie urbaine de fond.

Ces trois stations mesurent les oxydes d'azote ainsi que les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>.

La localisation des stations est présentée Figure 26.

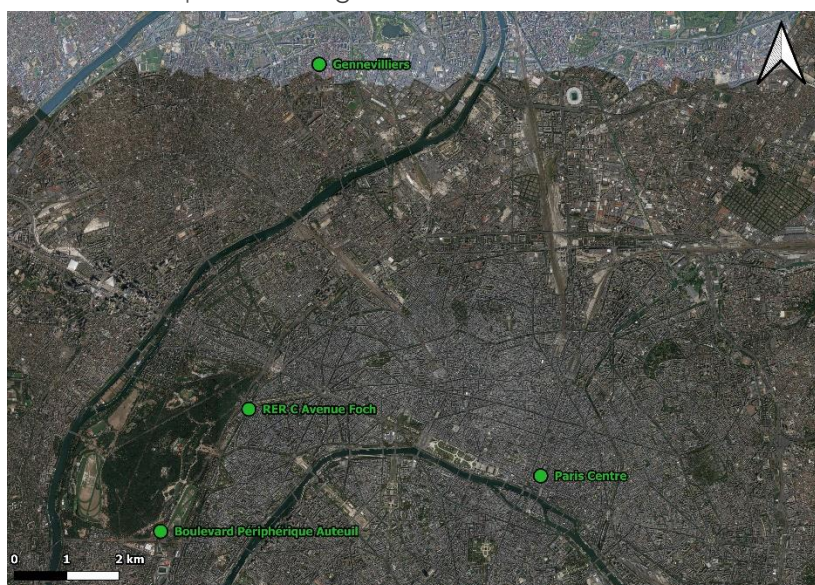
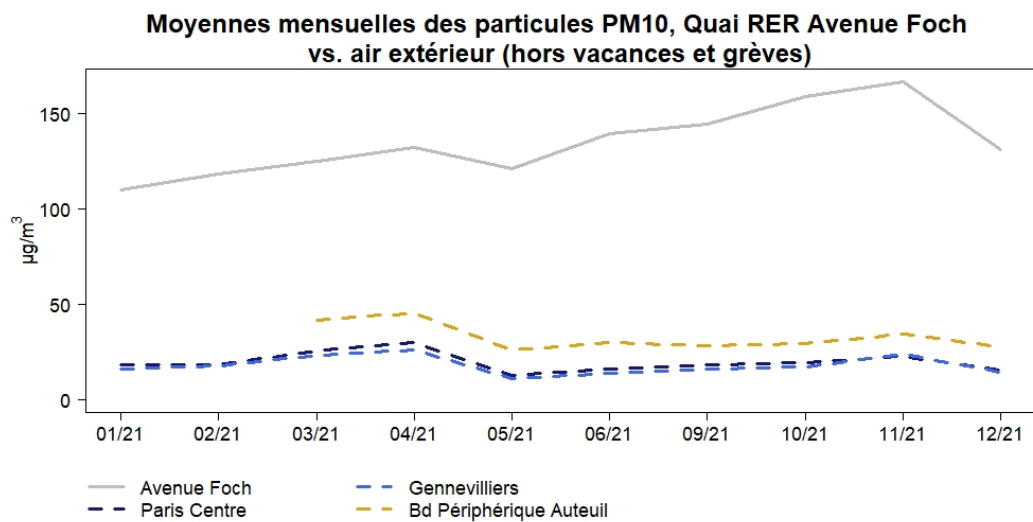


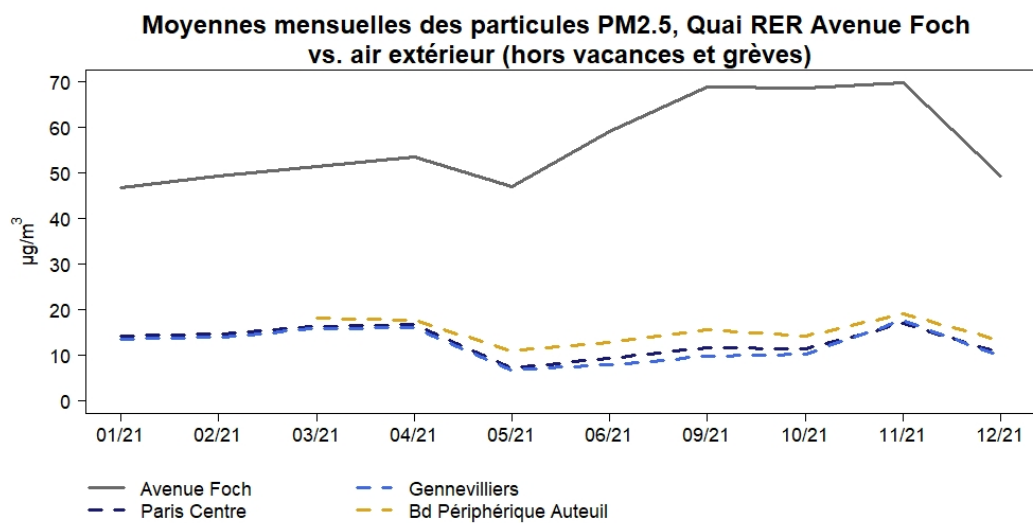
Figure 26 : Cartographie des stations de surveillance de l'air extérieur utilisées pour la comparaison des concentrations à la gare RER C Avenue Foch.

La Figure 27 présente les concentrations moyennes mensuelles pour les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> sur les quais du RER C Avenue Foch ainsi qu'en air extérieur, sur différentes stations du réseau Airparif.

Les concentrations moyennes en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> sur les quais de la gare RER C Avenue Foch sont trois à dix-sept fois supérieures aux concentrations mesurées par les stations Paris Centre, Gennevilliers et Auteuil du réseau Airparif sur la même période. Les teneurs en particules étant bien plus importantes sur les quais qu'en extérieur, l'influence de l'air extérieur sur les concentrations en particules est probablement négligeable.



(a)



(b)

Figure 27 – Moyennes mensuelles des concentrations en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b), en air extérieure et en gare RER C Avenue Foch, en 2021 - [hors vacances scolaires](#).



Les graphiques suivants présentent les profils journaliers en particules PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) en gare RER C Avenue Foch ainsi qu'aux stations Paris Centre, Gennevilliers et Auteuil du réseau Airparif.

