



# Mesures de la qualité de l'air intérieur sur les quais du RER C en gares SNCF de Avenue Foch et de Neuilly Porte-Maillot

JANVIER-DÉCEMBRE 2023

# SYNTHESE

Un programme de partenariat entre la SNCF Gares & Connexions et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif est 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. Des mesures ponctuelles en **gare RER C de Neuilly – Porte Maillot** ont été installées en prévision de tests de systèmes de dépollution.

Les particules fines ( $PM_{10}$ ) et très fines ( $PM_{2.5}$ ) sont suivies, ainsi que les métaux.

Le présent rapport présente les résultats de mesures de l'année 2023 sur ces deux sites.

En 2023, le nombre de trains en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot est resté stable.

Le nombre de voyageurs en gare d'Avenue Foch est toujours en baisse : 1107 voyageurs en moyenne par jour en 2023, contre 1 430 en moyenne en 2022. On dénombre 5459 voyageurs en moyenne par jour à la gare Neuilly-Porte Maillot en 2023.

Les importants travaux CASTOR qui ont lieu depuis plusieurs années sur le tronçon central du RER C n'ont pas entraîné de fermeture des gares d'Avenue Foch et Neuilly-Port Maillot au cours de l'été 2023. Toutefois, des nettoyages poussés des analyseurs en juillet entraînent une indisponibilité des mesures sur cette période aux deux gares.

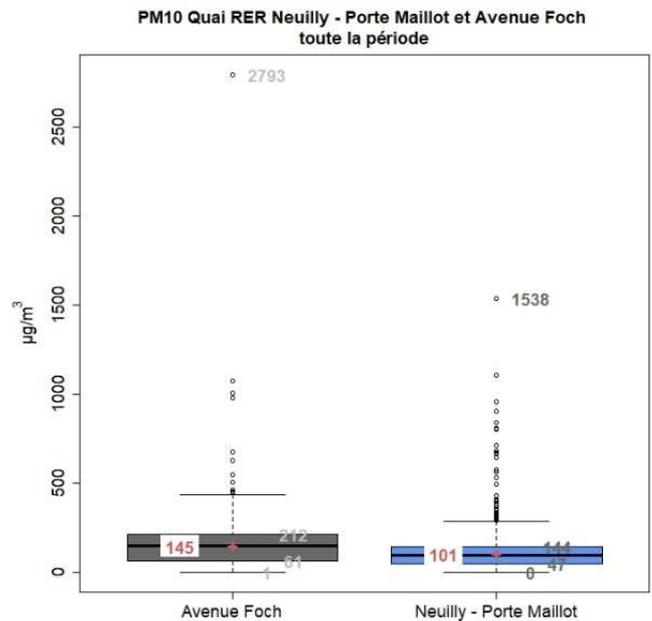
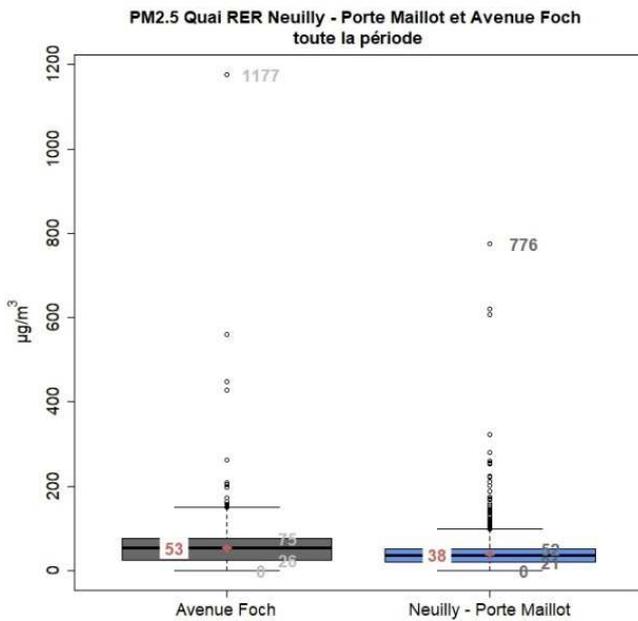
Enfin, de nombreuses grèves contre la réforme des retraites ont eu lieu au premier trimestre 2023, perturbant le trafic ferroviaire.

## Les principaux résultats en particules

Les teneurs en particules fines  $PM_{10}$  mesurées sur les quais du RER C en gare Avenue Foch en 2023 sont en moyenne de  $145 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , le maximum horaire atteint étant de  $2793 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (enregistré le mercredi 29 novembre entre 4 et 5h). Les niveaux moyens en particules très fines  $PM_{2.5}$  atteignent  $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en 2023, pour un maximum horaire de  $1177 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (le mercredi 29 novembre entre 4 et 5h).

Concernant la gare Neuilly Porte-Maillot, les niveaux moyens en  $PM_{10}$  sont de  $101 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec un maximum horaire de  $1538 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (atteint le vendredi 10 mars entre 3 et 4h du matin). Quant aux  $PM_{2.5}$ , les teneurs mesurées sont en moyenne de  $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec un maximum horaire de  $776 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (enregistré le vendredi 10 mars entre 3 et 4h du matin).

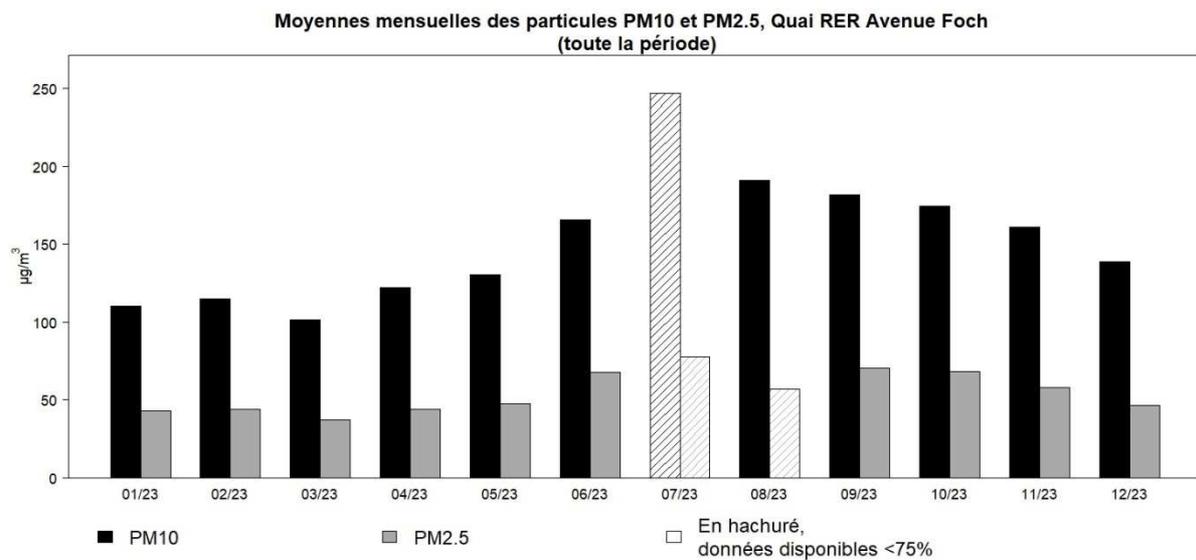




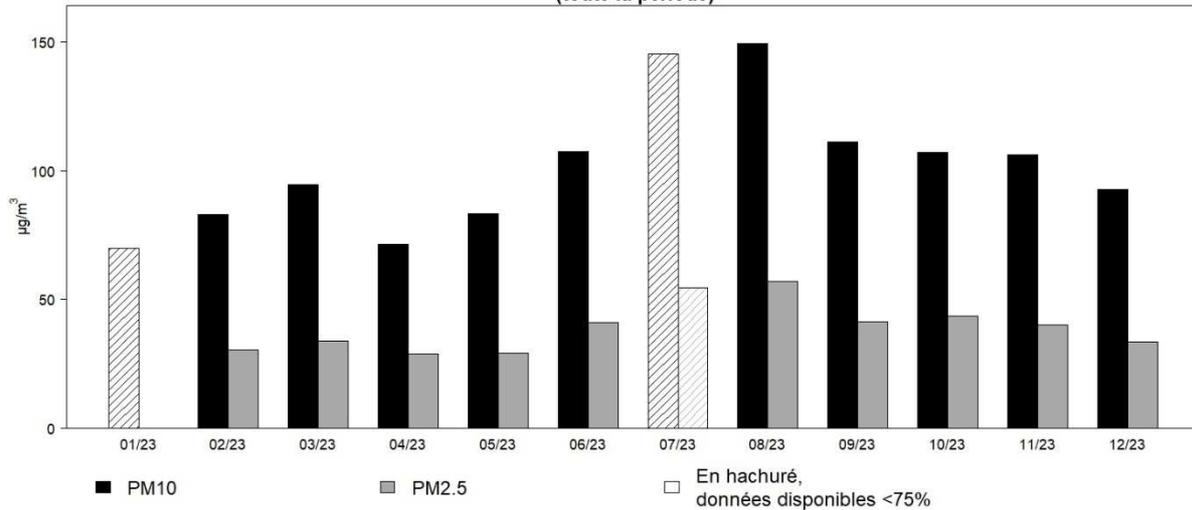
**Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle mensuelle, hebdomadaire, horaire) ?**

A l'échelle mensuelle, une forte variabilité des concentrations en particules est observée en gare RER C Avenue Foch, en lien notamment avec le nombre de trains en circulation et le nombre de voyageurs. Les minimums en concentrations de particules sont observés en mars, avec 100 µg/m³ en moyenne pour les PM<sub>10</sub> et 35 µg/m³ pour les PM<sub>2.5</sub>. Les maximums ont été relevés au cours des mois de septembre : 184 µg/m³ pour les particules PM<sub>10</sub> (septembre) et 73 µg/m³ pour les PM<sub>2.5</sub> (octobre). En juillet, il n'y a pas de données en particules fines car les analyseurs ont dû être nettoyés.

Les résultats en termes de variabilité mensuelle sont proches en gare RER C Neuilly-Porte Maillot. Le mois d'avril présente les concentrations en particules les plus faibles avec 77 µg/m³ en moyenne pour les PM<sub>10</sub> et 28 µg/m³ pour les PM<sub>2.5</sub>. Les maximums ont été relevés au cours du mois d'octobre : 118 µg/m³ pour les particules PM<sub>10</sub> et 49 µg/m³ de PM<sub>2.5</sub>.



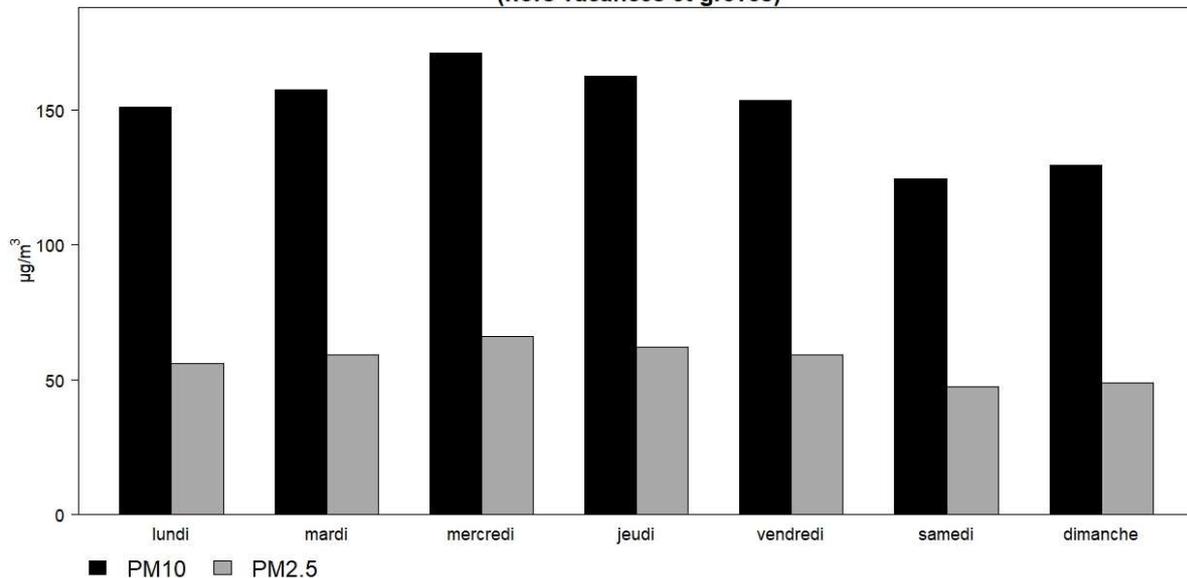
Moyennes mensuelles des particules PM10 et PM2.5, Quai RER Neuilly - Porte Maillot (toute la période)



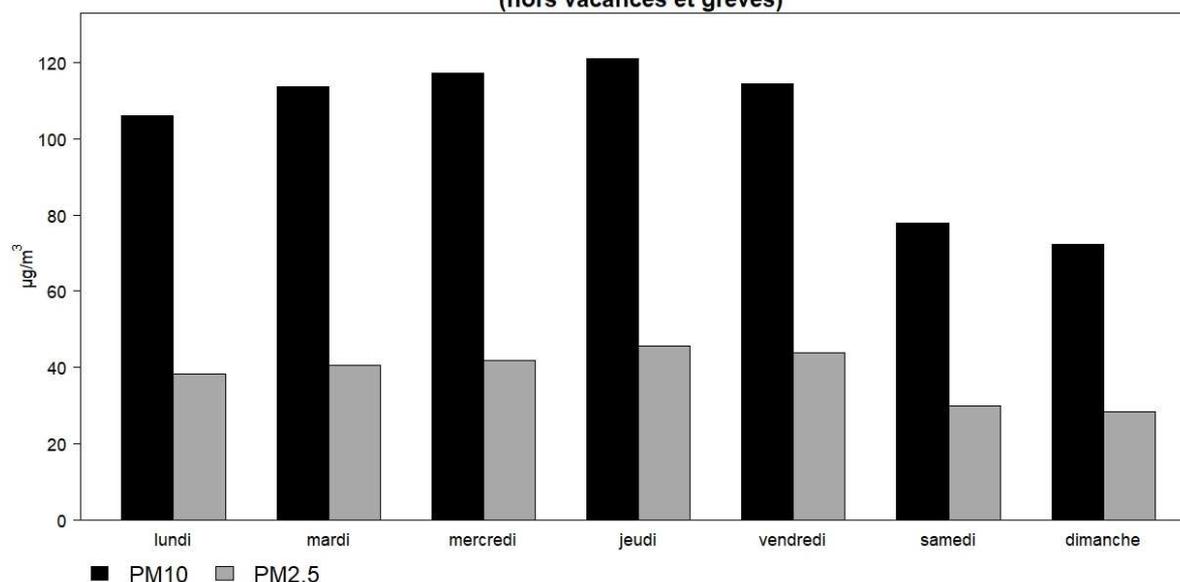
Les variations hebdomadaires et quotidiennes sont principalement influencées par le nombre de trains en circulation, lequel varie considérablement tout au long de la journée ainsi que pendant la semaine.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés, ceci pour les PM<sub>10</sub> (avec - 20 % et - 34% respectivement à Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot) et les PM<sub>2.5</sub> (avec - 20 % et - 31% respectivement à Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot), en lien avec la baisse de fréquentation et de trafic le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).

Profils hebdomadaires des particules PM10 et PM2.5, Quai RER Avenue Foch (hors vacances et grèves)

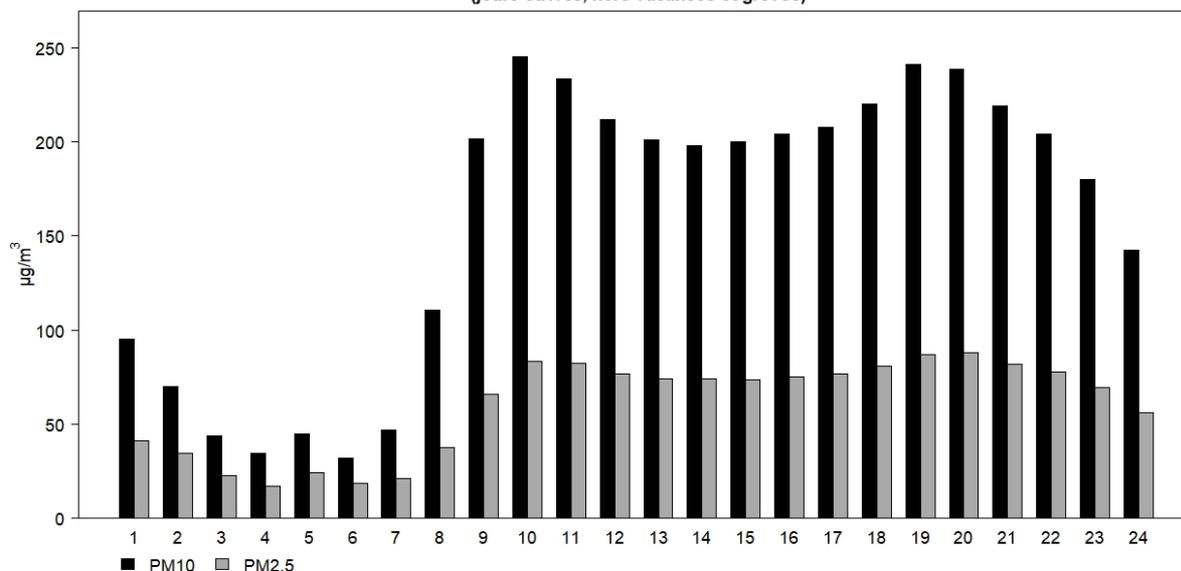


**Profils hebdomadaires des particules PM10 et PM2.5, Quai RER Neuilly - Porte Maillot  
(hors vacances et grèves)**

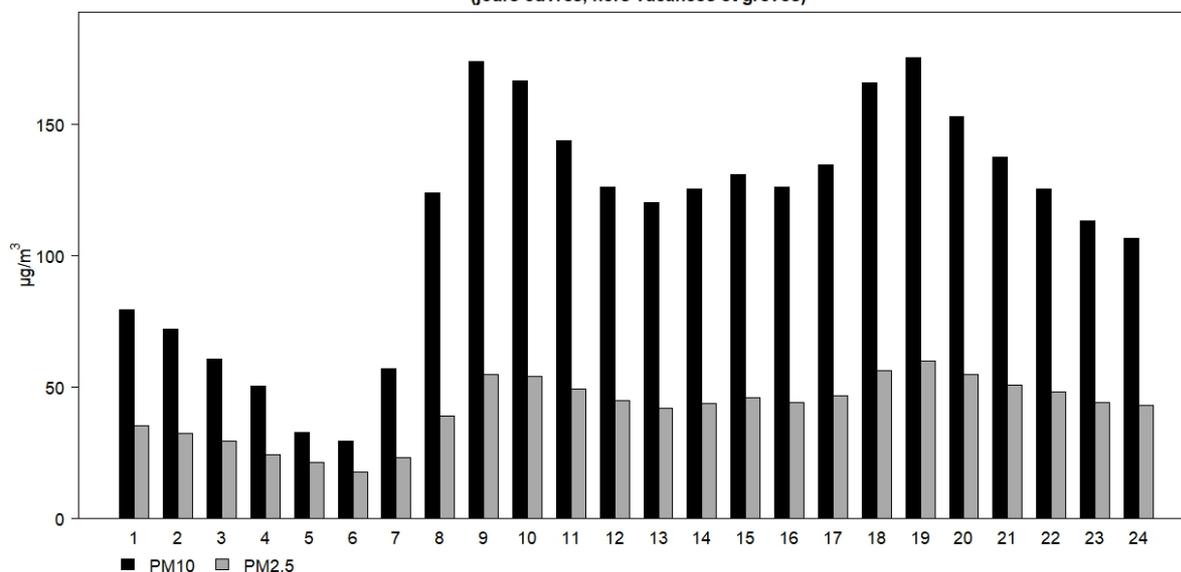


Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes de la gare RER C Avenue Foch (1-5h) sont les plus faibles, avec en moyenne  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ . Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales le matin (9-12h) et le soir (18-21h). A ces périodes, les concentrations sont en moyenne de  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$  et  $81 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$ . Les niveaux nocturnes en gare RER C Neuilly-Porte Maillot sont en moyenne  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et  $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ . En journée, les concentrations maximales aux heures de pointe (le matin entre 9h-12h et le soir entre 18h-21h) sont en moyenne de  $163 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$  et  $55 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$ .