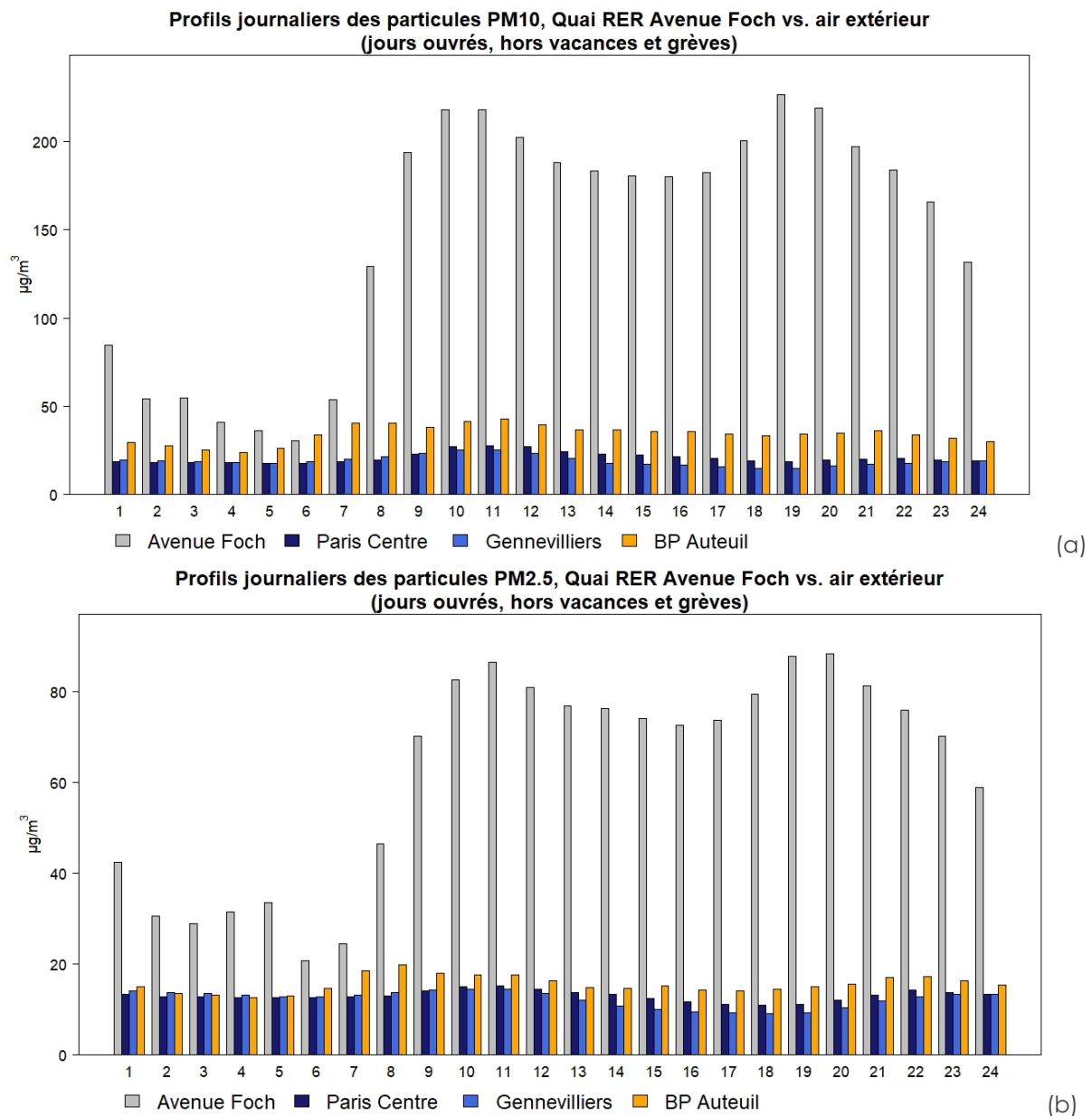


Figure 28 : Profils journaliers en particules PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b), en air extérieur et en gare RER C Avenue Foch, en 2021 – [jours ouvrés hors vacances scolaires.](#)

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> relevées en gare RER C Avenue Foch sont, à toute heure, supérieures à celles relevées par les stations de fond du réseau Airparif, à savoir Paris Centre et Gennevilliers, ainsi qu'à la station à proximité du trafic routier Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil. Les niveaux relevés en gare sont jusqu'à dix fois supérieurs à ceux relevés en extérieur.

Le graphique suivant (Figure 29) représente les moyennes mensuelles en NO<sub>2</sub> sur les quais de la gare RER C Avenue Foch et en air extérieur. Les fluctuations mensuelles des concentrations en NO<sub>2</sub> sur le quai ne suivent pas celles des concentrations mesurées en air extérieur, aussi bien en situation de fond (stations Paris Centre et Gennevilliers) qu'à proximité du trafic routier (station Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil). A l'échelle mensuelle, l'influence de la qualité de l'air extérieur sur les concentrations mesurées au niveau du quai du RER C Avenue Foch ne peut pas être mise en avant.

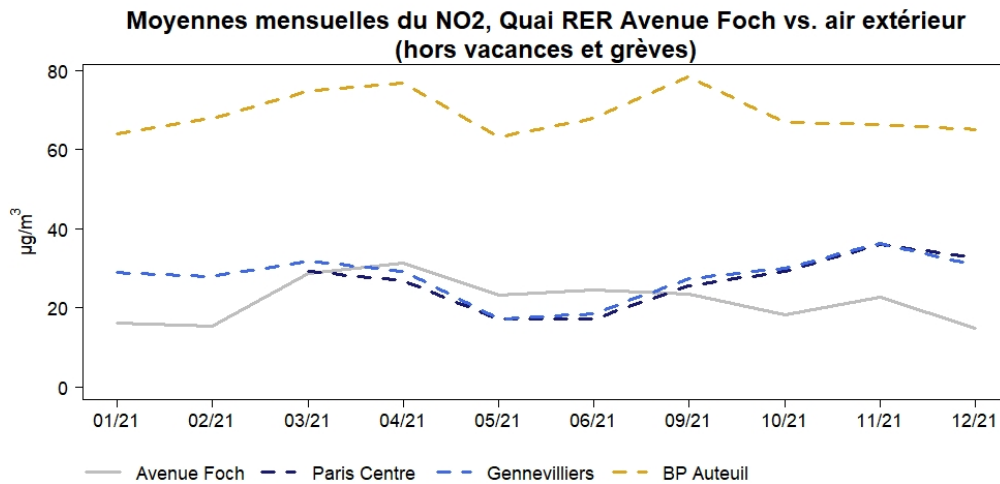


Figure 29 – Moyennes mensuelles des concentrations en NO<sub>2</sub>, en air extérieur et en gare RER C Avenue Foch, en 2021 - hors vacances scolaires.

Le graphique suivant (Figure 30) représente les profils journaliers (concentrations moyennes horaires) en NO<sub>2</sub> sur le quai de la gare Avenue Foch et en air extérieur. Les concentrations en NO<sub>2</sub> en gare RER C Avenue Foch varient très peu sur une journée contrairement à celles des stations extérieures où les pics du matin et du soir sont plus marqués. Les niveaux horaires les plus élevés en gare RER C Avenue Foch (26 µg/m<sup>3</sup>) ont été relevés entre 8 et 9h, lorsque les niveaux relevés par les stations extérieures de fond (Paris Centre et Gennevilliers) étaient presque maximums, mettant ainsi en avant un léger impact de la qualité de l'air extérieur sur les concentrations en NO<sub>2</sub> en gare. Les maximas extérieurs étant relevés entre 7 et 8h, l'impact des fortes concentrations en dioxyde d'azote serait décalé d'une heure au niveau du quai de la station Avenue Foch. A l'inverse, les niveaux les plus faibles ont été relevés entre 4 et 5h à la station Avenue Foch ainsi qu'aux stations Paris Centre, Gennevilliers et Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil du réseau Airparif.