Profils journaliers des particules PM10 et PM2.5, Quai RER Avenue Foch  
(jours ouvrés, hors vacances et grèves)

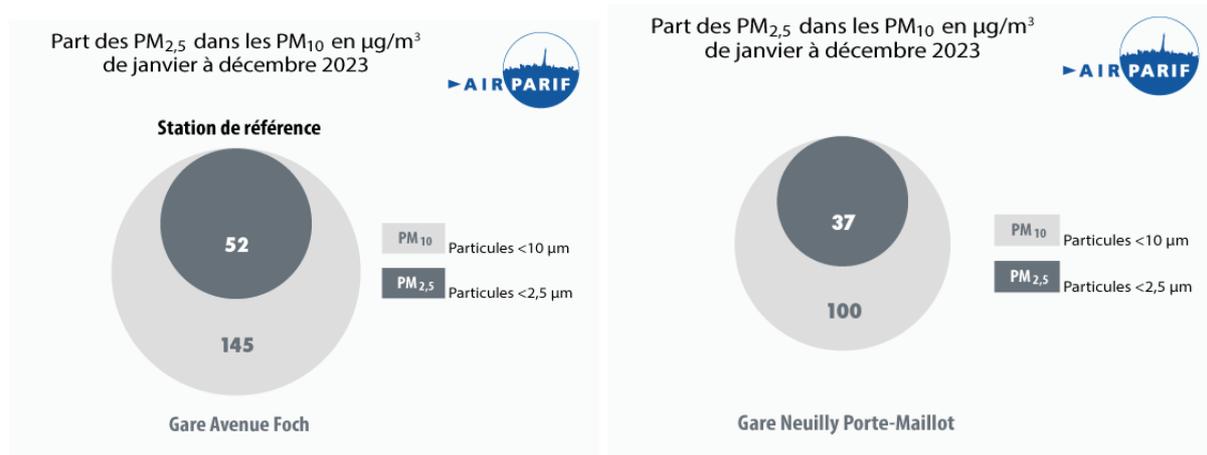


Profils journaliers des particules PM10 et PM2.5, Quai RER Neuilly - Porte Maillot  
(jours ouvrés, hors vacances et grèves)

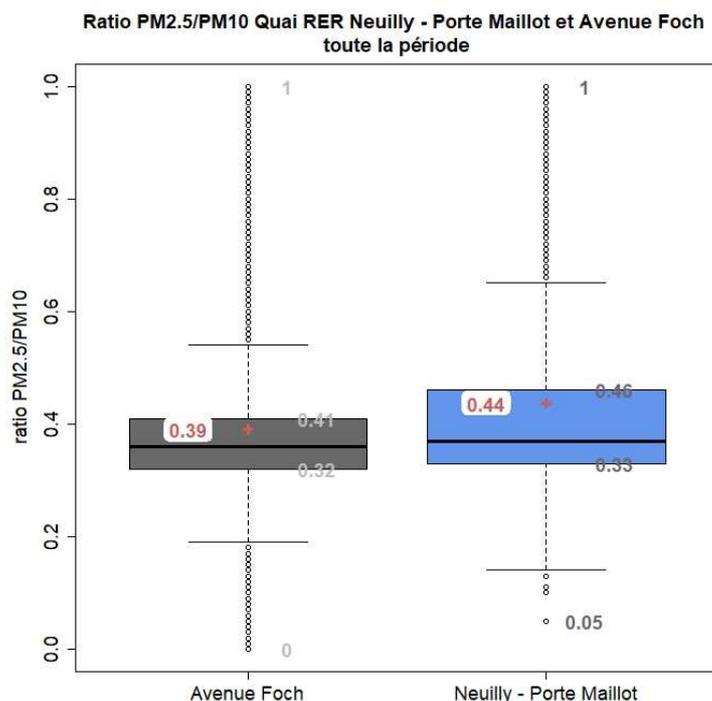


Les concentrations sont plus importantes en service commercial (5h-1h) que sur une journée de 24h en gare RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, concernant la gare Avenue Foch il est observé une différence de 11% pour les PM<sub>10</sub> et de 10% pour les PM<sub>2.5</sub> (pour les jours ouvrés), et de 8% pour les PM<sub>10</sub> et de 6% pour les PM<sub>2.5</sub> pour la gare Neuilly-Porte Maillot.

## Ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

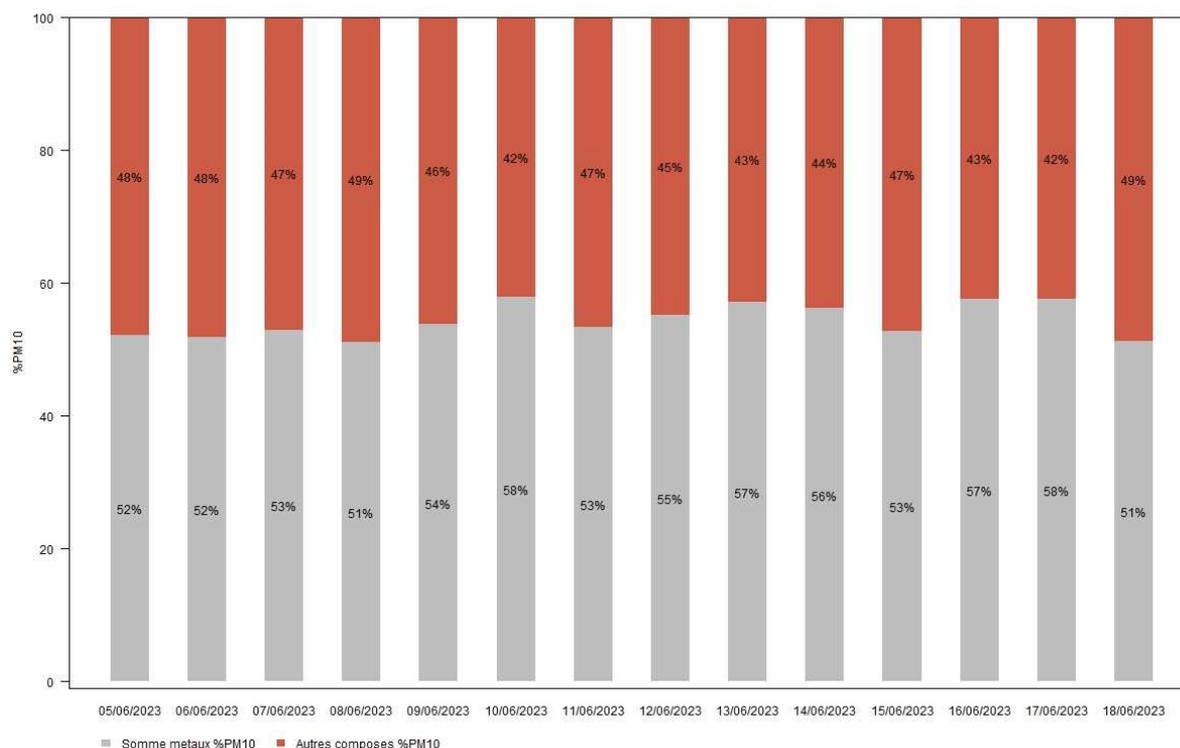


Le ratio horaire  $PM_{2.5}/PM_{10}$  sur les quais de la gare RER C d'Avenue Foch est en moyenne de 0,39 et de 0,44 pour la gare Neully-Porte Maillot. Les ratios varient peu à l'échelle mensuelle ou hebdomadaire. Le profil journalier montre des ratios stables en journée, autour de 0,4. Ils sont en hausse la nuit. 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  $PM_{10}$  varie de 51 à 58 % sur les 14 journées de mesures réalisées en 2023 (du 5 au 18 juin) en gare RER C Avenue Foch. Elle est en moyenne de 54 %.



### Quelle est la répartition entre les onze métaux suivis (RER C Avenue Foch, année 2023) ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 94 % de la masse des métaux mesurés à Avenue Foch. Suivent ensuite le **Baryum** (3,7 %), le **Manganèse** (0,8 %), le **Zinc** (0,6 %), le **Cuivre** (0,5 %) et le **Chrome** (0,3 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et Nickel sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

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

- Le nombre de trains en circulation a un impact direct sur les niveaux de particules sur le quai, tant en ce qui concerne les particules fines PM<sub>10</sub> que les très fines PM<sub>2.5</sub>. Cela se traduit par des pics observés aux heures de pointe lors des jours ouvrés, en dehors des périodes de travaux.
- Les niveaux de CO<sub>2</sub>, étroitement liés à la respiration humaine et donc à l'affluence dans la gare, sont en corrélation avec les niveaux de particules, ce qui reflète les heures de pointe à la gare RER C Avenue Foch.
- Pour les particules PM<sub>10</sub>, l'influence de l'air extérieur est négligeable par rapport aux teneurs observées sur les quais.
- Les caractéristiques du matériel roulant pourraient également influencer les concentrations de particules en gare, tout comme la vitesse d'arrivée à quai ou le processus de freinage.

# SOMMAIRE

SYNTHESE .....	2
SOMMAIRE .....	9
GLOSSAIRE .....	11
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	12
1. DESCRIPTION DES STATIONS DE MESURE.....	13
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE AVENUE FOCH, POLLUANTS MESURES ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE .....	13
1.2 DESCRIPTION DE LA GARE NEUILLY – PORTE MAILLOT, POLLUANTS MESURES ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE .....	14
1.3 PERIODE DE MESURES .....	15
2. NIVEAUX DE POLLUANTS RENCONTRES EN GARES.....	16
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LES QUAIS : PM <sub>10</sub> ET PM <sub>2.5</sub> .....	16
2.1.1. PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	16
2.1.2. PARTICULES PM <sub>2.5</sub> .....	17
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM <sub>10</sub> ET PM <sub>2.5</sub> .....	19
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES.....	19
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	21
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	24
2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE .....	25
2.2.5. VARIABILITE ANNUELLE.....	27
2.2.6. NIVEAUX JOURNALIERS EN SERVICE COMMERCIAL.....	28
2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2.5</sub> .....	31
2.3.1. NIVEAUX MOYENS .....	31
2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	32
2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	32
2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE .....	33
2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL .....	34
2.3.6 VARIABILITE ANNUELLE.....	35
2.4 NOMBRE DE PARTICULES (MESURES PAR COMPTAGES OPTIQUES – FIDAS) .....	37
2.4.1 NIVEAUX MOYENS .....	37
2.5 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LES QUAIS : CO <sub>2</sub> , HUMIDITE ET TEMPERATURE .....	39
2.6 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES .....	40
2.6.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	40
2.6.2. REPARTITION DES METAUX.....	41
2.6.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	44
3. INFLUENCE DU TRAFIC EN GARE.....	47
4. CONCLUSION.....	49

ANNEXES .....	50
ANNEXE 1.....	50
ANNEXE 2.....	52
ANNEXE 3.....	55
ANNEXE 4.....	56
ANNEXE 5.....	68

# 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.

**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

**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

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

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

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

# INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Un programme de partenariat entre SNCF Gares & Connexions et Airparif a été initié 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.

Après des mesures réalisées dans différentes gares, Airparif assure le suivi en continu de la qualité de l'air sur le quai de la gare RER C d'Avenue Foch. La station mesure au pas de temps horaire les 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). Les paramètres de confort (CO<sub>2</sub>, Humidité et Température) sont suivis via des mesures sur le quai de la gare.

En parallèle de la station Avenue Foch, des mesures ont été mises en place dans la gare de Neuilly – Porte Maillot (RER C) sur plusieurs mois à partir de septembre 2022. Cette station va accueillir temporairement des systèmes de dépollution de l'air. Les mesures de qualité de l'air permettront de juger de l'efficacité des systèmes.

**Ce rapport présente les résultats à la station de référence d'Avenue Foch sur l'ensemble de l'année 2023, ainsi qu'à la station temporaire de Neuilly – Porte Maillot.**

---

<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).

# 1. DESCRIPTION DES STATIONS DE MESURE

## 1.1 DESCRIPTION DE LA GARE AVENUE FOCH, 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.

Cette gare est de configuration simple, c'est-à-dire sans correspondance. Elle est située au 85, avenue Foch, à Paris (XVI<sup>ème</sup>).

Les quais de la gare RER sont souterrains, de faible profondeur (niveau -1). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place mais une ventilation naturelle. 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 1 107 en moyenne par jours. C'est l'une des gares RER franciliennes les moins fréquentées (données SNCF 2023).

Le nombre de trains circulant par jour en gare RER C Foch (2 sens confondus) est de 175 les jours ouvrés (jours JOB), 143 les samedis et dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai central comme illustré à la Figure 1.

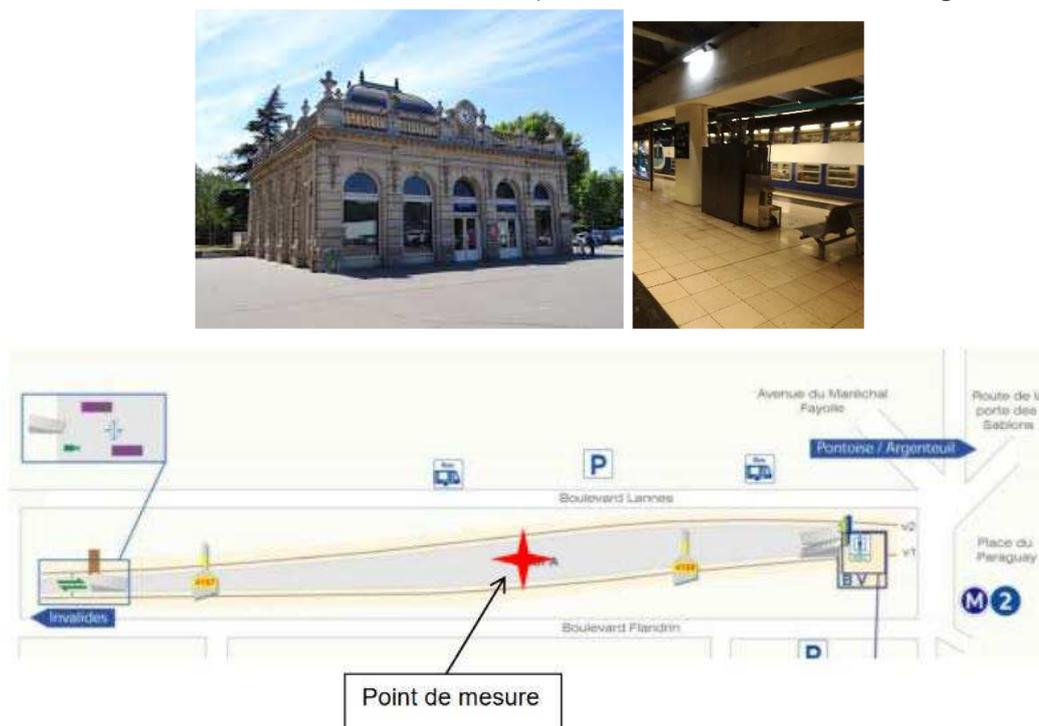


Figure 1 – Localisation du point de mesure (gare Avenue Foch, ligne RER C, quai central), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare

Des mesures de particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et de métaux (14 jours) ont été réalisées. 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.

## 1.2 DESCRIPTION DE LA GARE NEUILLY – PORTE MAILLOT, POLLUANTS MESURES ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare de Neuilly - Porte Maillot, sur le RER C (branche nord de la ligne, entre Paris et Pontoise) a été instrumentée fin 2022. Elle est située Boulevard Pereire, à Paris (XVII<sup>ème</sup>), à proximité de la Place de la Porte Maillot.

Cette gare est de configuration multiple, c'est-à-dire avec des correspondances. Elle est connectée à la ligne 1 du métro. Cette gare est située juste après celle d'Avenue Foch (sur le RER c, au nord).

Cette gare RER comporte un quai central souterrain de faible profondeur (niveau -1). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle).

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

Le nombre de voyageurs montant en gare de Neuilly Porte Maillot (RER C) est de 5 459 par jour (données SNCF 2023). En comparaison avec les autres gares Transilien, la gare RER Neuilly – Porte Maillot est peu fréquentée.

Le nombre de trains circulant par jour en gare RER C de Neuilly-Porte Maillot (2 sens confondus) est de 175 les jours ouvrés (jours JOB), 143 les samedis et dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai central (point bleu sur la figure 2 ci-dessous).



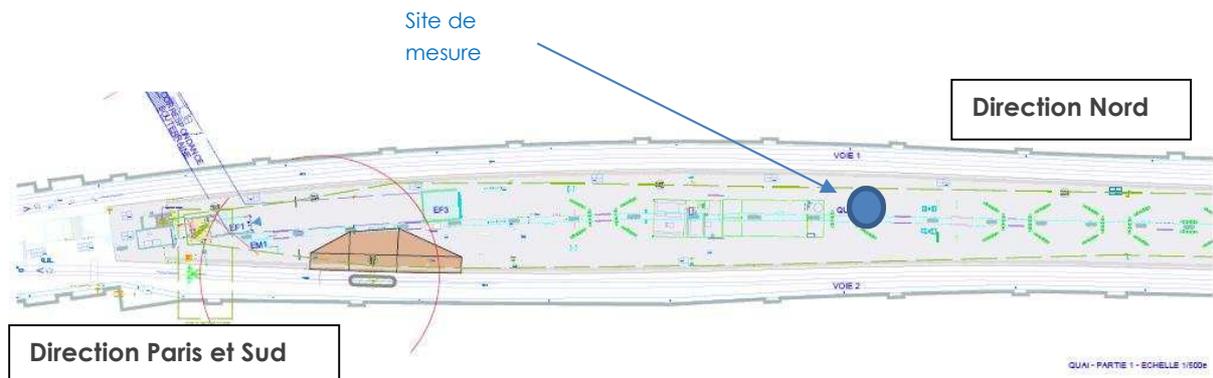


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Neuilly Porte Maillot, ligne RER C, quai central), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare

Des mesures en particules  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  et en métaux (7 jours), ainsi que des relevés en  $CO_2$ , humidité et température (7 jours) ont été réalisés à cette station.

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.

### 1.3 PERIODE DE MESURES

Les mesures en gares ont été suspendues entre le 3 et le 31 juillet 2023 pour cause de nettoyage des appareils de mesure. Les travaux CASTOR, sur la partie centrale du RER C (tronçon Austerlitz – Javel – Henri Martin), n'ont pas entraîné la fermeture des gares Avenue Foch ou Neuilly – Porte Maillot en 2023.

Des grèves contre la réforme des retraites ont engendré des modifications du trafic ferroviaire sur les RER C pendant 14 jours. Le trafic n'étant pas représentatif pendant ces journées, les mesures de qualité de l'air n'ont pas été prises en compte.

## 2. NIVEAUX DE POLLUANTS RENCONTRES EN GARES

Ce paragraphe présente les résultats de l'analyse des données de surveillance sur le quai des gares RER C Avenue Foch et Neuilly – Porte Maillot : présentation statistique sur la période étudiée et évolution temporelle des relevés à l'échelle horaire, journalière et mensuelle pour les particules ainsi que la teneur en métaux dans les particules PM<sub>10</sub>.

### 2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LES QUAIS : PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</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 les gares RER C Avenue Foch et Neuilly – Porte Maillot, sur l'ensemble de l'année 2023.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	PM <sub>10</sub> (particules fines)		PM <sub>2.5</sub> (particules fines)	
	Gare Avenue Foch	Gare Neuilly-Porte Maillot	Gare Avenue Foch	Gare Neuilly-Porte Maillot
Minimum horaire	1	0	0	0
Percentile 25 (P25)	61	47	26	21
Médiane ou Percentile 50	152	95	53	35
<b>Moyenne</b>	<b>145</b>	<b>101</b>	<b>53</b>	<b>38</b>
Percentile 75 (P75)	212	144	75	52
Maximum horaire	2793	1538	1177	776
% de données horaires valides	90	84	81	81

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot

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

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

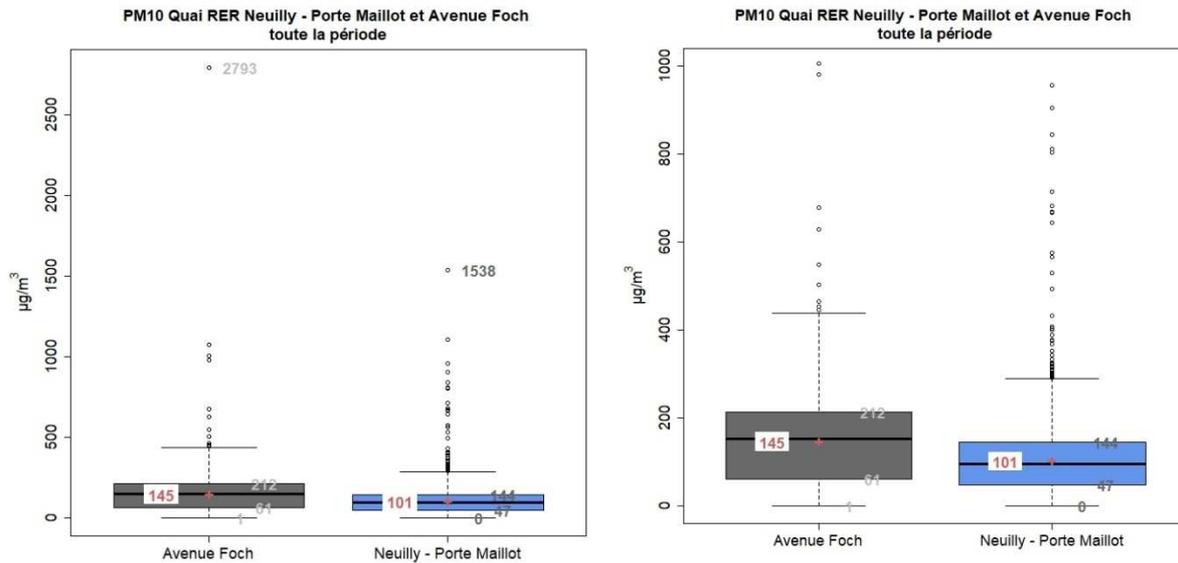


Figure 3 – Boîte à moustaches des relevés horaires en PM<sub>10</sub> (µg/m<sup>3</sup>) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 (Zoom sur les données à droite)

Les boîtes à moustaches offrent une manière simple de comparer différentes grandeurs statistiques. Ce type de représentation graphique met en évidence les quartiles 25 et 75 (Q1 et Q3), qui délimitent respectivement les bords inférieur et supérieur de la boîte rectangulaire. Cette boîte contient 50 % des données. Les lignes s'étendant depuis les extrémités de la boîte sont délimitées par des cercles et représentent les valeurs minimale et maximale de l'ensemble de données. Au centre de la boîte se trouve la médiane (50 % des données se situent en dessous, tandis que les 50 % restantes se situent au-dessus), alors que la marque '+' indique la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

En considérant toutes les données, pour la gare RER Avenue Foch, 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 61 et 212 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 145 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum atteint est de 2793 µg/m<sup>3</sup>, enregistré le mercredi 29 novembre entre 5 et 6h du matin, probablement lors de travaux nocturnes. Concernant la gare de Neuilly-Porte Maillot, la moyenne est de 101 µg/m<sup>3</sup> et 50% des données sont comprises entre 47 et 144 µg/m<sup>3</sup>, le maximum (1538 µg/m<sup>3</sup>) a été enregistré le vendredi 10 mars 2024 entre 3 et 4h du matin, probablement lors de travaux nocturnes.

### 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 et Neuilly-Porte Maillot est présentée Figure 4, sur toute la période de mesures.

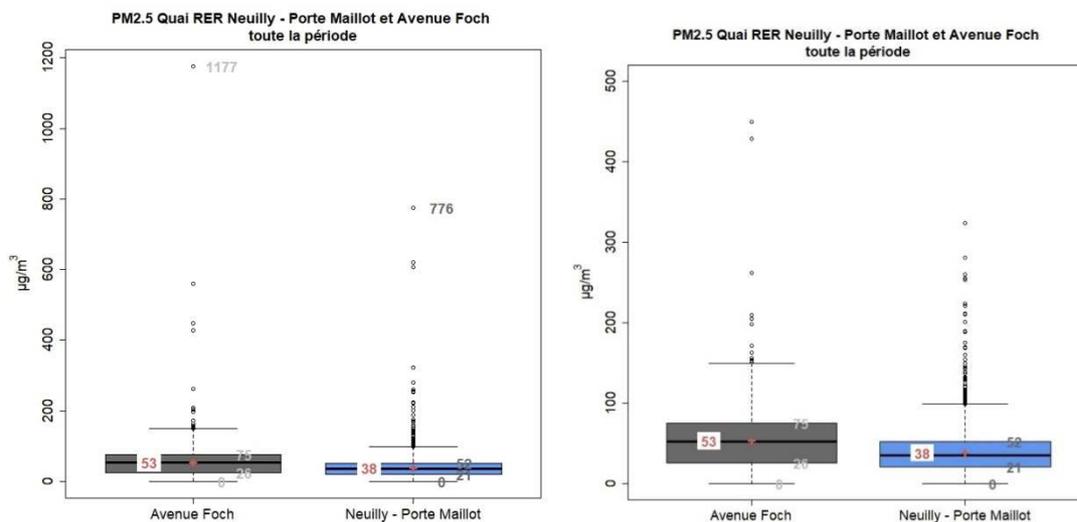


Figure 4 – Boîte à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub> (µg/m<sup>3</sup>) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte-Maillot, en 2023 (Zoom à droite)

La boîte à moustaches sur l'ensemble de la période de mesure montre une moyenne en PM<sub>2.5</sub> de 53 µg/m<sup>3</sup> en gare RER C Avenue Foch ; 50% des données sont comprises entre 26 et 75 µg/m<sup>3</sup>. Concernant la gare de Neuilly-Porte Maillot, la moyenne en PM<sub>2.5</sub> est de 38 µg/m<sup>3</sup> et 50% des données sont comprises entre 21 et 52 µg/m<sup>3</sup>.

Le maximum atteint à Avenue Foch (1177 µg/m<sup>3</sup>) a été enregistré le mercredi 29 novembre entre 4 et 5h (en même temps que le pic des particules PM<sub>10</sub>). Pour la gare Neuilly-Porte Maillot, le maximum (776 µg/m<sup>3</sup>) a été enregistré le vendredi 10 mars 2024 entre 3 et 4h du matin (en même temps que le pic des particules PM<sub>10</sub>), probablement lors de travaux nocturnes.

**La teneur moyenne relevée sur le quai de la gare RER C Avenue Foch est de 145 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et de 53 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 Neuilly-Porte Maillot est de 101 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et de 38 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>2.5</sub>.**

## 2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>

### 2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES

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

Les relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont présentés à la Figure 5.

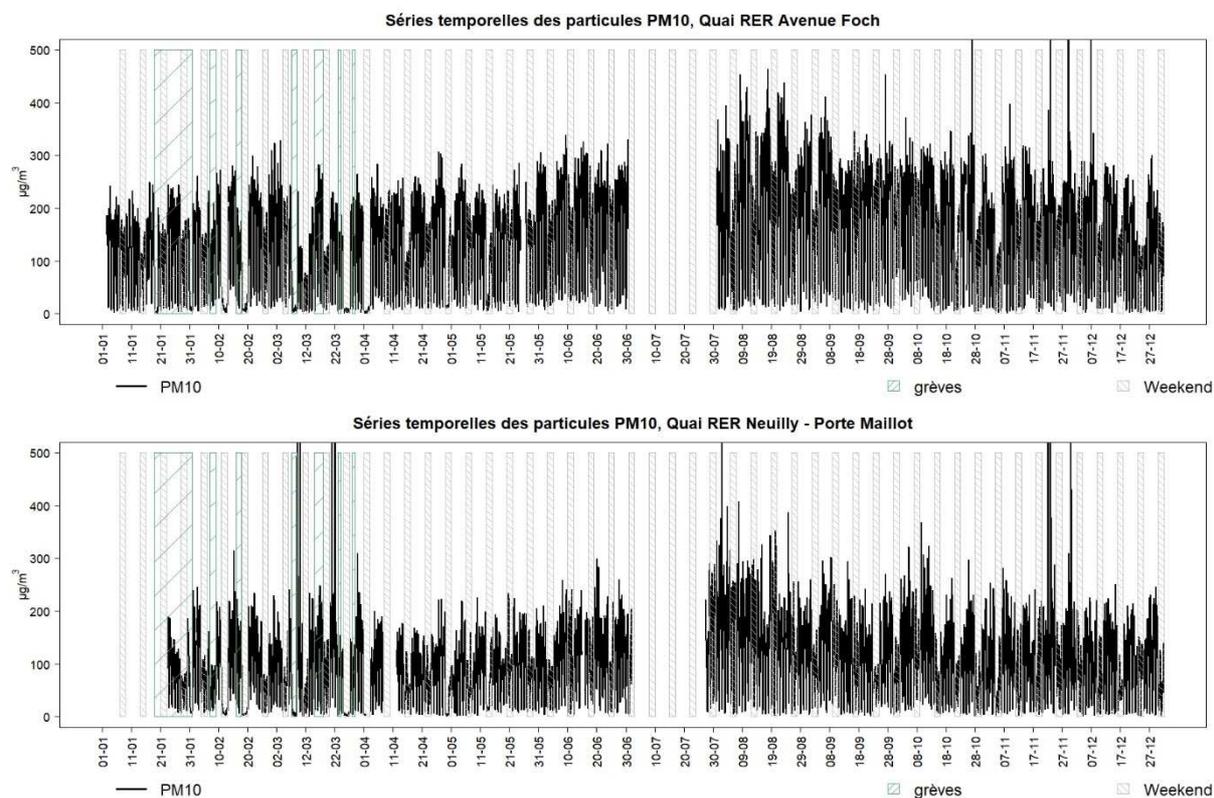


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 (zoom)

Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 300 µg/m<sup>3</sup> en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot. Sur l'ensemble des mesures, respectivement 26 et 20 relevés horaires non consécutifs sont supérieurs à 400 µg/m<sup>3</sup> (soit environ 0,3% et 0,2% des relevés disponibles). Trois relevés sont supérieurs à 1000 µg/m<sup>3</sup> en gare Avenue Foch : le jeudi 23 novembre 2023 à 2h du matin (1006 µg/m<sup>3</sup>) et le mercredi 29 novembre à 5h et 6h (2793 et 1073 µg/m<sup>3</sup>). En gare de Neuilly-Porte Maillot, 3 heures sont concernées : le jeudi 09 mars à 5h (1107 µg/m<sup>3</sup>) et le vendredi 10 mars à 3h et 4h (1103 et 1538 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 gares Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont présentés à la Figure 6.

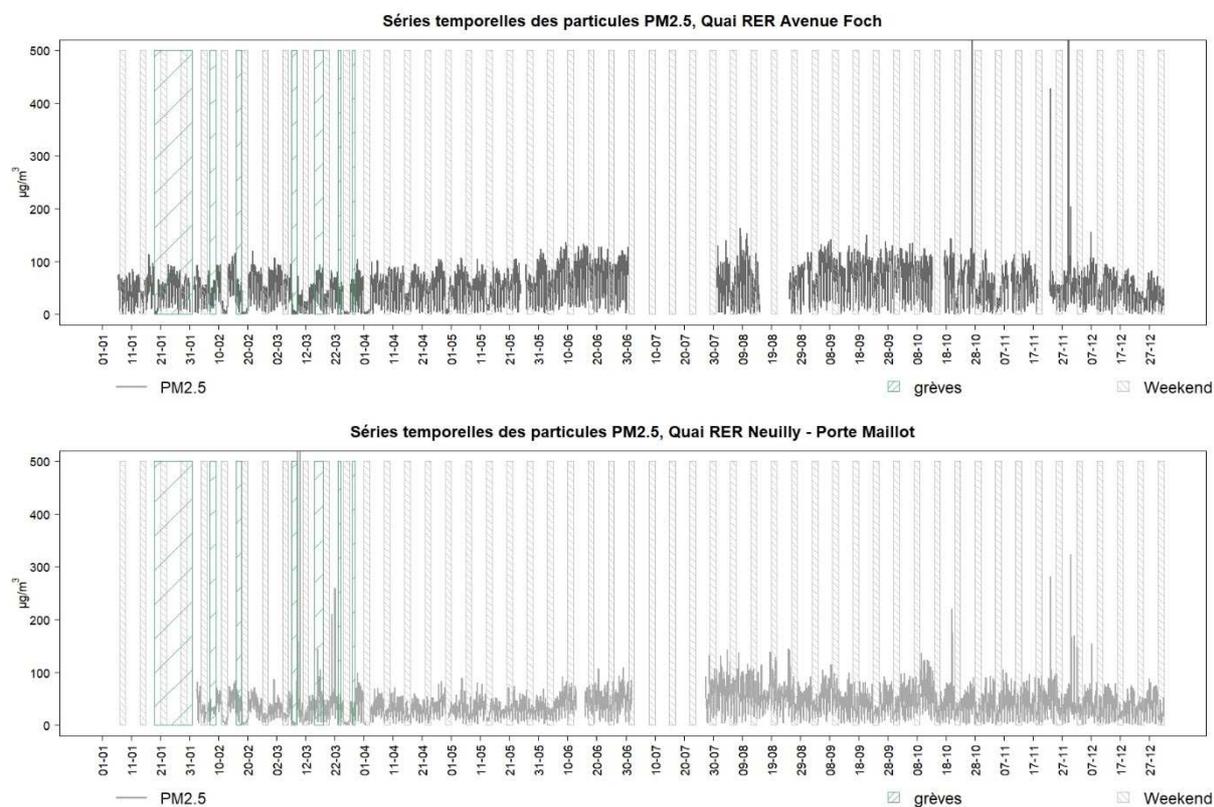


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 (zoom)

Le graphique montre des teneurs maximales horaires relativement homogènes sur l'année avec toutefois quelques pics atypiques très ponctuels.

Les maxima horaires sont majoritairement de l'ordre de 100 à 150 µg/m<sup>3</sup>. Très ponctuellement, des teneurs (7 heures, soit 0,08% à Avenue Foch, et 13 heures soit 0,15% à Neuilly-Porte Maillot environ des relevés disponibles) supérieures à 200 µg/m<sup>3</sup> ont été mesurées.

## 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

### 2.2.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne de l'ensemble des mesures, hors vacances scolaires de l'Île-de-France) est présenté en Figure 7.

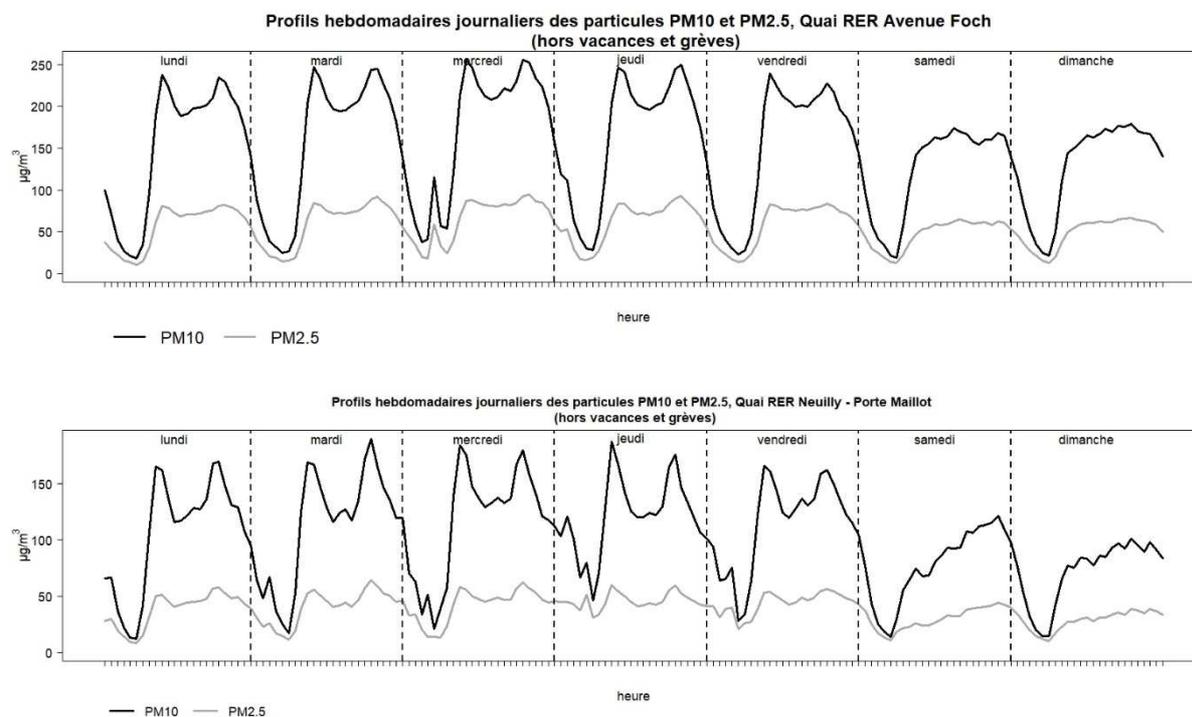


Figure 7 – Évolution des profils horaires en PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub> aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sur l'année 2023, hors vacances scolaires et grèves

Les fluctuations se manifestent par des variations durant les jours ouvrés, avec des niveaux plus bas pendant la nuit et une augmentation des concentrations pendant la journée, atteignant leur maximum aux heures de pointe du trafic ferroviaire. Les niveaux sont plus bas les samedis et dimanches, avec des concentrations en journée également plus stables par rapport aux jours de semaine.