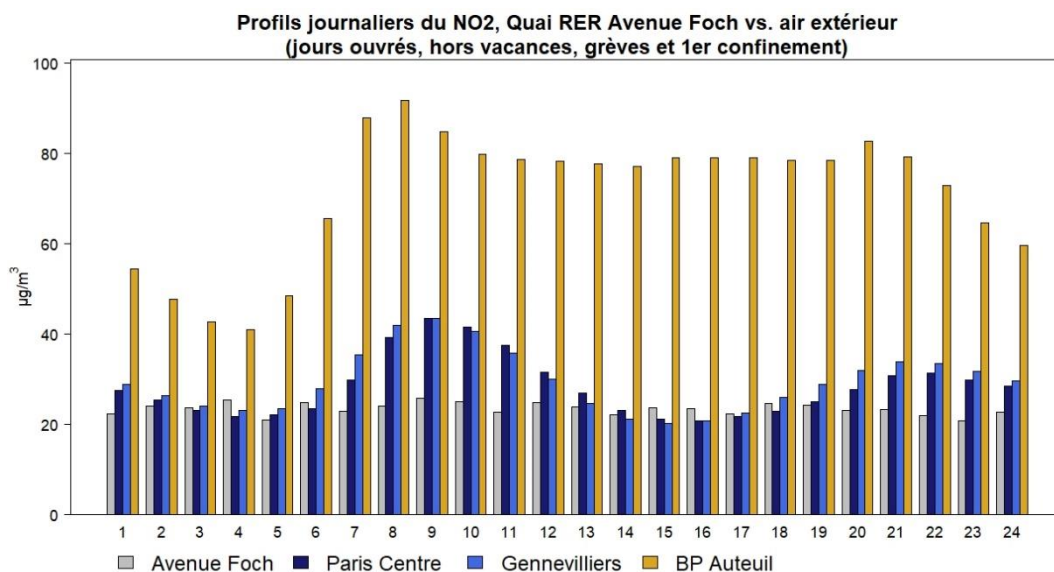


Figure 30 : Profils journaliers des concentrations en NO<sub>2</sub>, en air extérieur et en gare RER C Avenue Foch, en 2021 – jours ouvrés hors vacances scolaires.

Les concentrations en **particules et en dioxyde d'azote** observées sur le quai RER d'Avenue Foch sont **faiblement impactées par les niveaux en air extérieur**, lors du fonctionnement normal de la gare.

**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, l'impact de l'air extérieur sur les quais n'est pas visible lors du fonctionnement normal de la gare. A l'échelle journalière, une augmentation des concentrations en dioxyde d'azote a été relevée pendant les heures de pointes du matin, laissant envisager un léger impact de la qualité de l'air extérieur sur les niveaux de dioxyde d'azote en gare.

## 3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

La mesure des teneurs en CO<sub>2</sub> permet de suivre le renouvellement d'air et le confinement de la gare dans des espaces potentiellement soumis à diverses sources de CO<sub>2</sub> (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.

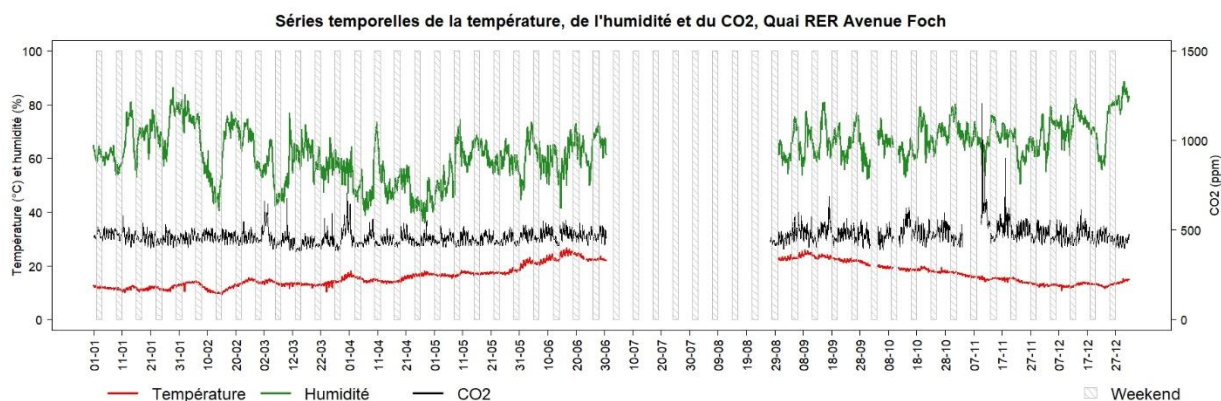


Figure 31 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Avenue Foch, en 2021.

Sur l'ensemble de la période étudiée (année 2021), la **température** moyenne en gare RER C Avenue Foch est de 16°C. Les relevés horaires ont varié entre 9 et 27°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 63 % en 2021, les relevés horaires ont varié entre 36 % et 88 %.

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 CO<sub>2</sub> 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 464 ppm, et les relevés horaires ont varié entre 380 ppm et 1 206 ppm. Le maxima horaire a été relevé entre 3 et 4h le 10 novembre, soit une heure avant le maximum horaire en particule PM<sub>2,5</sub>, en lien avec des travaux

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM<sub>10</sub> d'une part, PM<sub>2.5</sub> d'autre part) et en CO<sub>2</sub> les jours ouvrés (cf. Figure 32) montre que les teneurs maximales sont observées en même temps pour le CO<sub>2</sub> et pour les particules, 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 variations des niveaux de dioxyde de carbone est, au cours d'une journée, moins importante que pour les particules.

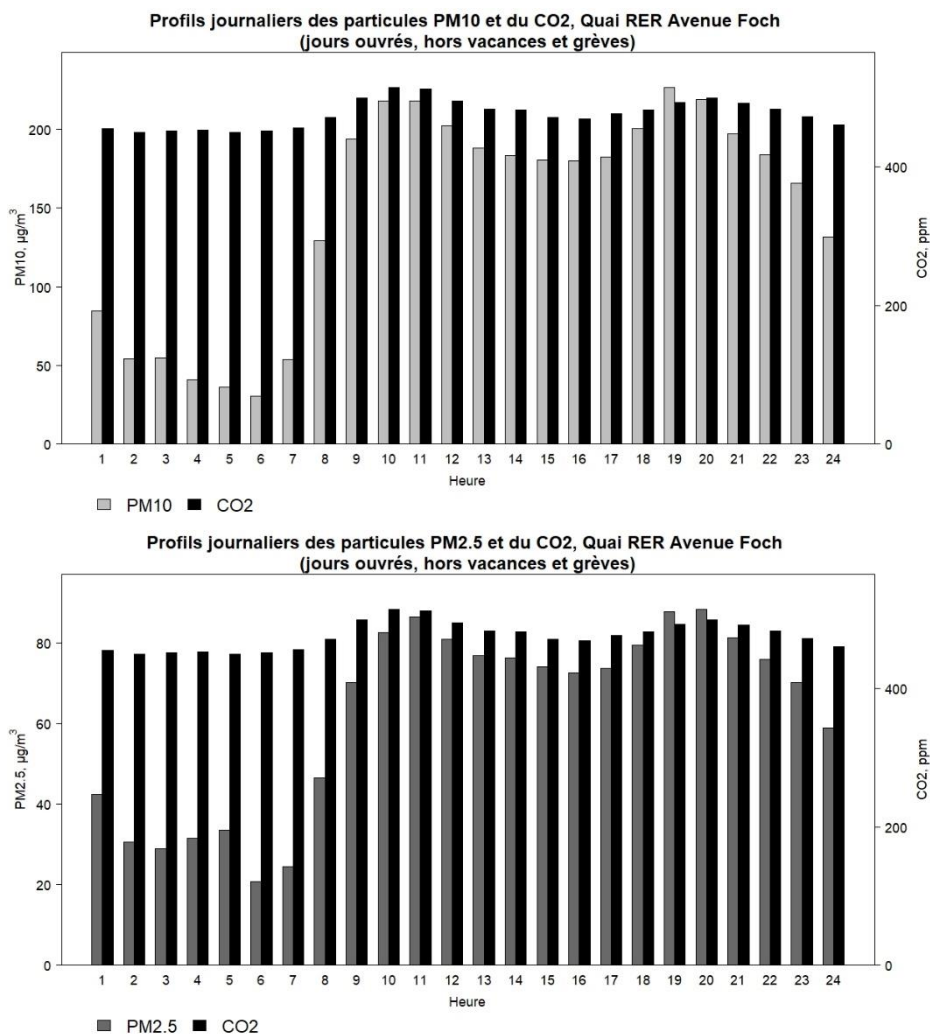


Figure 32 – Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> et en PM<sub>2.5</sub> et CO<sub>2</sub>, à la gare RER C de Avenue Foch, en 2021 – [jours ouvrés, hors vacances scolaires.](#)

### 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 RER C 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** par mois en gare RER C Avenue Foch a été transmis par la SNCF Gares & Connexions sur l'ensemble de l'année 2021.