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

Les profils hebdomadaires aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly – Porte Maillot sont présentés à la Figure 8 pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>.

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

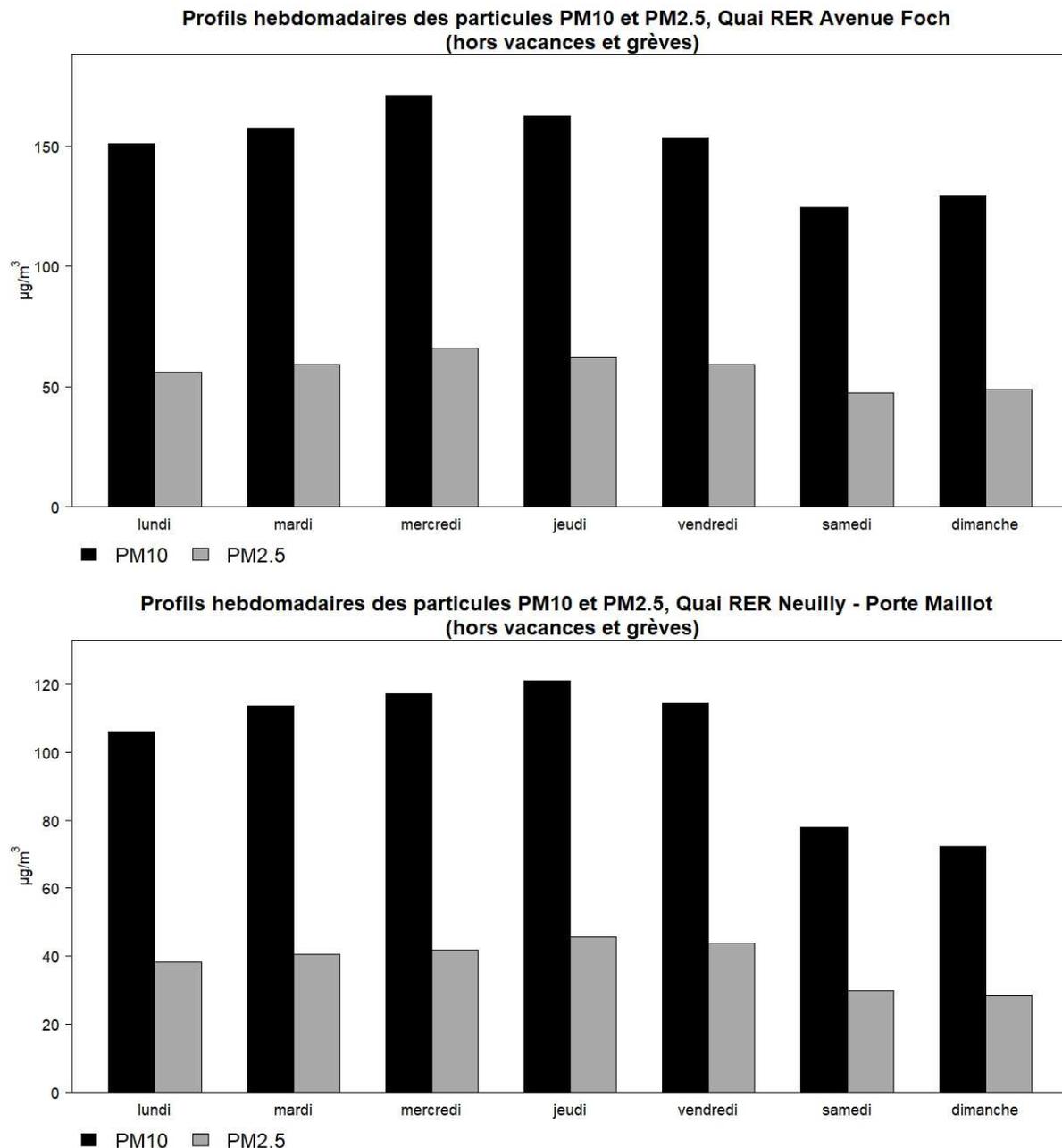


Figure 8 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> sur l'année 2023 aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly Porte Maillot, [hors vacances scolaires et grèves](#)

**Les niveaux moyens en particules** à la station Avenue Foch sont relativement stables les jours ouvrés : 159 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une journée pour les PM<sub>10</sub> et 61 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>2.5</sub>. Pour la gare Neuilly-Porte Maillot, le niveau moyen en PM<sub>10</sub> observé sur une journée ouvrée est de 114 µg/m<sup>3</sup> et de 42 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 pour les deux gares. Pour la gare Avenue Foch, la réduction est de 20% pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. Pour la gare de Neuilly-Porte Maillot, la baisse est plus importante, de 34% pour les PM<sub>10</sub> et 31% pour les PM<sub>2.5</sub>. Cette diminution s'explique par la

diminution du nombre de trains le week-end par rapport aux jours ouvrés, facteur d'influence sur les concentrations de particules.

La

Figure 9 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 gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.

Pour chacun des polluants, les dispersions des niveaux horaires pour les jours ouvrés sont relativement stables.

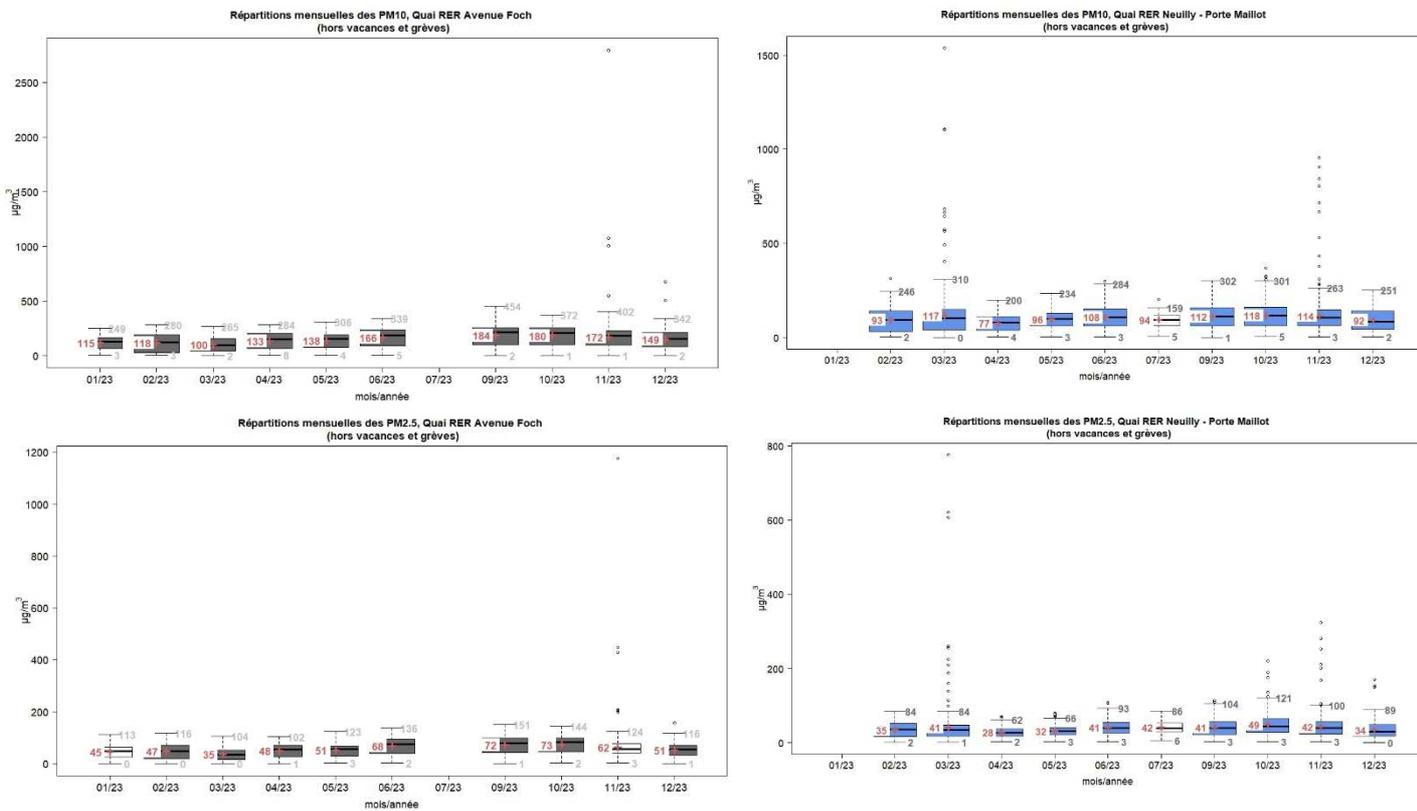


Figure 9 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, année 2023, hors vacances scolaires et grèves

## 2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Les profils journaliers moyens, présentés à la Figure 10, montrent les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés** (hors vacances scolaires) aux gares Avenue Foch et Neuilly – Porte Maillot.

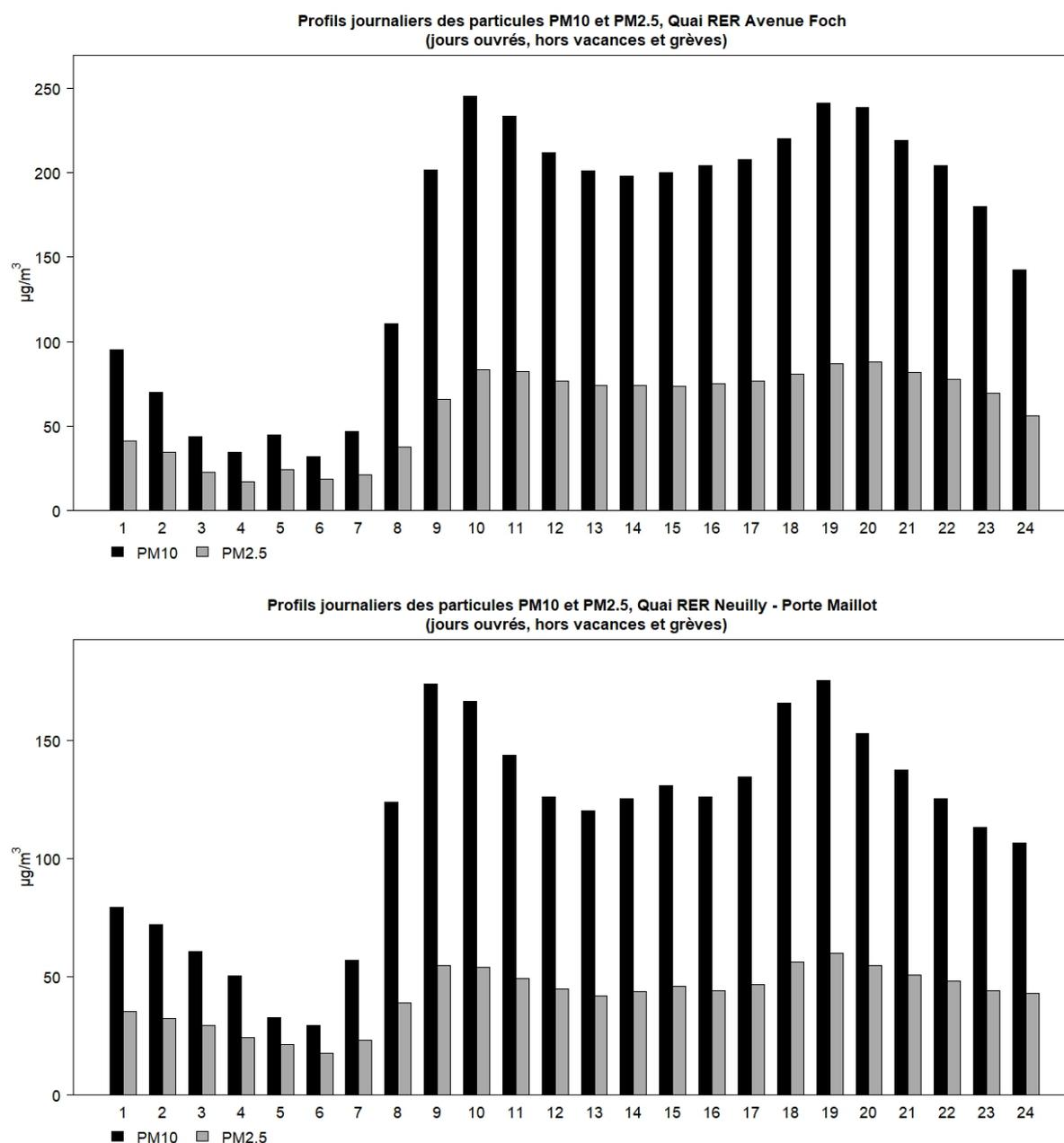


Figure 10 – Évolution des profils journaliers en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> en 2023 aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot - jours ouvrés hors vacances scolaires

**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 (9-12h) et le soir (18-21h). Les niveaux sur ces périodes de pointe sont en moyenne de 230 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 81 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> pour la gare Avenue Foch et respectivement 163 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 55 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> pour la gare de Neuilly-Porte Maillot.

Les niveaux les plus faibles dans les deux gares sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture des gares au public : en moyenne 61 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 29 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub> pour Avenue Foch et 65 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 31 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub> pour Neuilly-Porte Maillot. L'arrêt du trafic ferroviaire

la nuit permet le dépôt des particules ; par conséquent les minima sont enregistrés avant la reprise du trafic (6h).

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.

## 2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE

Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 11, résume les niveaux moyens en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> observés chaque mois de l'année 2023 (hors vacances scolaires et grèves).

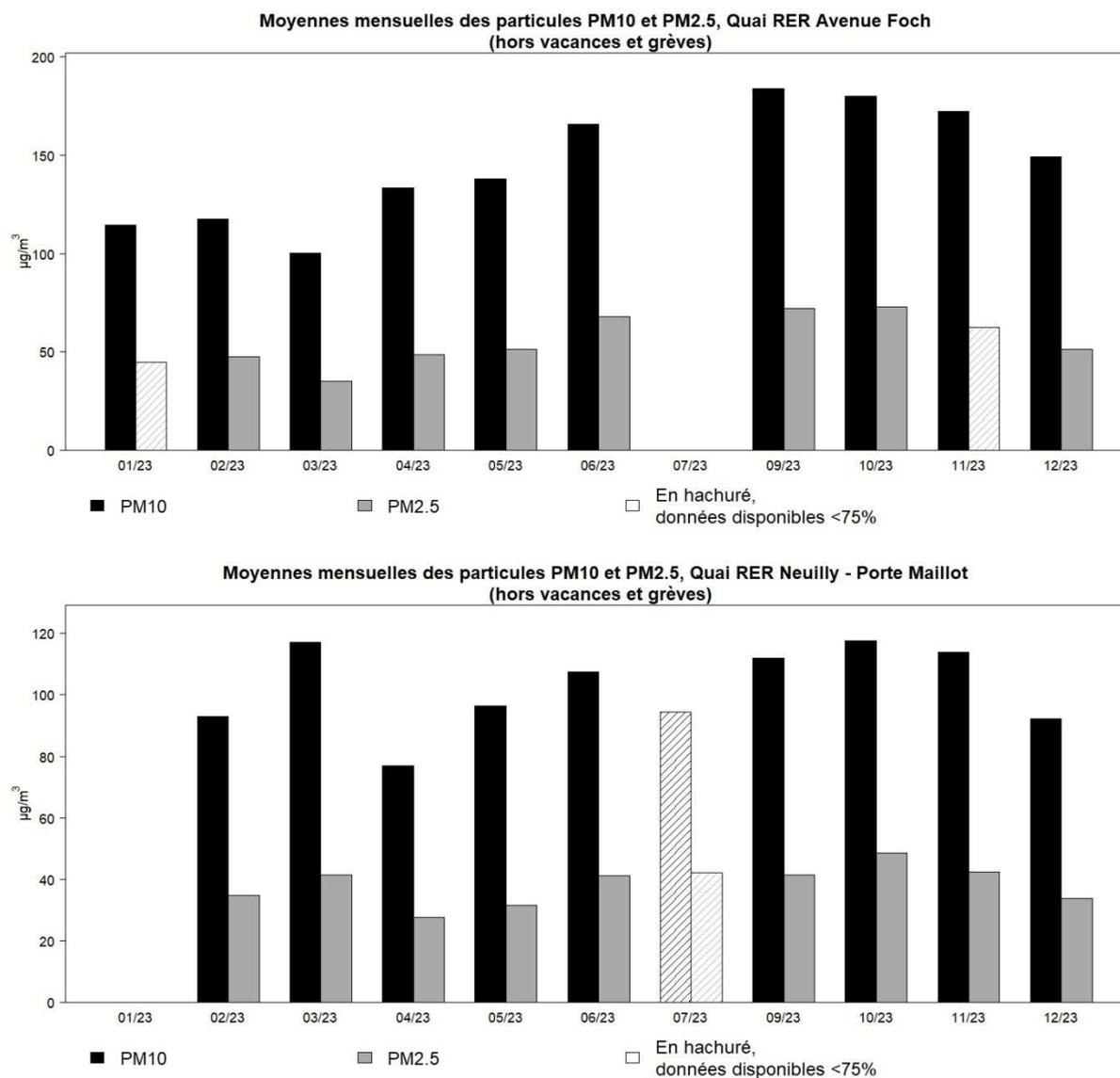


Figure 11 – Évolution des profils mensuels en PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, 2023 hors vacances scolaires et grèves

### Les particules PM<sub>10</sub> et les particules PM<sub>2.5</sub> présentent des variations mensuelles comparables.

Une forte fluctuation des concentrations de particules est observée à la gare RER C Avenue Foch : les niveaux les plus bas de concentrations de particules sont enregistrés en mars, avec une moyenne de 100 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 35 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>. Les niveaux les plus élevés sont relevés en septembre et octobre : 184 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> en septembre à Avenue Foch

et 73  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$  en octobre. En juillet, aucune donnée sur les particules fines n'est disponible car les analyseurs ont dû être nettoyés.