En moyenne, 179 trains circulent en gare RER C Avenue Foch durant les jours ouvrés, contre 143 trains les samedis et dimanches. Les chiffres sont présentés en Figure 33.

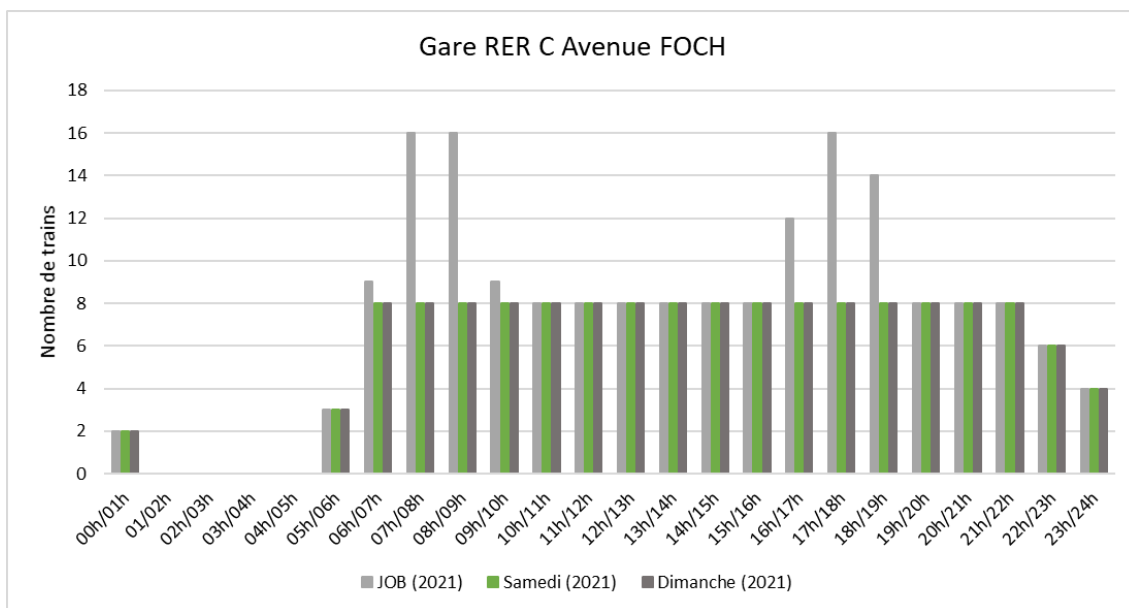


Figure 33 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C Avenue Foch en 2021.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations moyennes en **particules**

à l'échelle journalière est présenté à la

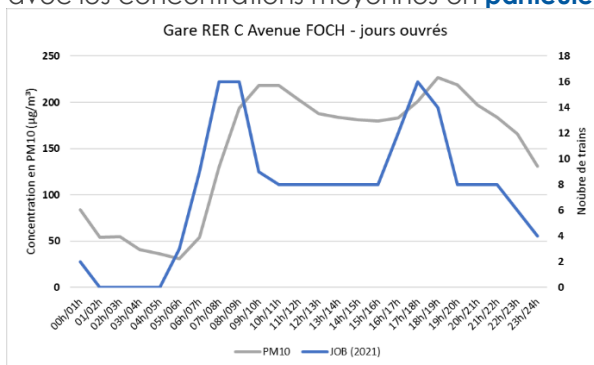
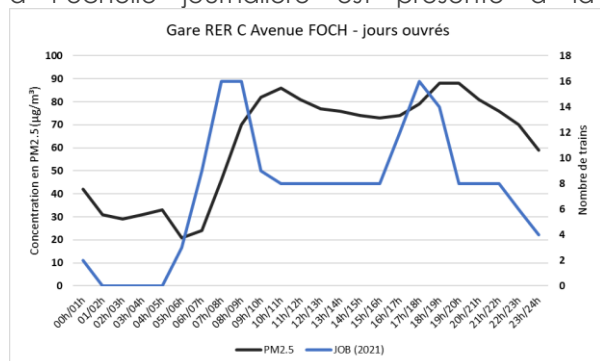


Figure 34 pour les jours ouvrés en gare RER C Avenue Foch.

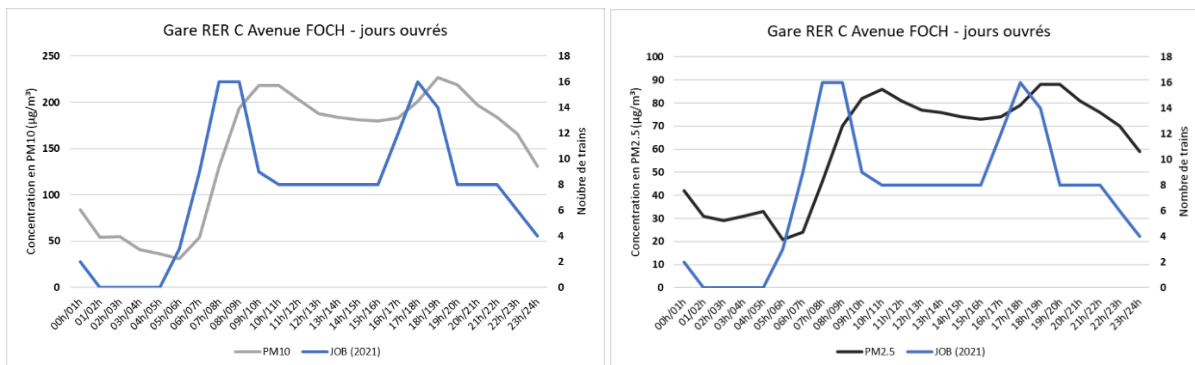


Figure 34 – Teneurs en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et nombre de trains en circulation (jours ouvrés uniquement) à la gare RER C de Avenue Foch en 2021.

Le profil des teneurs en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) 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 (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) sont liées au nombre de trains en circulation.

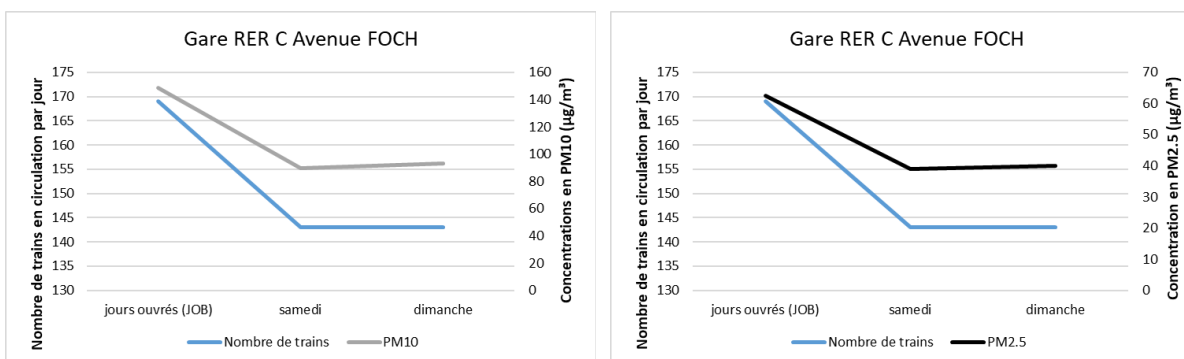


Figure 35 : Teneurs en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C Avenue Foch.