Les résultats en termes de variabilité mensuelle sont similaires à la gare RER C Neuilly-Porte Maillot. Le mois d'avril présente les concentrations mensuelles de particules les plus faibles, avec une moyenne de 77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$  et 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$ . Les concentrations mensuelles maximales sont enregistrées en octobre, avec 118  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$  et 49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$ .

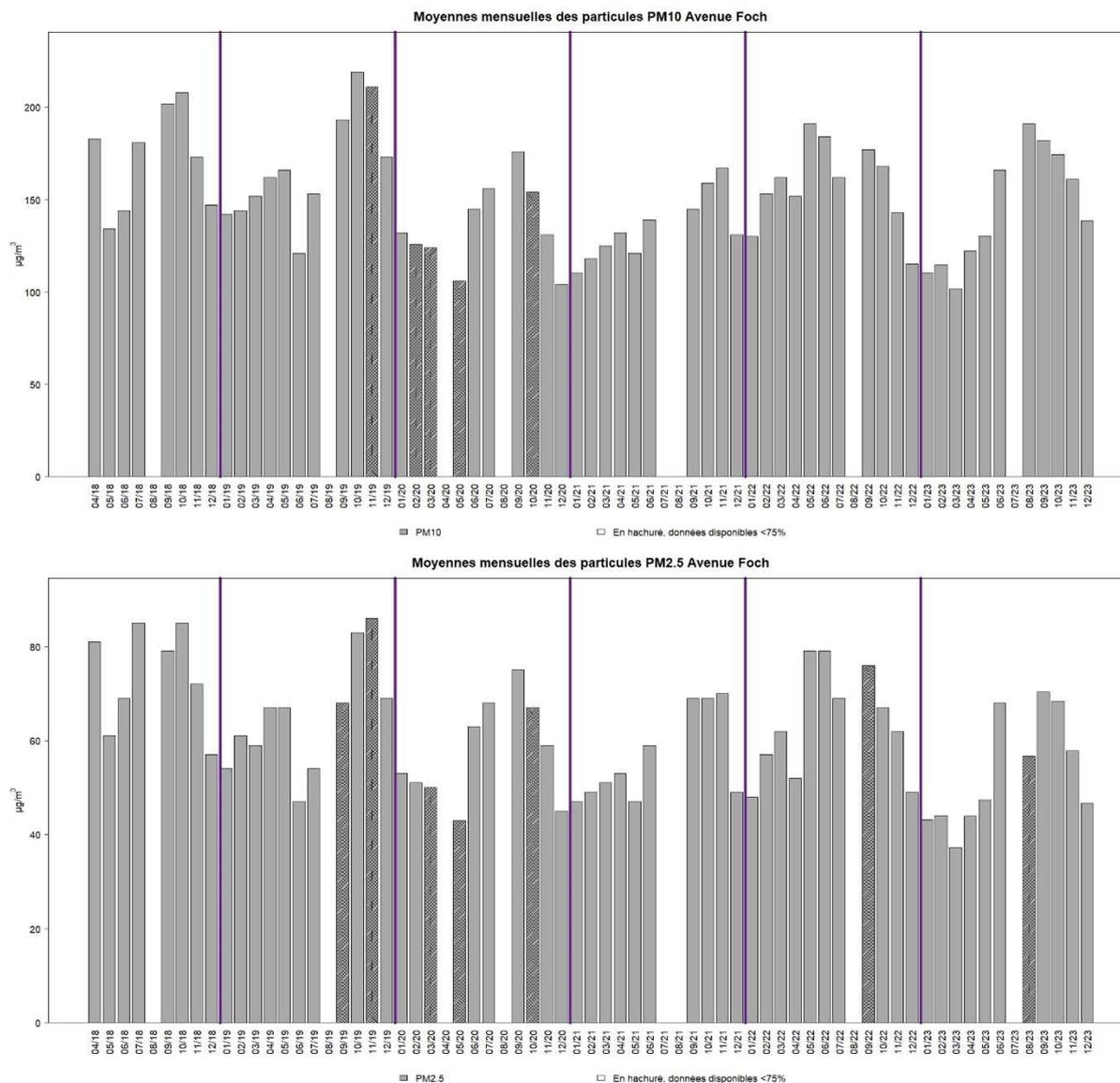


Figure 12 : Evolution des profils mensuels en particules  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$  à la gare RER C Avenue Foch– [hors vacances et grèves](#)

A la gare Avenue Foch, depuis le début des mesures (avril 2018), les particules  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$  présentent des évolutions mensuelles comparables. Les concentrations varient de manière importante (du simple au double), entre 101 à 219  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$  et de 37 à 86  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les particules  $\text{PM}_{2.5}$ . Une tendance semble se dessiner sur les niveaux moyens mensuels, à savoir des teneurs plus élevées en septembre et octobre et des niveaux plus faibles en hiver (janvier et décembre), notamment pour les particules  $\text{PM}_{10}$ .

## 2.2.5. VARIABILITE ANNUELLE

Les tableaux suivants présentent les statistiques des relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> depuis le début de la surveillance de la gare Avenue Foch en avril 2018.

**Concernant les particules, les niveaux relevés au cours de l'année 2023 sont en diminution par rapport à l'année précédente (2022).** Depuis 2018, seule l'année 2021 avait enregistré une moyenne annuelle en PM<sub>10</sub> inférieure à celle de 2023 (impact du covid). La moyenne annuelle en PM<sub>2,5</sub> à Avenue Foch est la plus faible depuis le début des mesures en 2018.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum horaire	0	0	0	0	0	1
Percentile 25 (P25)	83	86	65	61	62	61
Médiane ou Percentile 50	165	168	151	144	162	152
Moyenne horaire	<b>168</b>	<b>163</b>	<b>148</b>	<b>133</b>	<b>151</b>	<b>145</b>
Percentile 75 (P75)	241	229	216	192	222	212
Maximum horaire	1318	3278	518	1661	1243	2793
% de données horaires valides	90	94	87	80	81	90

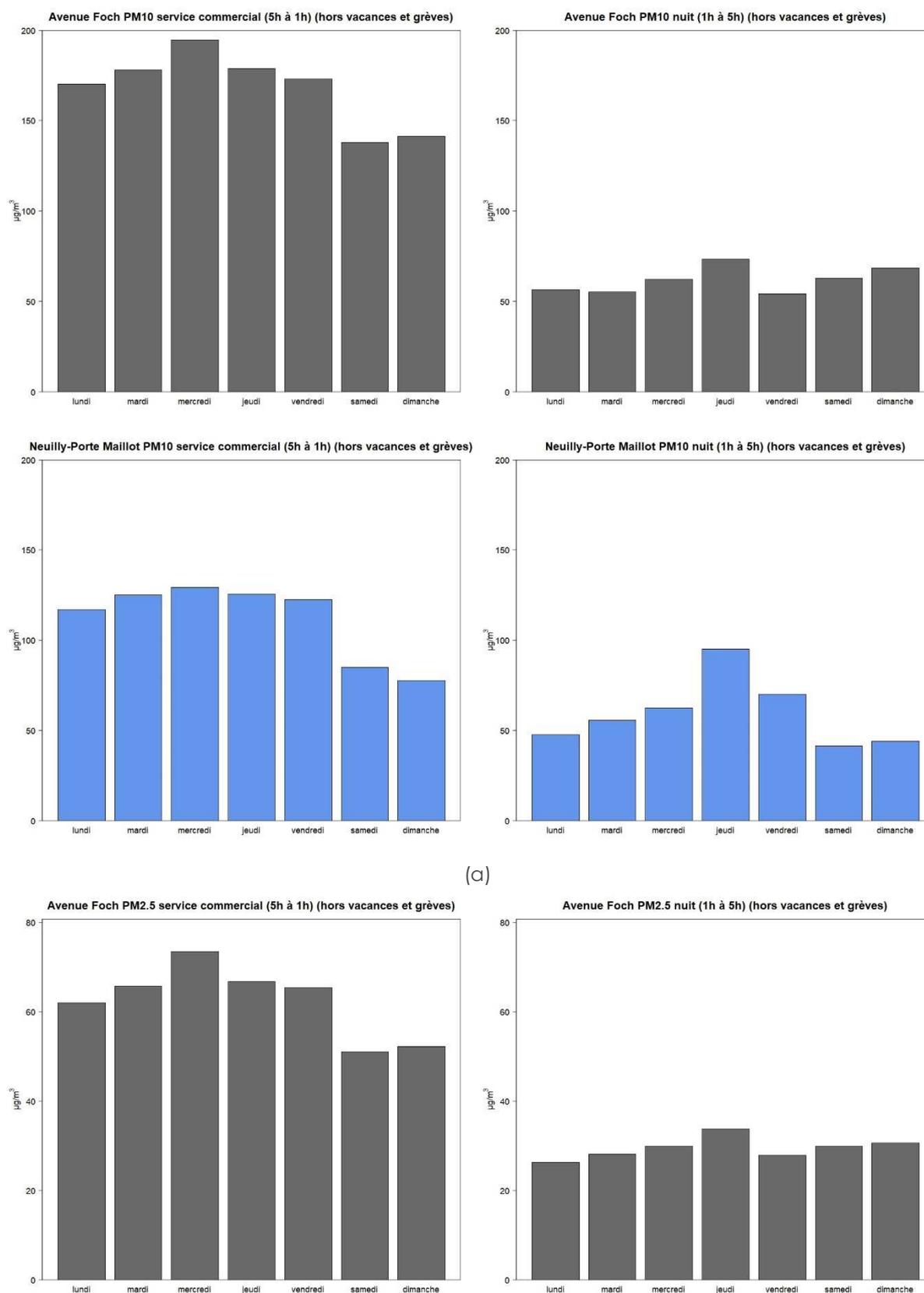
Tableau 2 : Statistiques des relevés horaires en PM<sub>10</sub> à la station de référence RER C Avenue Foch depuis 2018.

Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum horaire	5	5	0	0	0	0
Percentile 25 (P25)	45	40	30	30	31	26
Médiane ou Percentile 50	68	65	61	56	62	53
Moyenne horaire	<b>66</b>	<b>67</b>	<b>62</b>	<b>55</b>	<b>61</b>	<b>53</b>
Percentile 75 (P75)	87	87	88	76	87	75
Maximum horaire	324	973	316	2012	289	1177
% de données horaires valides	79	80	88	79	78	81

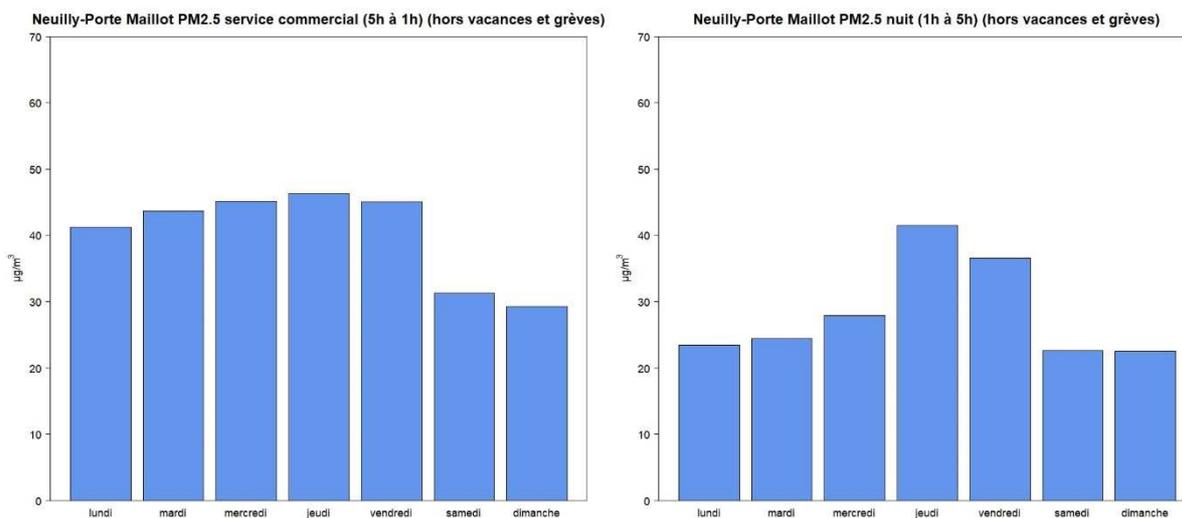
Tableau 3 : Statistiques des relevés horaires en PM<sub>2,5</sub> aux stations RER C Avenue Foch depuis 2018.

## 2.2.6. NIVEAUX JOURNALIERS EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 13 présente les moyennes journalières des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> lors du service commercial d'une part (de 5h à 1h, histogrammes de gauche) et pendant la nuit d'autre part (période de fermeture de la gare au public, histogrammes de droite).



(a)



(b)

Figure 13 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot en 2023) – hors vacances scolaires et grèves. 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 (sur 24h) : pour les PM<sub>10</sub>, en gare Avenue Foch, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 179 µg/m<sup>3</sup>, contre 159 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24h, soit un écart de 11 %. Pour Neuilly Porte-Maillot, un écart de 8% est observé, avec une moyenne sur les jours ouvrés lors du service commercial de 124 µg/m<sup>3</sup>, contre 114 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24h.

Concernant les PM<sub>2.5</sub>, pour Avenue Foch, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 67 µg/m<sup>3</sup>, contre 60 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24h, soit un écart de 10 %. Pour Neuilly-Porte Maillot, la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 44 µg/m<sup>3</sup>, contre 42 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur 24h, soit un écart de 6 %.

Ces écarts entre les moyennes en service commercial et les moyennes sur toute la journée s'expliquent par des teneurs en particules plus faibles la nuit, de façon 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 en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) sont plus faibles, la principale source de particules sur les quais étant la circulation des trains, limitée aux éventuels trains de travaux la nuit. Concernant les PM<sub>10</sub>, les concentrations nocturnes sont maximales les jeudis pour les gares Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot (respectivement 74 µg/m<sup>3</sup> et 95 µg/m<sup>3</sup>) et minimales les vendredis pour Avenue Foch (54 µg/m<sup>3</sup>) et samedis pour Neuilly-Porte Maillot (42 µg/m<sup>3</sup>). Les concentrations minimales en particules PM<sub>2.5</sub> sont les samedis et dimanches pour Neuilly-Porte Maillot (23 µg/m<sup>3</sup>) et les lundis pour Avenue Foch (26 µg/m<sup>3</sup>). Les maxims sont observés les jeudis pour Avenue Foch (34 µg/m<sup>3</sup>) et pour Neuilly-Porte Maillot aussi (41 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 gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare** (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 60 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 29 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> pour Avenue Foch et une moyenne de 66 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 31 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> pour Neuilly-Porte Maillot. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, à savoir lors des heures de pointe, entre 9 et 12h le matin et entre 18h et 21h le soir. Les concentrations sur le quai atteignent alors 230 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub> et 81 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> pour Avenue Foch et 163 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub> et 55 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> à Neuilly-Porte Maillot.

**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 en gare Avenue Foch est de 20 % pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Pour Neuilly-Porte Maillot, la baisse est de 34 % pour les PM<sub>10</sub> et 31 % 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>. Les minima et maxima des particules sont observés aux mêmes périodes : minima en mars, maxima en septembre et octobre pour Avenue Foch et concernant Neuilly-Porte Maillot, le minima est en avril et le maxima en octobre.

**Sur plusieurs années (depuis 2018), en gare d'Avenue Foch**, les niveaux en particules sont globalement en diminution, ceci malgré les baisses enregistrées au cours des années « covid ». La moyenne annuelle en PM<sub>2.5</sub> à Avenue Foch est la plus faible depuis le début des mesures en 2018.

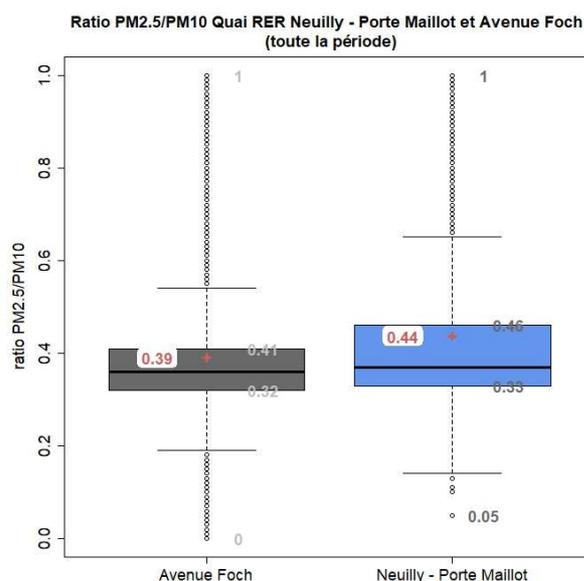
Enfin, **les concentrations sont plus importantes en service commercial** que sur une journée de 24h, de l'ordre de 11 % pour les PM<sub>10</sub> et 10% pour les PM<sub>2.5</sub> pour Avenue Foch. Concernant Neuilly-Porte Maillot, l'écart est de l'ordre de 8 % pour les PM<sub>10</sub> et de 6% pour les PM<sub>2.5</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> peut 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 gares Avenue Foch et Neuilly-



Porte Maillot est présenté à la Figure 14.

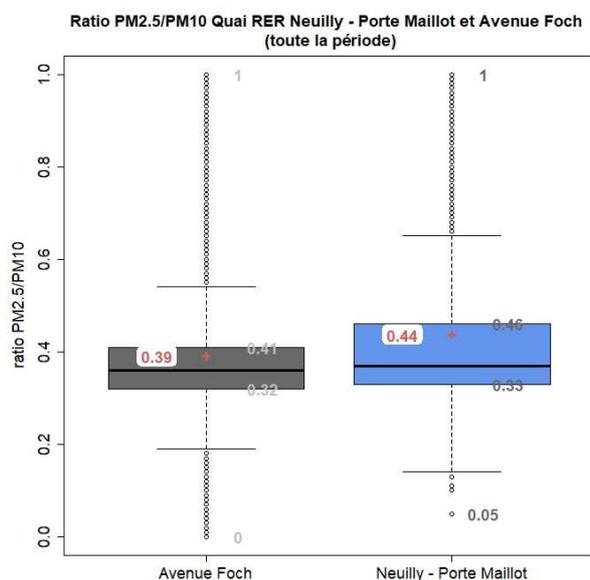


Figure 14 – Boîte à moustache des ratios horaires en PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023

En moyenne sur l'année 2023, le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est de 0,39 en gare RER C Avenue Foch et 0,44 en garer de Neuilly-Porte Maillot.

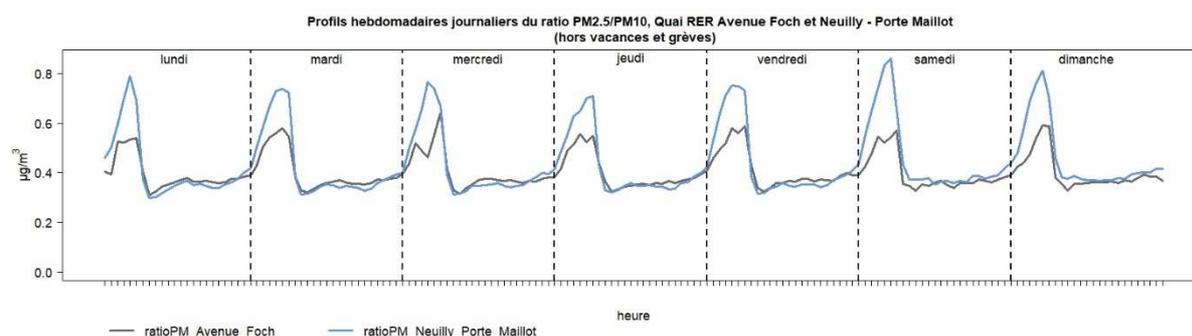
Les particules émises par le trafic ferroviaire sont de grosse taille, en lien avec les processus mécaniques de formation, tels que le freinage et les frottements entre les roues et les rails, ainsi

qu'avec leur remise en suspension, bien illustré par le ratio plus faible que celui observé en air extérieur, généralement autour de 0,7.

## 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 gares Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont présentées à la Figure 15.



Les ratios relevés aux gares Neuilly-Porte Maillot et Avenue Foch sont relativement stables et superposables entre les 2 gares en journée (autour de 0,4). Ils augmentent la nuit, atteignant 0,8 pour la première gare et 0,6 pour la seconde. Le ratio nocturne tend vers le ratio habituellement observé en air extérieur (0,7).

## 2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil moyen journalier (jours ouvrés) pour les gares Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot est présenté à la Figure 16.

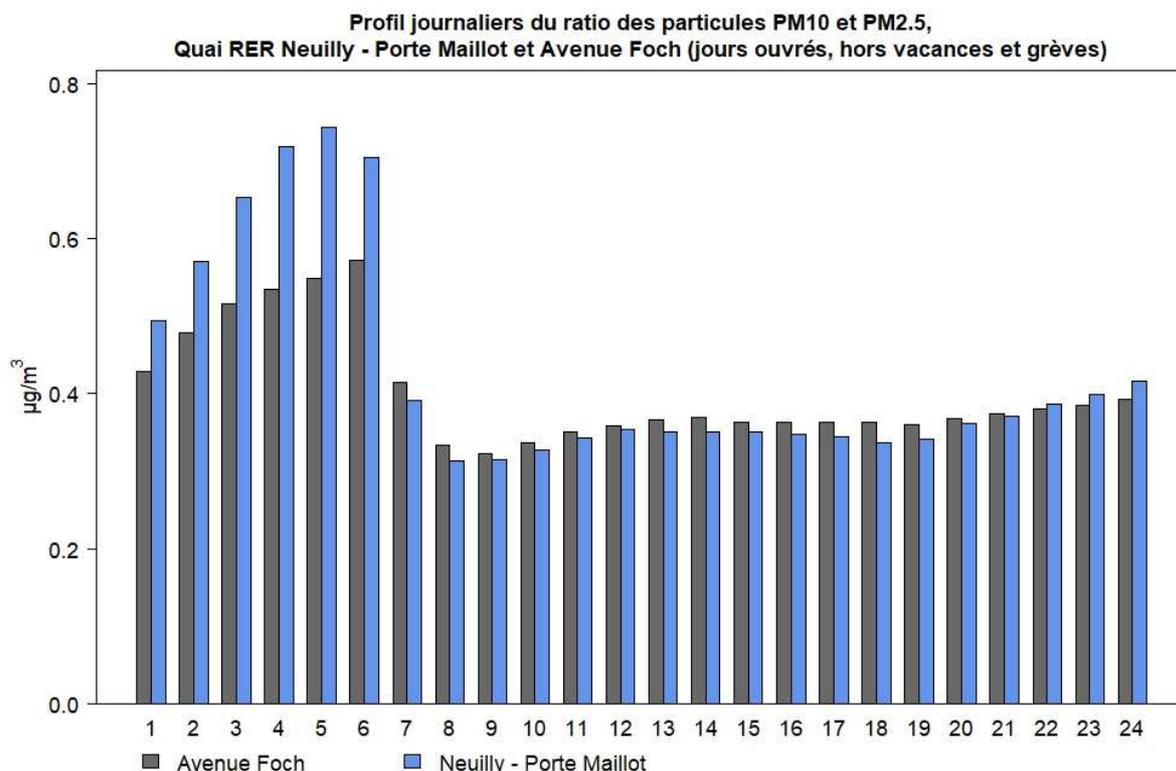


Figure 16 – Évolution du profil journalier du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 – jours ouvrés hors vacances scolaires hors grèves

Une stabilité des ratios en journée (de 8h à 24h) est observée en gare RER C Avenue Foch (moyenne à 0,4), comme en gare Neuilly-Porte Maillot. La nuit (entre 1h et 5h, lors de la fermeture des gares 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 (0,7 à 6h à la gare Neuilly-Porte Maillot).

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 17, résume les ratios moyens observés chaque mois en 2023, hors vacances scolaires, en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.

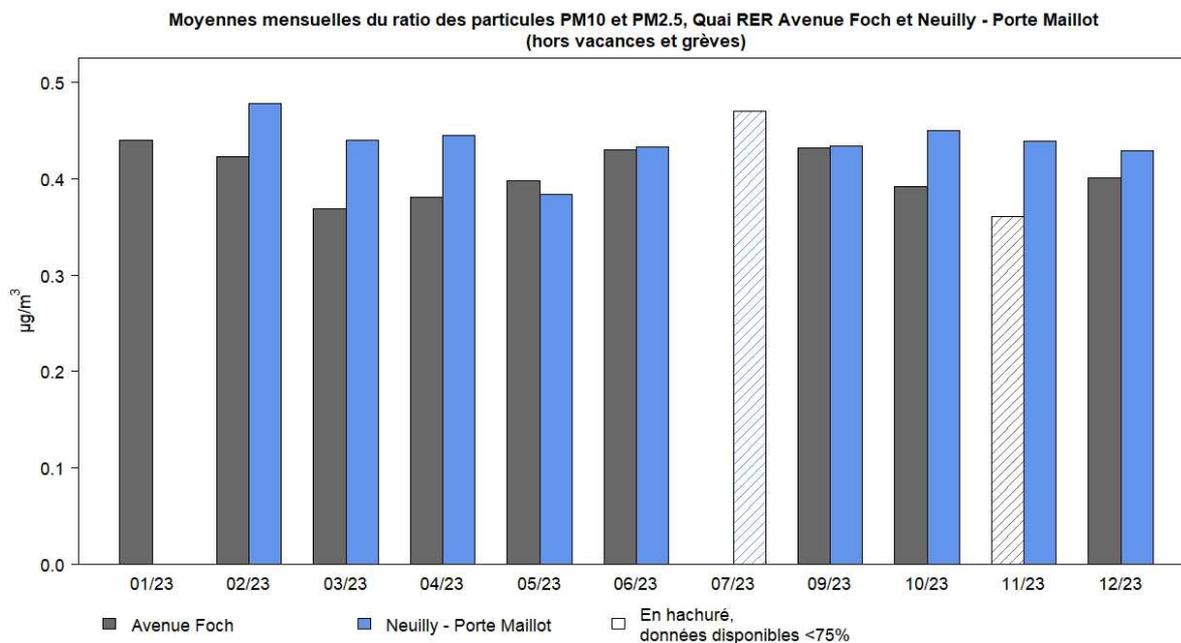
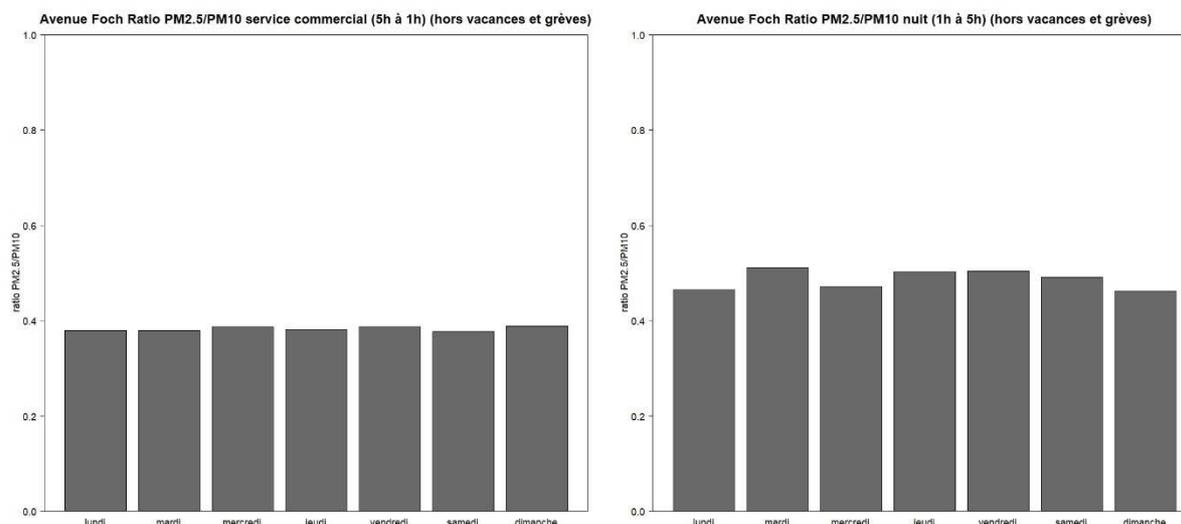


Figure 17 – Évolution du profil mensuel du ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> (a) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 – jours ouvrés hors vacances scolaires hors grèves

Les ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> présentent de faibles variations mensuelles. En gare RER C Avenue Foch, le mois de mars 2023 présente le ratio le plus faible (0,35 en moyenne), le maximum (0,43) ayant été observé en septembre. Concernant la gare Neuilly-Porte Maillot, le ratio le plus faible (0,38) est observé en mai, et le maximum (0,49) en février.

### 2.3.5 NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

La Figure 18 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) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.



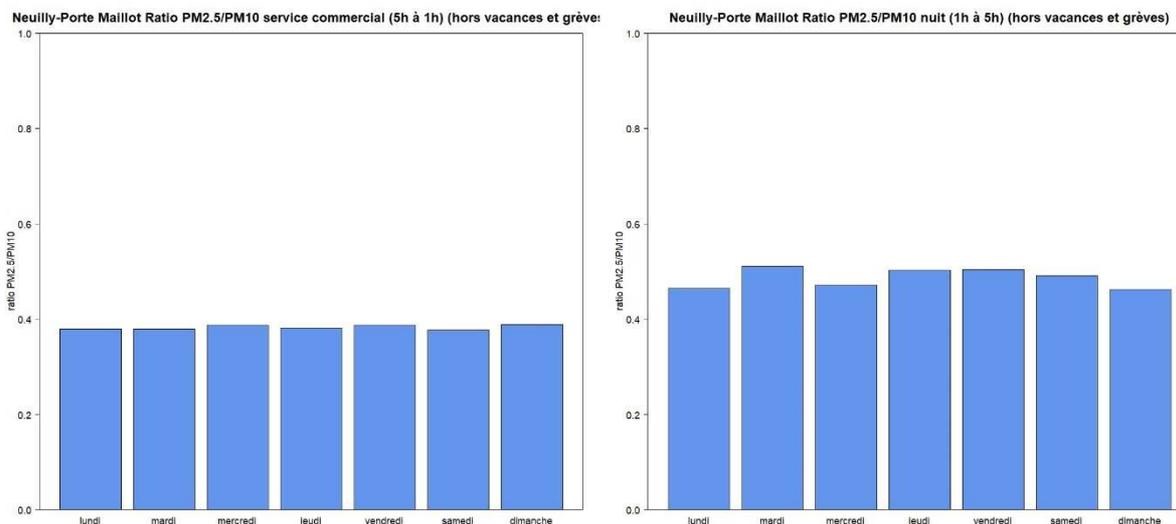


Figure 18 – Évolution des profils hebdomadaires du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  aux gares RER C Avenue Foch et Neully-Porte Maillot, en 2023 – hors vacances scolaires hors grèves. Service commercial à gauche, Nuit à droite

**Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est stable les jours ouvrés lors du service commercial, avec des ratios proches de 0,4**, aussi bien en semaine que le week-end pour les 2 gares. **Les ratios nocturnes sont un peu plus élevés, autour de 0,5** et ils sont constants la semaine comme le week-end. Cela s'explique par la baisse des concentrations en particules (en particulier  $PM_{10}$ ) la nuit, lors de l'arrêt de circulation des trains, principale source de particules de grosse taille.

### 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 Avenue Foch en avril 2018.

Statistiques ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum horaire	0,04	0	0,03	0,02	0	0
Percentile 25 (P25)	0,38	0,35	0,38	0,38	0,36	0,32
Médiane ou Percentile 50	0,42	0,39	0,43	0,42	0,4	0,36
Moyenne horaire	<b>0,47</b>	<b>0,43</b>	<b>0,48</b>	<b>0,49</b>	<b>0,47</b>	<b>0,39</b>
Percentile 75 (P75)	0,49	0,44	0,5	0,5	1	0,41

Maximum horaire	1	1	1	1	1	1
% de données horaires valides	89	88	85	79	77	81

Tableau 4 : Statistiques des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  en gare RER C Avenue Foch depuis 2018 et Neuilly-Porte Maillot en 2023

Les ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  varient peu depuis 2018, entre 0,43 au minimum 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 0,39 en gare RER C Avenue Foch en 2023 et 0,44 en gare RER C Neuilly-Porte Maillot.**

**A l'échelle journalière**, les ratios sont stables en journée (entre 0,32 et 0,36 entre 8h et 24h) et en hausse la nuit (entre 0,37 et 0,52 en moyenne pour Avenue Foch et entre 0,36 et 0,7 à Neuilly-Porte Maillot), en lien avec les sources de particules  $PM_{10}$  relativement moins importantes (pas de circulation commerciale) que celles des particules très fines  $PM_{2.5}$ .

**A l'échelle hebdomadaire**, peu de variations sont observées. Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est équivalent le week-end par rapport à celle de la semaine.

**A l'échelle mensuelle**, il y a également peu de variations, les ratios moyens variant de 0,39 à 0,49.

## 2.4 NOMBRE DE PARTICULES (MESURES PAR COMPTAGES OPTIQUES – FIDAS)

### 2.4.1 NIVEAUX MOYENS

Les principaux résultats statistiques (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) des mesures de comptages optiques de particules (mesure du nombre des particules avec un diamètre compris entre 180 nm et 18 µm) sur l'année 2023 sont présentés dans le tableau suivant, pour les gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot,

Statistiques	Nombre de particules (de 180 nm à 18 µm), Part/cm <sup>3</sup>	
	RER C – Avenue Foch	RER C – Neuilly-Porte Maillot
Minimum horaire	0	13
Percentile 25 (P25)	154	133
Médiane ou Percentile 50	231	189
Moyenne	<b>253</b>	<b>233</b>
Percentile 75 (P75)	314	271
Maximum horaire	5071	8421
% de données horaires valides	78	69

Tableau 5 : Statistiques des relevés horaires des comptages optiques du nombre de particules (entre 180 nm et 18 µm) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, année 2023.

En moyenne sur la période de mesure, environ 253 particules par centimètre cube ont été relevées en gare Avenue Foch, contre 233 en gare Neuilly-Porte Maillot. Le maximum horaire relevé à la gare Neuilly-Porte Maillot est supérieur à celui relevé à la gare Avenue Foch (8421 contre 5071 particules/cm<sup>3</sup>).

Les boîtes à moustaches des relevés horaires de comptage optique aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont présentées à la Figure 19.

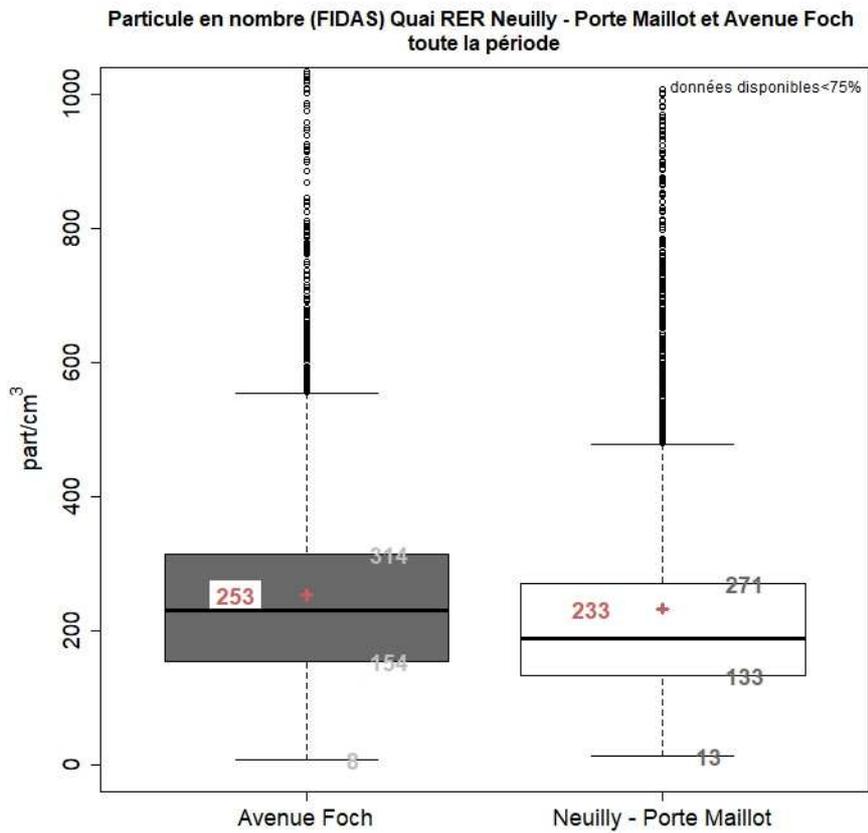


Figure 19 – Boîtes à moustaches des relevés horaires du comptage optique (en particules/cm<sup>3</sup>) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot en 2023.

Les deux boîtes à moustaches des relevés horaires en particules comprises entre 180 nm et 18 µm montrent des répartitions équilibrées malgré quelques valeurs atypiques.

## 2.5 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LES QUAIS : CO<sub>2</sub>, Humidité et Température

La surveillance des niveaux de CO<sub>2</sub> est essentielle pour contrôler la qualité de l'air et la ventilation à l'intérieur de la gare, en particulier dans les zones susceptibles d'être affectées par diverses sources de CO<sub>2</sub> telles que la combustion et la respiration humaine. Les paramètres de température ambiante et d'humidité ont également été pris en compte dans cette étude. Ils sont mesurés en continu en gare d'Avenue Foch, et ponctuellement à Neuilly-Porte Maillot.

Les relevés journaliers en température, humidité et teneurs en CO<sub>2</sub> à la gare Avenue Foch sont présentés à la Figure 20.