Un croisement du nombre de trains avec les teneurs en **NO** et **NO<sub>2</sub>** 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).

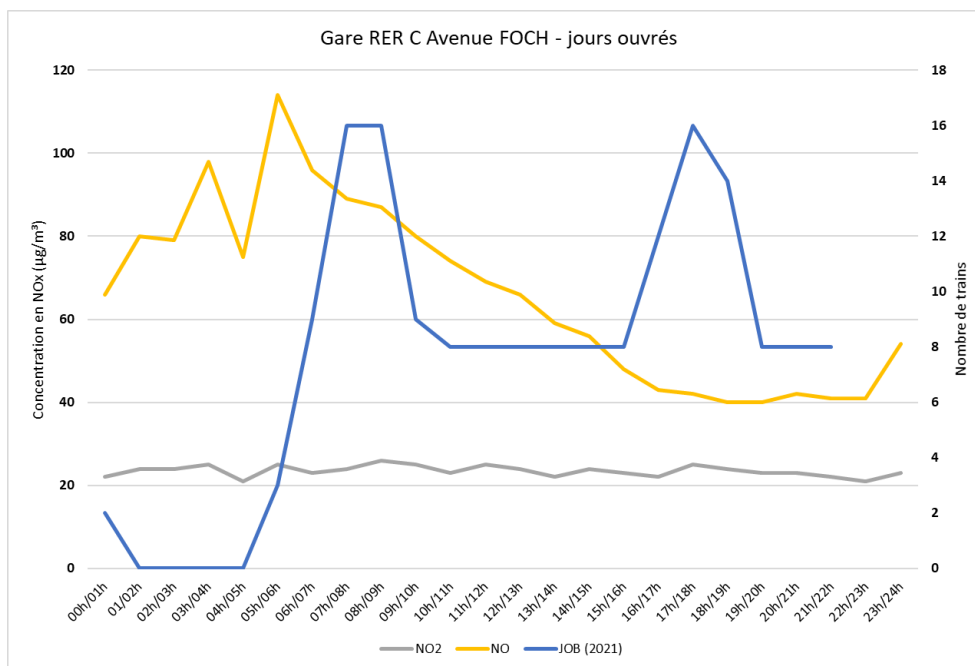


Figure 36 – Teneurs en NO<sub>x</sub> et nombre de trains en circulation à la gare RER C d'Avenue Foch, en 2021.

L'influence de divers paramètres de la gare RER C 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 CO<sub>2</sub>, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules en gare RER C Avenue Foch.



## 4. CONCLUSION

Ce rapport présente les niveaux de pollution observés en gare RER C d'Avenue Foch sur l'ensemble de l'année 2021. Cette gare bénéficie d'un suivi en continu mis en place dans le cadre du partenariat entre Airparif et SNCF Gares & Connexions depuis avril 2018.

Les éléments à retenir concernant les **particules PM<sub>10</sub>** et **PM<sub>2.5</sub>** sont :

- Les **teneurs en particules fines PM<sub>10</sub>** mesurées sur les quais du RER C en gare RER C Avenue Foch au cours de la période de mesure **étaient en moyenne de 133 µg/m<sup>3</sup>**, le maximum horaire atteint étant de 1661 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le mardi 16 novembre entre 4 et 5h, probablement lors de travaux).
- **Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2.5</sub> étaient de 55 µg/m<sup>3</sup>**, pour un maximum horaire de 2012 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le mercredi 10 novembre entre 4 et 5h, probablement lors de travaux).

La répartition mensuelle montre des fluctuations dans des proportions similaires en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Le mois de janvier présente les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> les plus faibles, tandis que ce sont les mois de janvier et mai qui présentent les niveaux moyens en particules PM<sub>2.5</sub> 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 38 % pour les PM<sub>10</sub> et 37 % pour les PM<sub>2.5</sub> 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 (19-21h). Enfin, les concentrations sont plus importantes en service commercial que sur une journée de 24h, de l'ordre de 13 % pour les PM<sub>10</sub> et 11 % pour les PM<sub>2.5</sub>.

Concernant les **oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>)**, la teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C à Avenue Foch est de **34 µg/m<sup>3</sup> en NO** et **21 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>**.

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 36 % pour le NO et de 18 % pour le NO<sub>2</sub>.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes sont les plus forts (entre 1h 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 47 µg/m<sup>3</sup> en NO et 21 µg/m<sup>3</sup> en NO<sub>2</sub>). Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée, durant le service commercial (le teneur moyenne de NO est de 32 µg/m<sup>3</sup> et celle de NO<sub>2</sub> de 21 µg/m<sup>3</sup>).

La part des **métaux** dans les **particules PM<sub>10</sub>**, suivie périodiquement (21 journées de mesures), est en moyenne de 45 %. Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 94 % de la masse des métaux mesurés. Suivent ensuite **le Baryum** (3,5 %), le **Zinc** et le **Manganèse** (0,8 %), le **Cuivre** (0,7 %) et le **Chrome** (0,3 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et Nickel sont négligeables. La part des différents composés varie modérément pendant l'ensemble des mesures.

Les concentrations moyennes annuelles en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> varient peu depuis le début de la surveillance de la gare en avril 2018. L'année 2021 présente toutefois les niveaux les plus faibles enregistrés, en lien avec la baisse globale du trafic ferroviaire liée à la crise sanitaire.

**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 RER C 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. Pour le dioxyde d'azote, une légère hausse des niveaux est observée lors des heures de pointes du matin, laissant envisager un léger impact des niveaux extérieurs en dioxyde d'azote sur les niveaux relevés à quai.

# ANNEXES

## Annexe 1

### 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) : 2 301 par jour (source SNCF)  
Nombre de trains/jour ; 169 jours ouvrés et 143 le week-end

#### **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 :**

Réduction du nombre de trains et de voyageurs suite aux différentes restrictions mises en place pour réduire la propagation de la covid-19 (confinements, couvre-feux, etc.).

## Annexe 2

### Éléments sur les composés suivis

Les Oxydes d'Azote (NOx) regroupent le Monoxyde d'Azote (NO) et le Dioxyde d'Azote (NO<sub>2</sub>). Ils sont émis lors des combustions, à haute température, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole, etc.). Ainsi le NO<sub>2</sub> 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 NO<sub>2</sub> (polluant « secondaire »). Les processus de formation du NO<sub>2</sub> 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 NOx 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 (NO<sub>2</sub>) 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 NO<sub>2</sub>. 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/m<sup>3</sup>, 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 3

### Détails 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 PM<sub>10</sub> et très fines PM<sub>2.5</sub> 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 (CO<sub>2</sub>, 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.

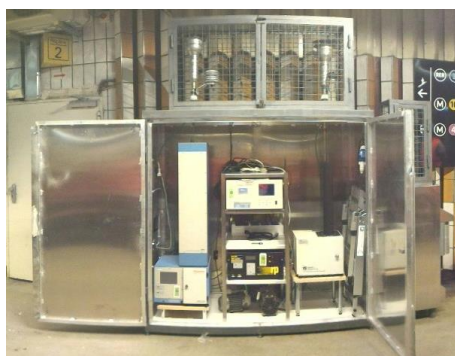
#### Moyens techniques mis en œuvre

##### 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 (PM<sub>10</sub>)<sup>6</sup> et particules fines (PM<sub>2,5</sub>) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO<sub>x</sub><sup>7</sup> 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 maintenant réalisés sur des filtres téflon, permettant ainsi la mesure gravimétrique des particules PM<sub>10</sub>. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant<sup>8</sup>.

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<sup>ère</sup> semaine de mesure, du lundi au vendredi), entre le passage du 1<sup>er</sup> train (environ 5h) et celui du dernier train (environ 1h).

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES<sup>3</sup> 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 Baryum (Ba).

Les mesures ont été réalisées sur les particules PM<sub>10</sub>, prélevées sur des filtres en quartz selon la norme NF EN 14902 (mesure de la fraction PM<sub>10</sub> de la matière particulaire en suspension). Le débit est d'environ 2.3 m<sup>3</sup>/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.

<sup>6</sup> Mesures des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> 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 PM<sub>10</sub> et des PM<sub>2,5</sub> 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.

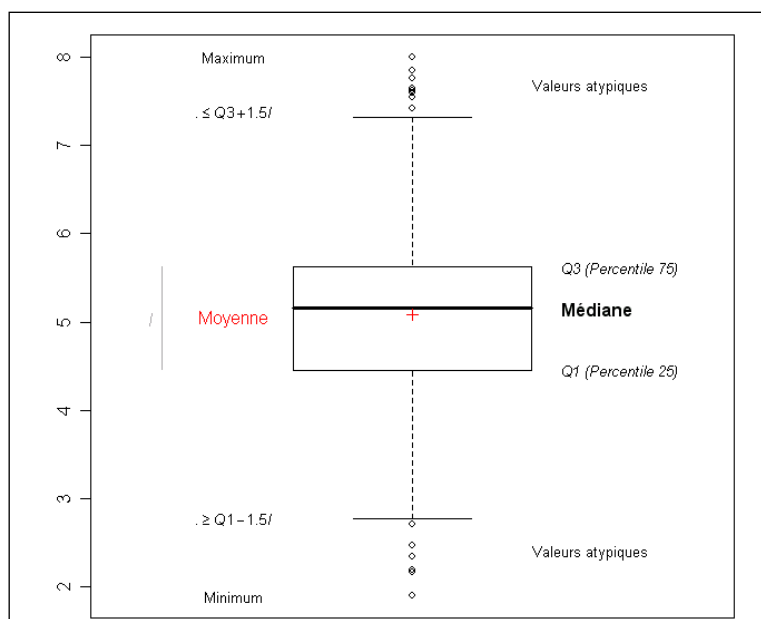
<sup>7</sup> Mesures des NO<sub>x</sub> selon la norme NF EN 14211 par réduction catalytique et chimiluminescence.

<sup>8</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

## Annexe 4

### Boîte à moustache – Définition

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).



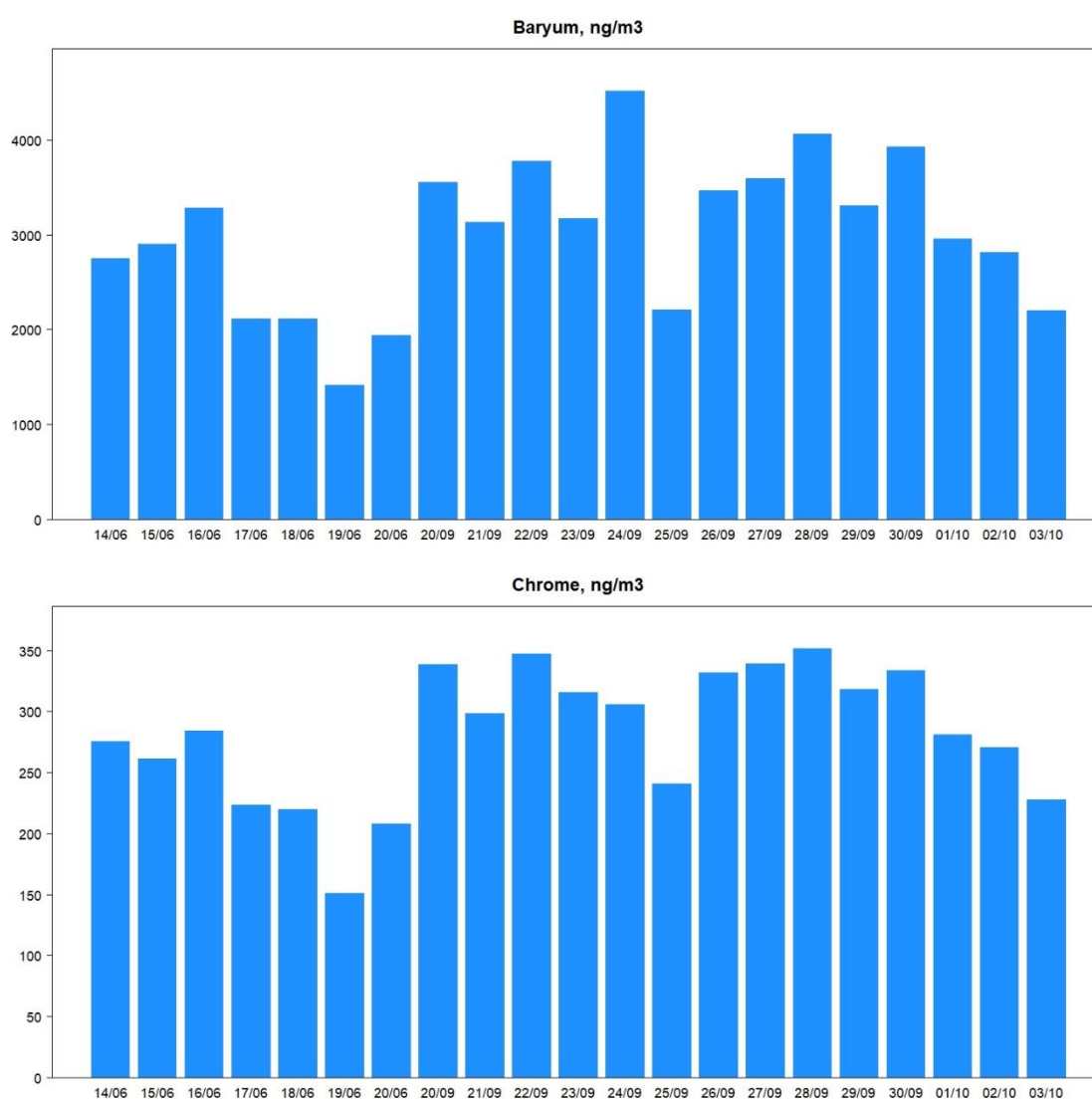
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur,  $1.5 \cdot I$  ( $I$  étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches. La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur  $3Q + 1.5I$  (3<sup>ème</sup> quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