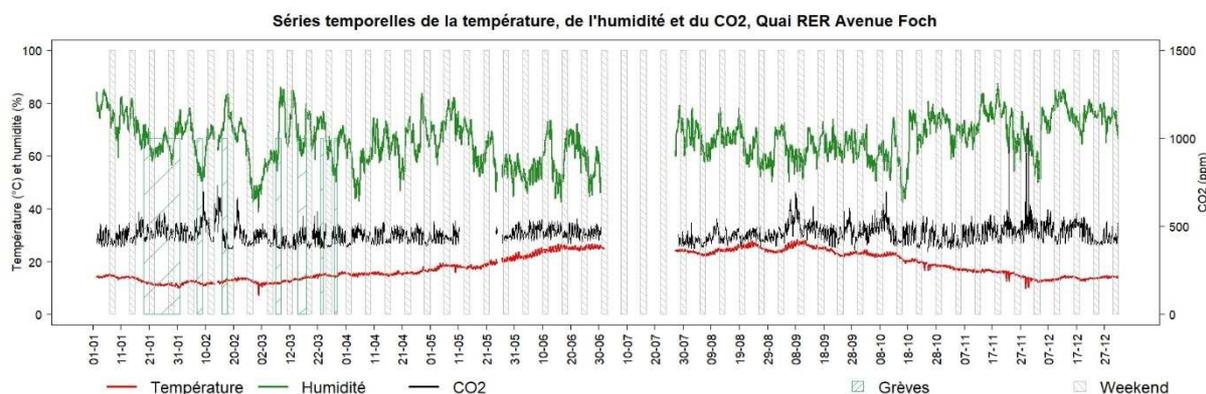


Figure 20 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C Avenue Foch, en 2023

Sur l'ensemble de la période étudiée (année 2023), la **température** moyenne en gare RER C Avenue Foch est de 18°C. Les relevés horaires ont varié entre 7 et 28°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 66 % en 2023.

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 de 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 453 ppm, et les relevés horaires ont varié entre 357 ppm et 1090 ppm (maximum enregistré la nuit).

## 2.6 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

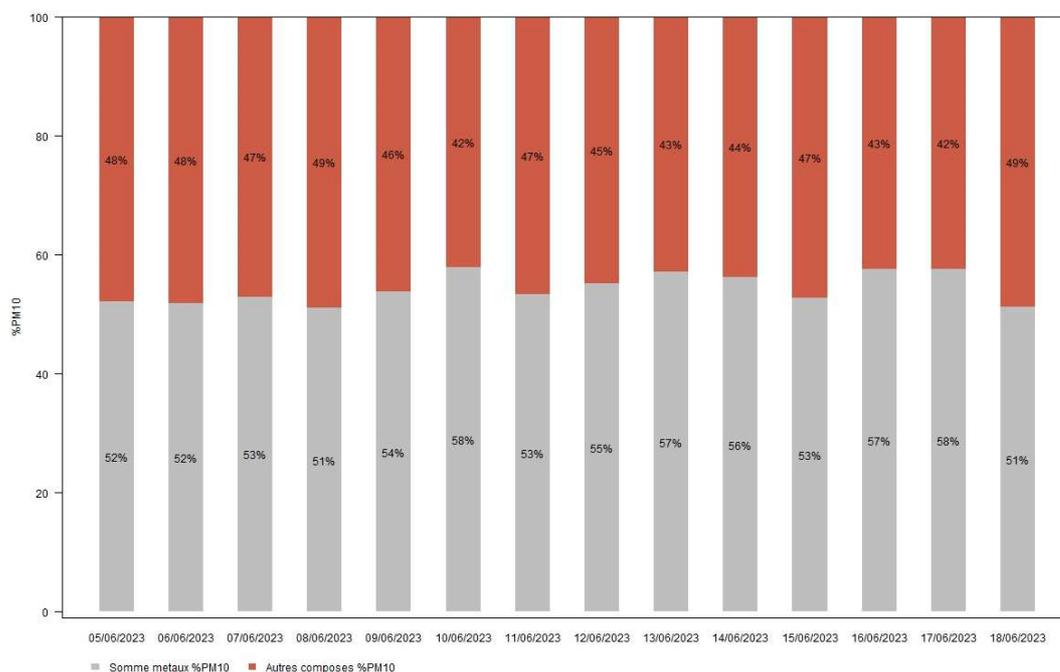
De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les poussières minérales. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes ferroviaires souterraines, notamment des systèmes de freinage<sup>2</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>. Des mesures ont été réalisées du 5 au 18 juin 2023 en gare Avenue Foch, et du 5 au 11 juin 2023 en gare Neuilly-Porte Maillot. Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h, chaque jour.

**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>2</sup> et en cohérence avec les recommandations nationales de réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines<sup>3</sup>.

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

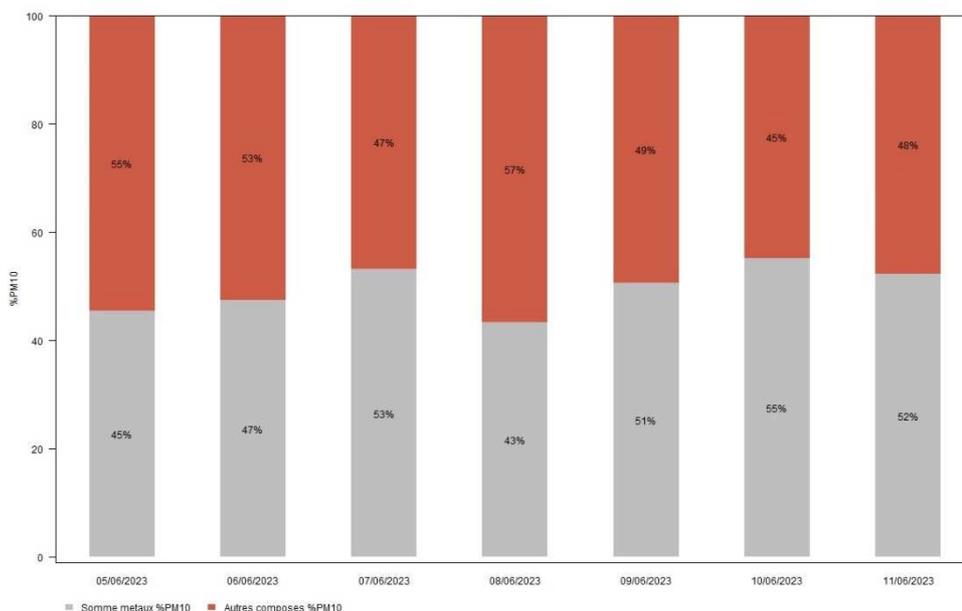
Les graphiques suivants (Figure 21) montrent la part de l'ensemble des métaux mesurés parmi les particules PM<sub>10</sub>, pour chaque journée de mesure en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.



(a)

<sup>2</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>3</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)



(b)

Figure 21 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> (en % de particules PM<sub>10</sub>) et évolution des relevés journaliers (concentrations en µg/m<sup>3</sup>) sur les périodes de prélèvement de l'année 2023, aux gares RER C Avenue Foch (a) et Neuilly-Porte Maillot (b)

Sur l'ensemble des données disponibles (14 journées de mesure), en **gare Avenue Foch**, les concentrations en métaux varient de 72 µg/m<sup>3</sup> (le dimanche 18 juin) à 133 µg/m<sup>3</sup> (le vendredi 16 juin). 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 51 % (le jeudi 08 juin) à 58 % (les samedis 10 et 17 juin) à la gare RER C Avenue Foch. Elle est **en moyenne de 54 %**.

En **gare de Neuilly-Porte Maillot**, les concentrations en métaux varient de 38 µg/m<sup>3</sup> (le lundi 5 juin) à 72 µg/m<sup>3</sup> (le vendredi 9 juin). 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 43 % (le jeudi 8 juin à Neuilly-Porte Maillot) à 55 % (le samedi 10). Elle est **en moyenne de 49 %**.

## 2.6.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 22) représente la répartition moyenne des composés mesurés au cours des différentes périodes de prélèvements de l'année 2023 (14 jours disponibles).

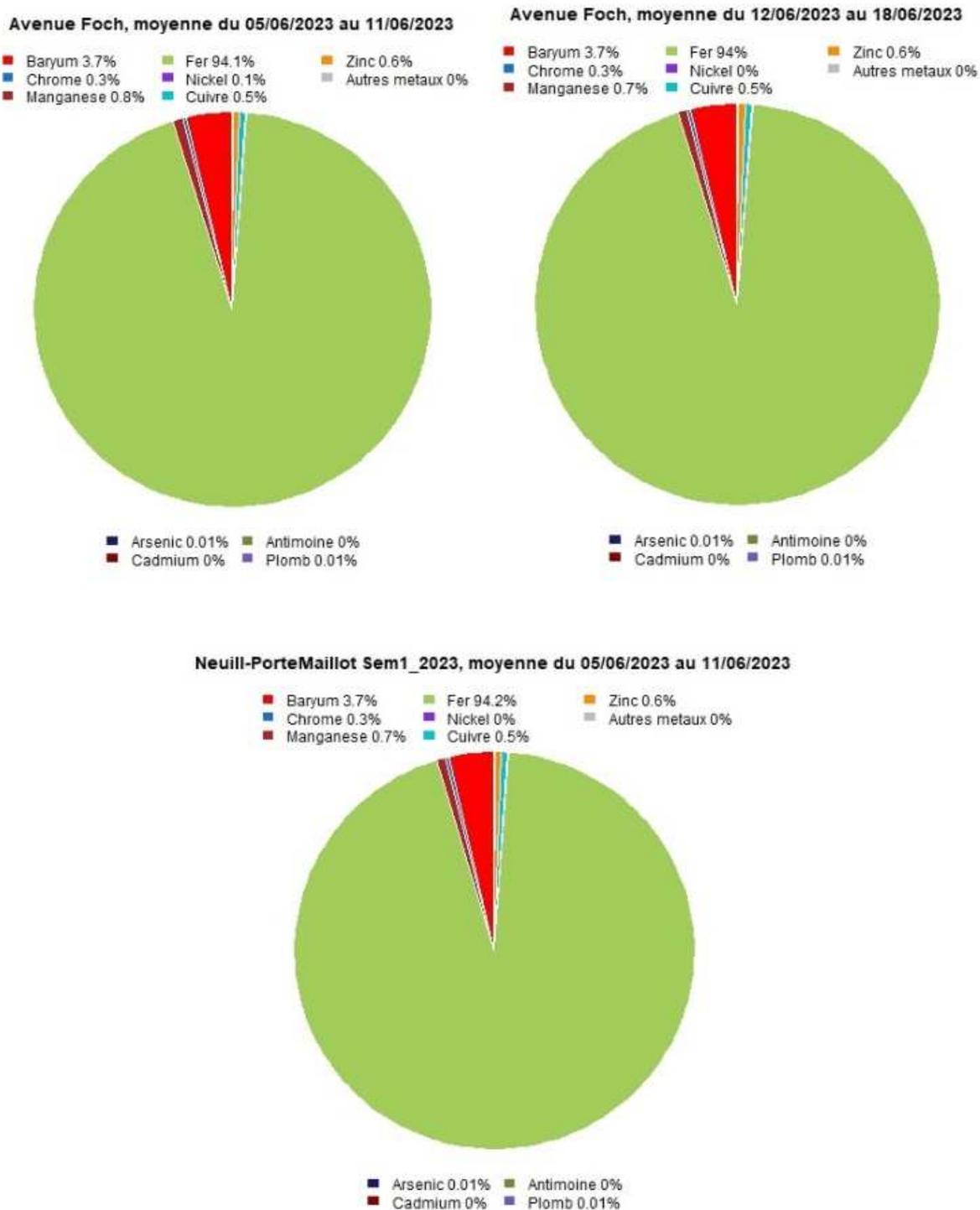


Figure 22 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne des mesures réalisées en 2023, en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot

Parmi les onze métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente en moyenne sur la période de mesure 94 % des métaux mesurés à Avenue Foch et à Neuilly-Porte Maillot.

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 en moyenne 3,7 % pour le Baryum, 0,8 % pour le Manganèse et 0,6 % pour le Zinc (même proportion pour les deux gares). Vient ensuite le **Cuivre**, qui représente en moyenne 0,5 % des métaux mesurés dans les particules PM<sub>10</sub>.

Les proportions de ces métaux dans les particules PM<sub>10</sub> peuvent varier selon les jours, mais ils restent relativement stables.

Le **Chrome** représente en moyenne 0,3 % des métaux mesurés dans les particules PM<sub>10</sub>.

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 Avenue Foch, en avril 2018. Les données de la gare Neuilly-Porte Maillot de 2023 ont été ajoutées à titre indicatif.

Métaux	2018 (20 jours de mesures)	2019 (12 jours de mesures)	2020 (10 jours de mesures)	2021 (21 jours de mesures)	2022 (21 jours de mesures)	2023 (14 jours de mesures)	2023 Neuilly-Porte Maillot (7 jours de mesures)
Aluminium	1,1 %	0,7 %	1,0 %	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré
Antimoine	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Arsenic	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Baryum	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	3,5 %	3,6 %	3,7 %	3,7 %
Cadmium	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Chrome	0,4 %	0,3 %	0,4 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %	0,3 %
Cuivre	0,7 %	0,5 %	0,7 %	0,7 %	0,6 %	0,5 %	0,5 %
Fer	96 %	97 %	96 %	94 %	94 %	94,1 %	94,2 %
Manganèse	0,8 %	0,8 %	0,9 %	0,8 %	0,8 %	0,8 %	0,7 %
Nickel	0,1 %	0,1 %	0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	0,1 %	< 0,1 %
Plomb	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %	< 0,1 %
Zinc	0,9 %	0,6 %	1,0 %	0,8 %	0,8 %	0,6 %	0,6 %

Tableau 6 : Evolution de la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> depuis 2018 à la gare RER C Avenue Foch et en 2023 à la gare RER C Neuilly-Porte Maillot

Les principales sources de pollution dans les enceintes ferroviaires souterraines comprennent :

- Les émissions générées lors du freinage, où des composés tels que le manganèse, le fer, le chrome, le plomb, le cuivre, le nickel, l'antimoine et le baryum peuvent être présents dans les semelles de frein.
- Les émissions issues du roulage, où les principaux composés proviennent des rails et des roues, notamment le fer, le chrome, le nickel et le manganèse.

La principale source de fer dans ces enceintes provient de l'usure des rails due à la friction lors du freinage et de la circulation des trains. Le cuivre est présent dans les câbles d'alimentation et est émis lors du contact entre le matériel roulant et les caténaires. Il se retrouve également dans les semelles de frein, contribuant ainsi à la pollution lors des freinages.

Les concentrations de ces composés métalliques observées sont cohérentes avec les sources identifiées et les données de la littérature. Les études bibliographiques réalisées dans les réseaux ferroviaires français (à l'exception du réseau francilien) mettent en évidence le fer comme étant l'élément dominant en termes de concentrations, suivi du cuivre, du zinc, de l'antimoine et du manganèse.

Les résultats obtenus à l'échelle des grandes villes dans le monde entier mettent également en évidence la présence de baryum, de nickel et de chrome. Ainsi, les observations faites dans le réseau ferroviaire francilien sont cohérentes avec les tendances observées dans des environnements similaires à travers le monde.

### 2.6.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 23) présente les concentrations journalières observées pour le Fer (14 jours de mesures) à la gare Avenue Foch et à la gare Neuilly-Porte Maillot (7 jours de mesures). Les relevés journaliers pour chacun des autres métaux sont présentés en Annexe 4.

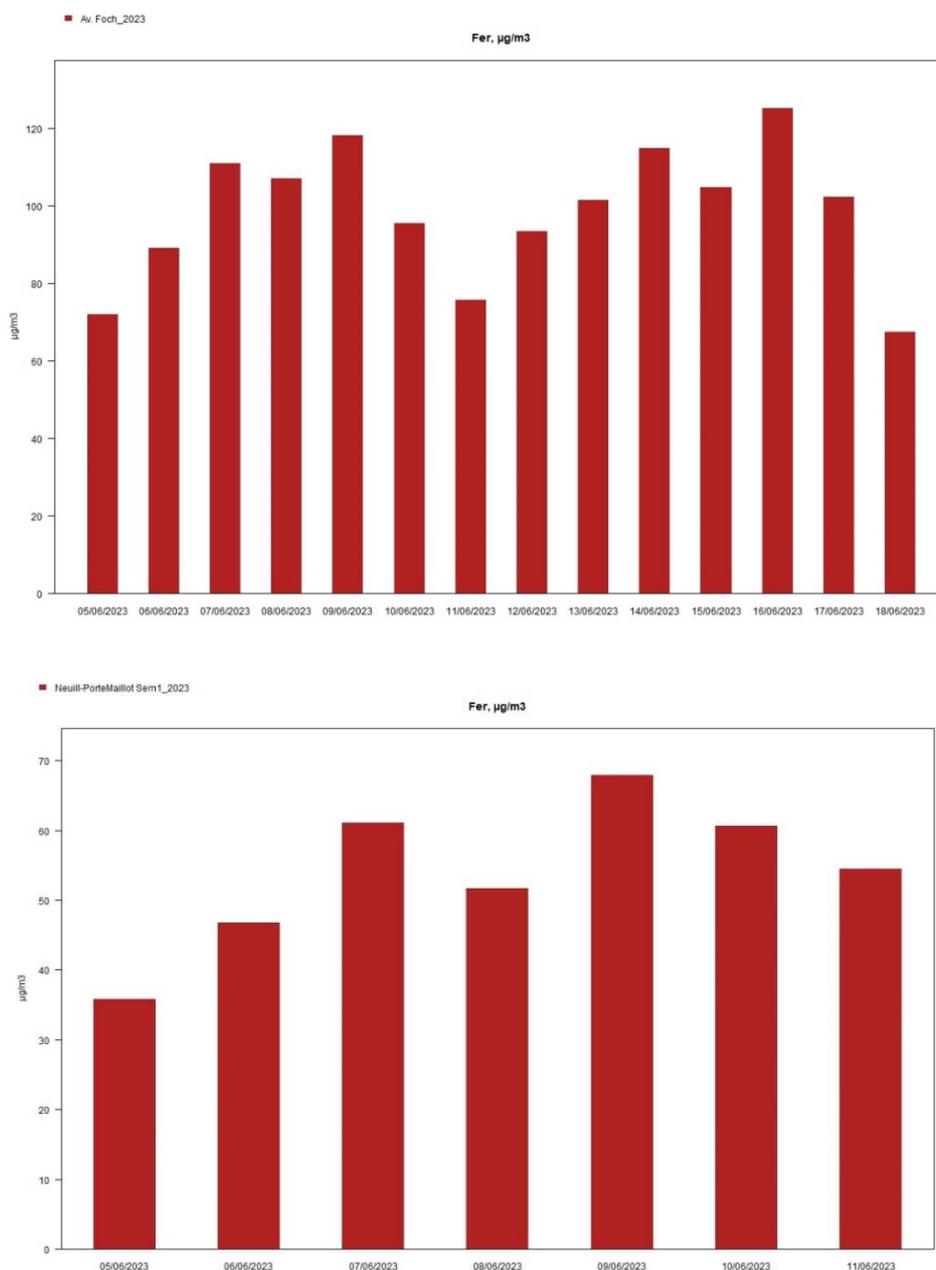


Figure 23 – Relevés journaliers en Fer (en µg/m³) aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, 2023

Les teneurs en **Fer** en gare RER C Avenue Foch ont varié au cours des différentes journées de mesures de 67 µg/m<sup>3</sup> le 18 juin (dimanche), à 125 µg/m<sup>3</sup> le 16 juin (vendredi). Concernant la gare Neuilly-Porte Maillot, les teneurs journalières ont varié de 36 µg/m<sup>3</sup> le 5 juin (lundi), à 68µg/m<sup>3</sup> le 9 juin (vendredi).