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

## Annexe 5

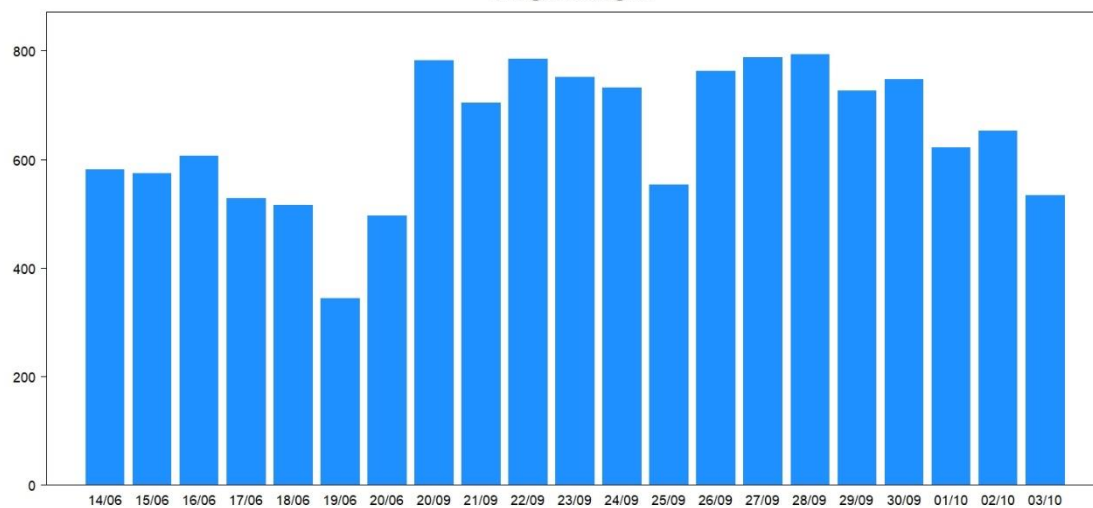
### Relevés journaliers du Baryum, Chrome, Manganèse, Fer, Nickel, Cuivre, Zinc, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb en gare RER C Avenue Foch

Mesures réalisées du 14 au 20 juin 2021 et du 20 septembre au 3 octobre 2021

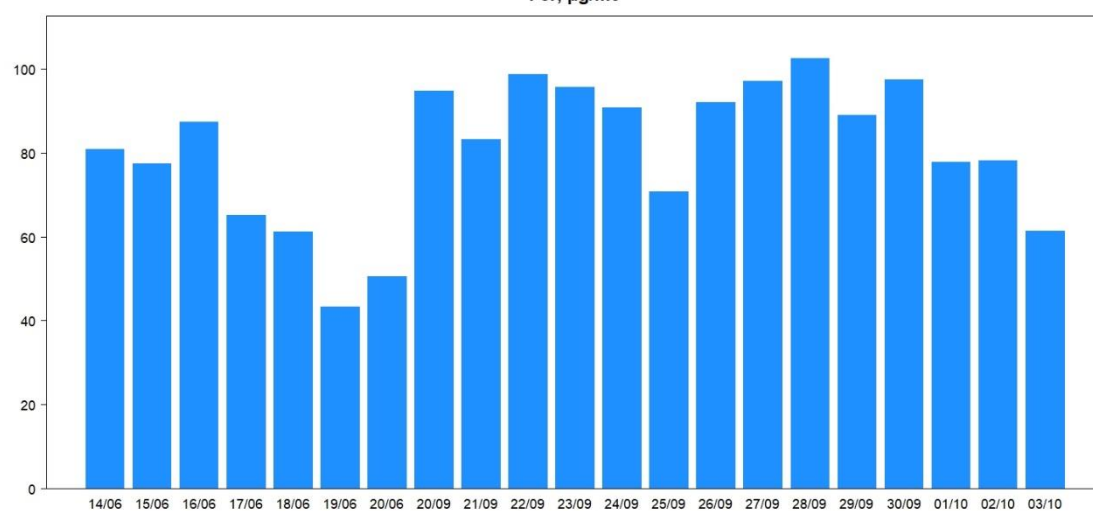




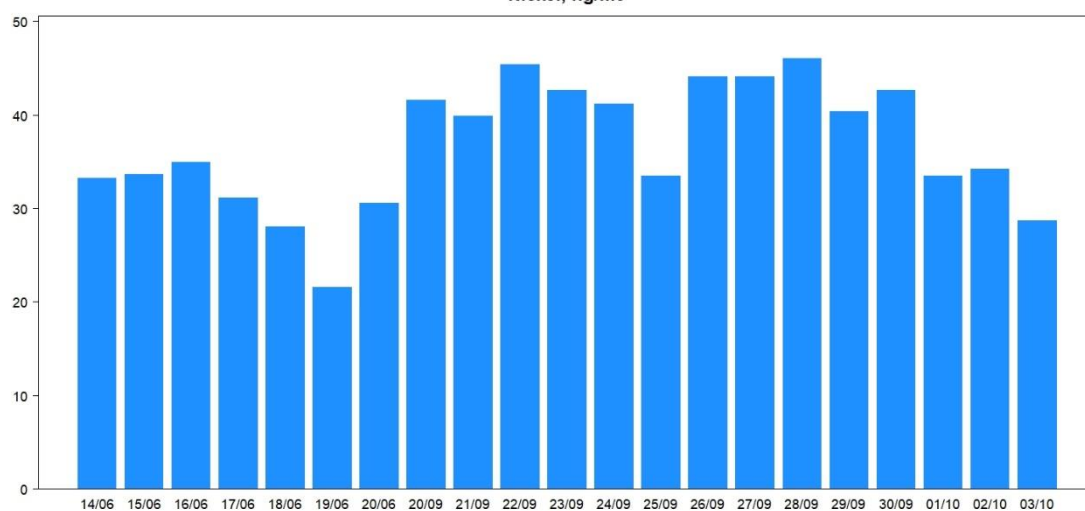
Manganèse, ng/m<sup>3</sup>

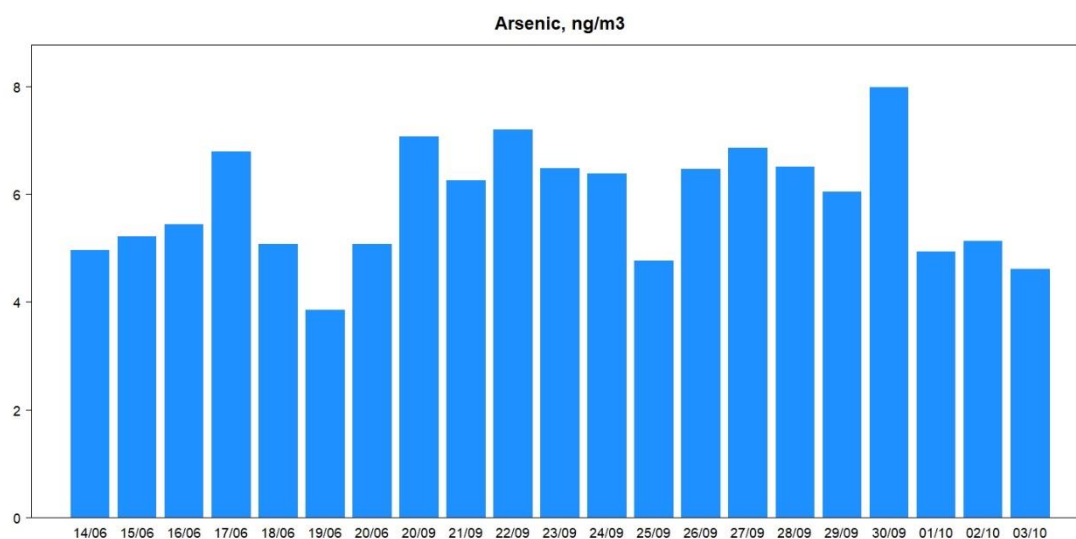
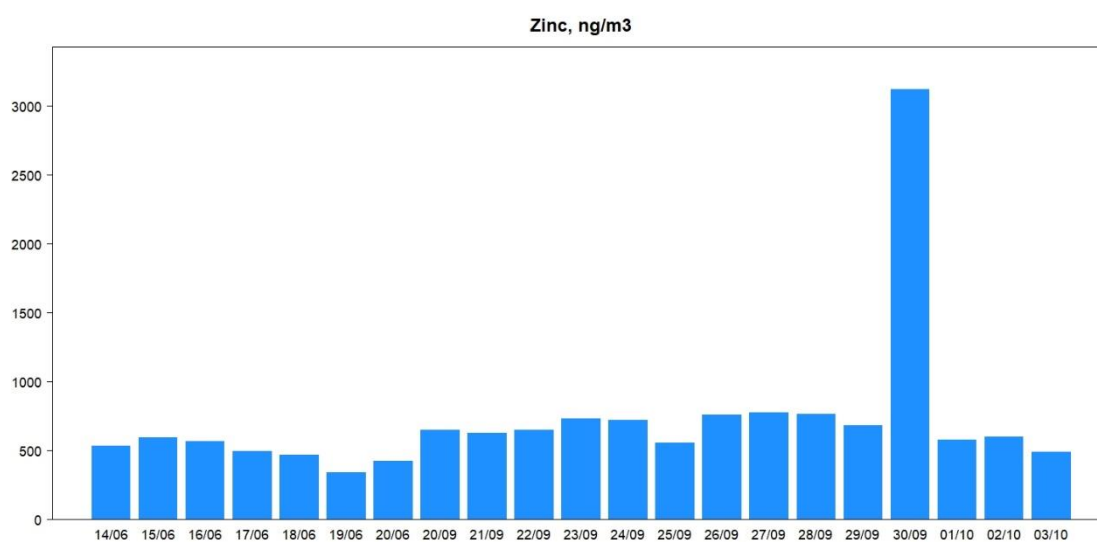
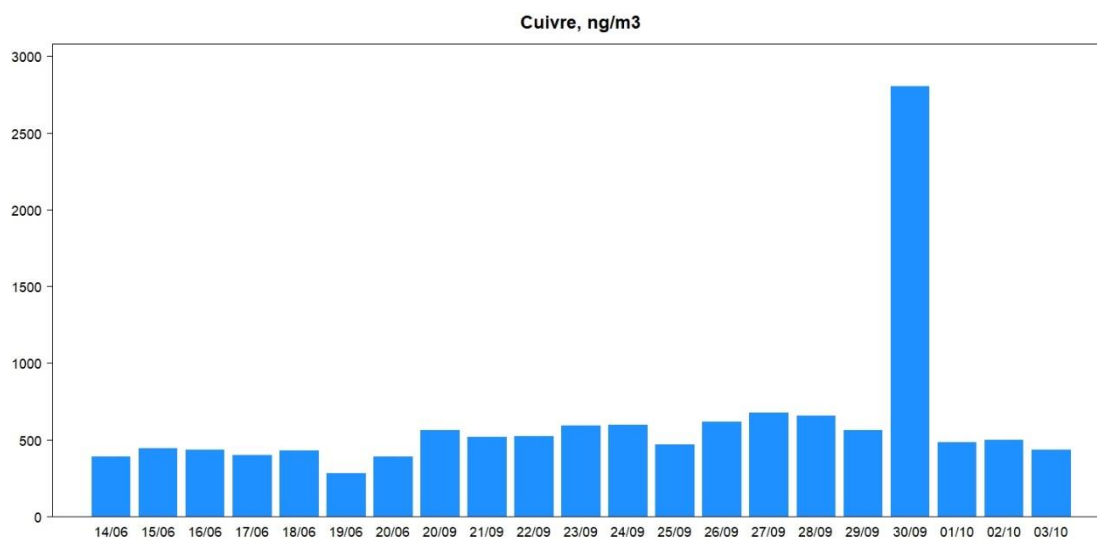


Fer, µg/m<sup>3</sup>

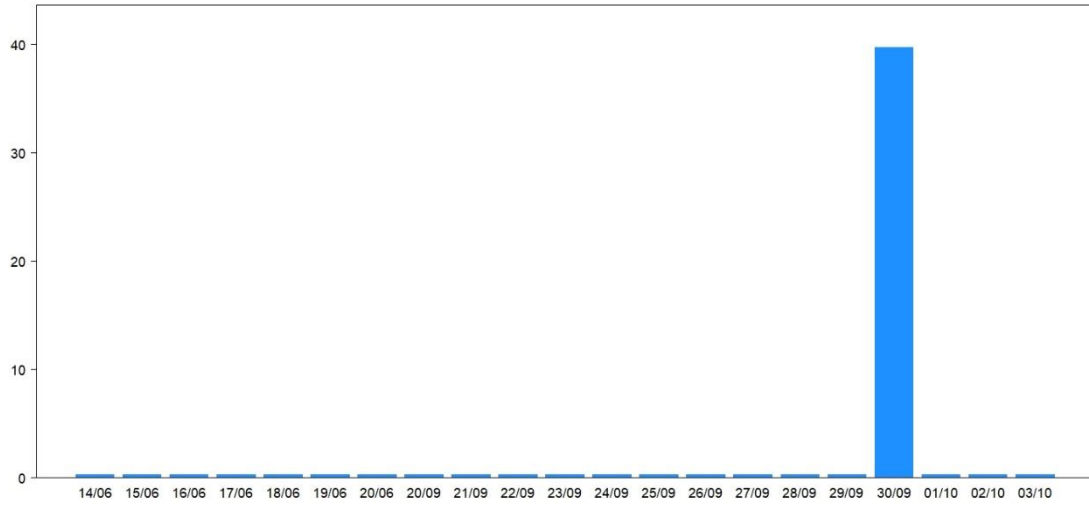


Nickel, ng/m<sup>3</sup>

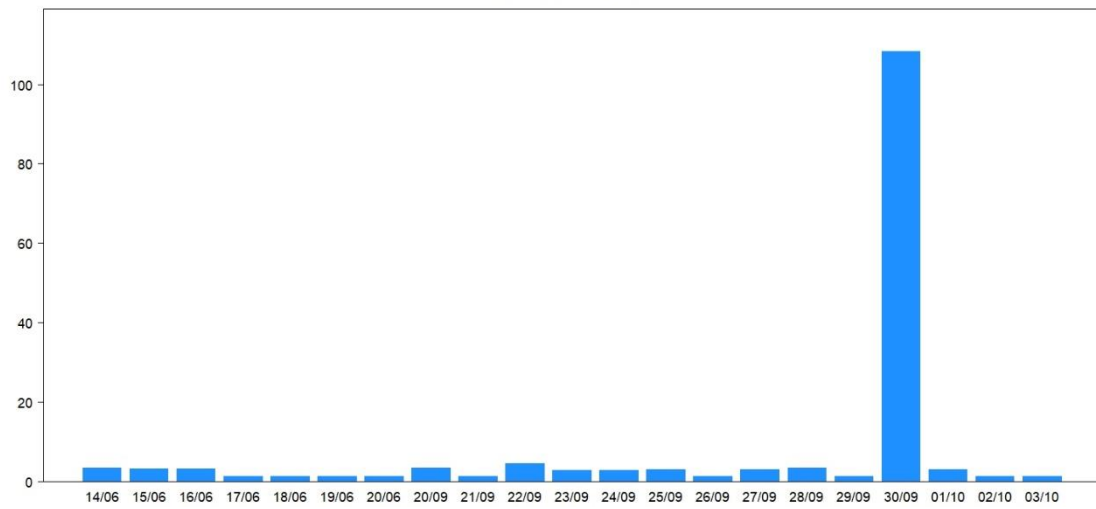




Cadmium, ng/m3



Antimoine, ng/m3



Plomb, ng/m3