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. La variabilité temporelle observée sur le Fer pendant les journées de mesure se retrouve sur les autres métaux mesurés.

Cinq métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines à milliers de ng/m<sup>3</sup>. Il s'agit du **Cuivre, Zinc, Manganèse, Chrome et du Baryum**.

Les concentrations journalières en **Baryum** ont varié de 2 714 à 4 908 ng/m<sup>3</sup>, et de 1 485 à 2 795 ng/m<sup>3</sup> respectivement à la gare Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.

Les teneurs journalières en **Zinc, Cuivre et Manganèse** sont du même ordre de grandeur. Les teneurs en **Zinc** varient de 395 à 901 ng/m<sup>3</sup> (moyenne de 624 ng/m<sup>3</sup>) à la gare Avenue Foch et de 230 à 391 ng/m<sup>3</sup> (moyenne de 316 ng/m<sup>3</sup>) à Neuilly-Porte Maillot. Concernant le **Cuivre** varient de 362 à 690 ng/m<sup>3</sup> en gare d'Avenue Foch, et de 208 à 346 ng/m<sup>3</sup> à Neuilly-Porte Maillot, pour une moyenne respective de 505 ng/m<sup>3</sup> et 271 ng/m<sup>3</sup>. Les teneurs **Manganèse** varient de 537 à 1092 ng/m<sup>3</sup> pour une moyenne de 785 ng/m<sup>3</sup> à Avenue Foch, et de 284 à 497 ng/m<sup>3</sup> à Neuilly-Porte Maillot, la moyenne étant de 401 ng/m<sup>3</sup>.

Les concentrations journalières en **Chrome** à l'Avenue Foch sont plus faibles, entre 225 à 421 ng/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 336 ng/m<sup>3</sup>. Les teneurs sont plus faibles en gare de Neuilly-Porte Maillot : entre 122 à 220 ng/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 176 ng/m<sup>3</sup>.

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers varient respectivement pour la gare Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot :

- Entre 33 et 164 ng/m<sup>3</sup> pour le Nickel<sup>4</sup>, pour une moyenne de 54 ng/m<sup>3</sup>, et entre 18 et 31 ng/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 25 ng/m<sup>3</sup>
- Entre 3 et 9 ng/m<sup>3</sup> pour le Plomb<sup>4</sup>, pour une moyenne de 7 ng/m<sup>3</sup>, pour les deux gares
- Entre 1 et 5 ng/m<sup>3</sup> (à Avenue Foch) pour l'Antimoine<sup>4</sup>, pour une moyenne de 2 ng/m<sup>3</sup> et 1.36 ng/m<sup>3</sup> sur les 7 jours de mesures en gare de Neuilly-Porte Maillot
- Entre 4 et 13 ng/m<sup>3</sup> pour l'Arsenic<sup>4</sup>, pour une moyenne de 6 ng/m<sup>3</sup> en gare Avenue Foch et entre 3 et 4 ng/m<sup>3</sup> en gare de Neuilly-Porte Maillot, pour une moyenne de 3 ng/m<sup>3</sup>
- Pour le Cadmium<sup>4</sup>, les relevés journaliers sont tous inférieurs au seuil de détection (0.27 ng/m<sup>3</sup>).

Le tableau suivant présente les concentrations moyennes en métaux relevées depuis le début de la surveillance aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.

---

<sup>4</sup>4 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.

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)	2022 (21 journées de mesures)	2023 (14 jours de mesures)	2023 Neuilly-Porte Maillot (7 jours de mesures)
Aluminium	989	960	820	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré
Antimoine	4	4	5	7	2	< LD	< LD
Arsenic	9	15	12	6	5	6	3
Baryum	Non mesuré	Non mesuré	Non mesuré	3 010	3 229	3 885	2 114
Cadmium	0.27	0.27	0.27	2.15	0.27	0.27	0.27
Chrome	366	453	324	282	293	336	176
Cuivre	677	680	564	608	538	505	271
Fer	93 416	129 353	75 500	80 766	83 702	98 337	54 055
Manganèse	787	1 020	744	647	682	785	401
Nickel	56	71	44	37	38	54	25
Plomb	24	18	154	43	5	10	10
Zinc	843	857	780	718	664	624	317

Tableau 7 : Concentrations moyennes en métaux (ng/m<sup>3</sup>) aux gares RER C Avenue Foch (relevées depuis avril 2018) et Neuilly-Porte Maillot ; LD : Limite de Détection

Les concentrations en métaux évoluent peu au fil des années. Les teneurs en 2023 sont très proches de celles de 2022.

### 3. INFLUENCE DU TRAFIC EN 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, aucune influence de changement de ventilation, au cours des mesures, n'a pu être étudiée.

Le **nombre de trains circulant** par heure en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot a été transmis par la SNCF Gares & Connexions sur l'ensemble de l'année 2023. Les 2 gares se succédant sur la ligne C du RER, le nombre de train est le même pour les 2 gares.

En moyenne, 175 trains circulent en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot durant les jours ouvrés, contre 143 trains les samedis et les dimanches. Les chiffres sont présentés en Figure 24.

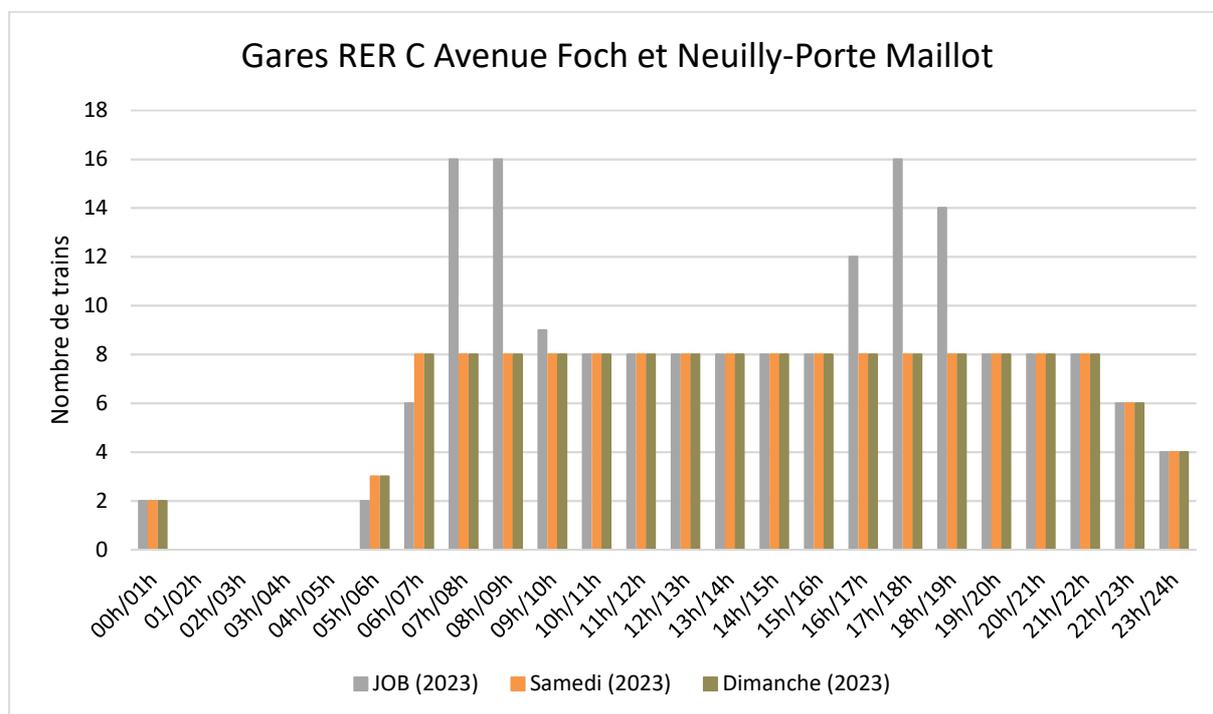


Figure 24 – Nombre de trains enregistrés chaque heure en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot en 2023

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 gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot.

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.

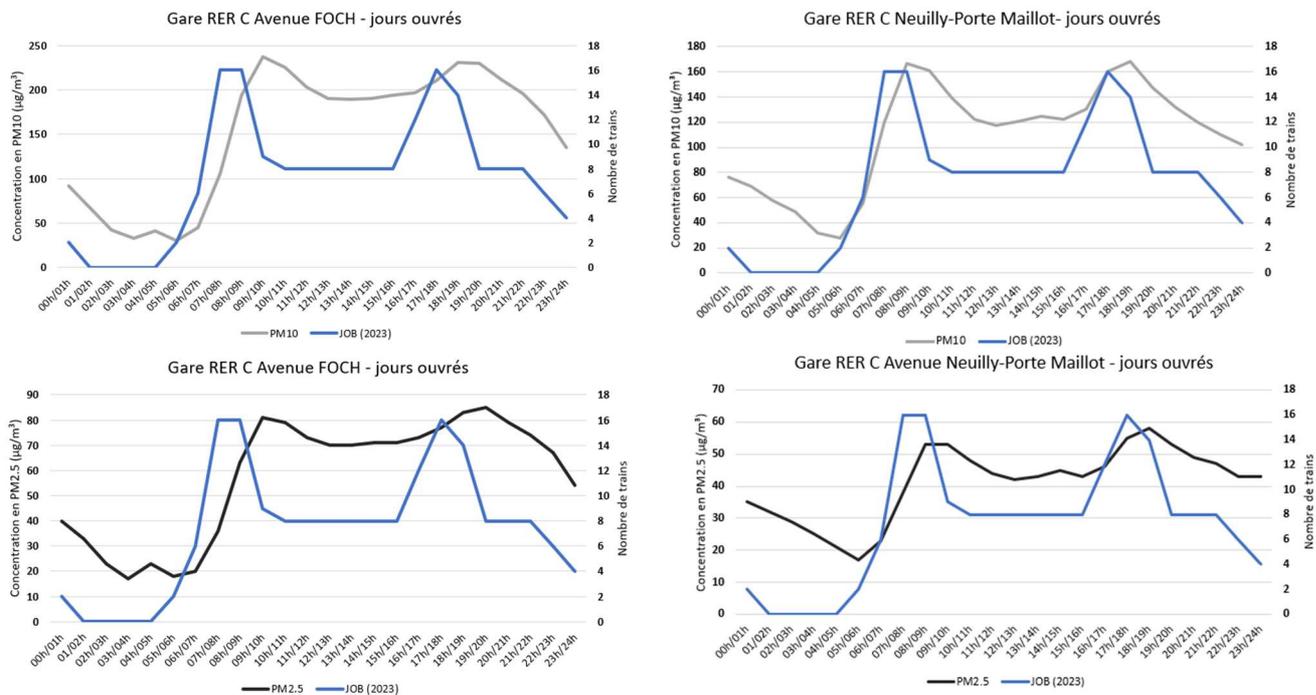


Figure 25 – Teneurs en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et nombre de trains en circulation (jours ouvrés) en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot en 2023

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 26. Les teneurs observées en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>) sont liées au nombre de trains en circulation.

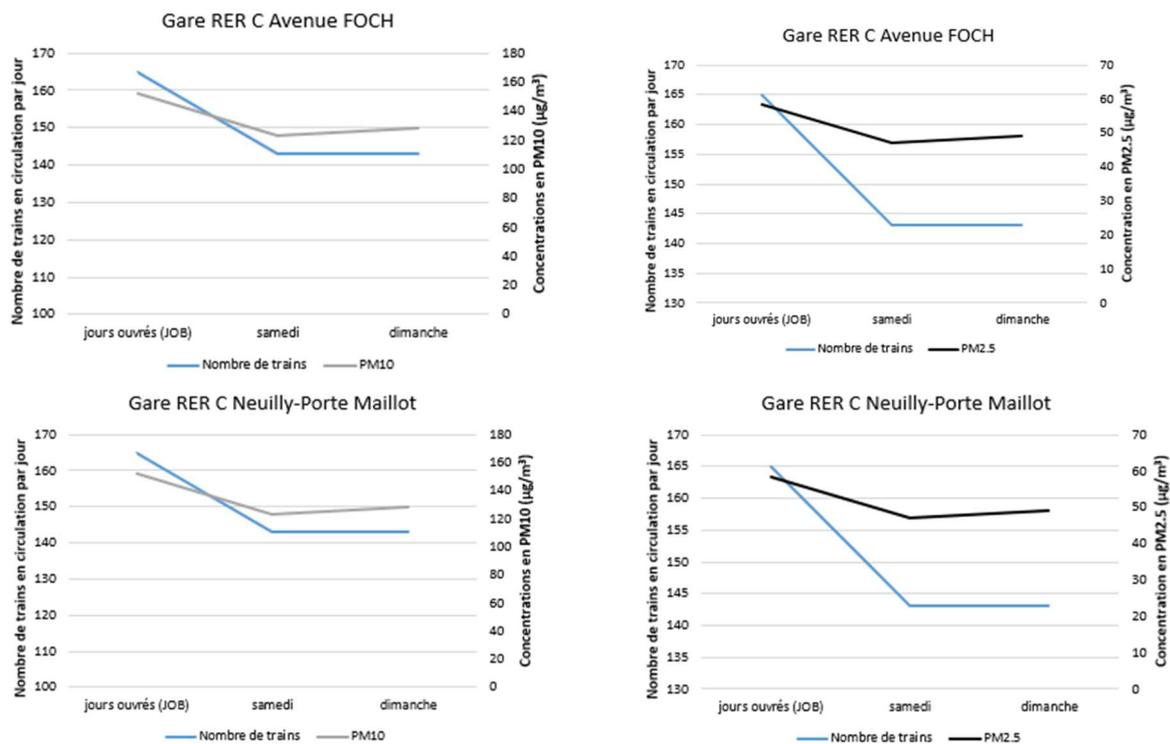


Figure 26 : Teneurs en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot

**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.

## 4. CONCLUSION

Ce rapport présente les niveaux de pollution observés en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sur l'ensemble de l'année 2023. Avenue Foch est une gare qui bénéficie d'un suivi en continu mis en place dans le cadre du partenariat entre Airparif et SNCF Gares & Connexions depuis avril 2018. A noter que les mesures ont été suspendues en juillet, pour que les analyseurs soient nettoyés. Les mesures réalisées en gare de Neuilly-Porte Maillot sont ponctuelles, réalisées dans le cadre de de tests de systèmes de dépollution à venir.

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 C Avenue Foch** au cours de l'année 2023 **sont en moyenne de 145 µg/m<sup>3</sup>**, le maximum horaire atteint étant de 2793 µg/m<sup>3</sup> enregistré le mercredi 29 novembre entre 4h et 5h. Concernant la gare **RER C Neuilly Porte-Maillot**, les niveaux moyens de PM<sub>10</sub> s'établissent à **101 µg/m<sup>3</sup>**, avec un pic horaire maximal de 1538 µg/m<sup>3</sup> enregistré le vendredi 10 mars entre 3h et 4h du matin.
- **Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2.5</sub> sont de 53 µg/m<sup>3</sup> en gare RER C Avenue Foch**, pour un maximum horaire de 1177 µg/m<sup>3</sup>, observé le mercredi 29 novembre entre 4h et 5h (pic simultané pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>). Pour la gare RER C **Neuilly-Porte Maillot**, les concentrations moyennes sont de **38 µg/m<sup>3</sup>**, avec un maximum horaire de 776 µg/m<sup>3</sup>, également enregistré le vendredi 10 mars entre 3h et 4h du matin (pic simultané pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>).

La répartition mensuelle montre des fluctuations dans des proportions similaires en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Les mois de mars et avril présentent les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> les plus faibles, tandis que les mois de septembre et octobre présentent les niveaux moyens en particules les plus élevés.

L'évolution des profils hebdomadaires montre des concentrations plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours ouvrés : la baisse des niveaux moyens en gare Avenue Foch le week-end par rapport aux jours ouvrés est de 20 % pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. En gare RER C Neuilly-Porte Maillot, la diminution est de 34 % pour les PM<sub>10</sub> et 31 % pour les PM<sub>2.5</sub>.

Les profils journaliers montrent des concentrations minimales la nuit, lors de la période de fermeture de la gare. Les teneurs sont maximales lors des pointes du matin (9-12h) et du soir (18-21h). Les concentrations sont plus importantes en service commercial que sur une journée de 24h, de l'ordre de 10 % pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> pour Avenue Foch. Concernant Neuilly-Porte Maillot, l'écart est de de 8 % pour les PM<sub>10</sub> et de 6% pour les PM<sub>2.5</sub>.

La part des **métaux** dans les **particules PM<sub>10</sub>**, suivie périodiquement à la gare RER C Avenue Foch (14 journées de mesures), est en moyenne de 54 %. Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 94 % de la masse des métaux mesurés. Suivent ensuite le **Baryum** (3,7 %), le **Manganèse** (0,8 %), le **Zinc** (0,6 %), le **Cuivre** (0,5%) et le **Chrome** (0,3 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine, Plomb et Nickel sont négligeables. Concernant Neuilly-Porte Maillot (7 jours de mesures), la part des métaux est en moyenne de 49%, les proportions en métaux sont très proches. Les proportions de ces métaux dans les particules PM<sub>10</sub> peuvent varier selon les jours, mais ils restent relativement stables.

**Concernant les particules, les niveaux relevés au cours de l'année 2023 en gare d'Avenue Foch sont en diminution par rapport à l'année précédente (2022).** Les niveaux annuels de 2023 restent inférieurs à ceux de 2018, 2019 et 2020.

**La circulation ferroviaire est un paramètre d'influence important des concentrations en particules sur le quai de la gare.**

# ANNEXES

## Annexe 1

### Éléments techniques de la gare Avenue Foch (RER C)

#### **Configuration de la gare :**

Pas de correspondance.

Un quai central encadré de 2 voies.

Pas de portes palières

**Ventilation** : Naturelle

#### **Fréquentation de la gare (chiffres 2023) :**

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 1 107 par jour (source SNCF)

Nombre de trains/jour ; 175 les jours ouvrés, 143 le samedi et le dimanche

#### **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 :**

Travaux CASTOR pendant l'été 2023 : pas de fermeture de la gare au public

Des grèves contre la réforme des retraites ont perturbé le trafic ferroviaire pendant 14 jours (entre mi-janvier et fin mars 2023).

# Éléments techniques de la gare Neuilly - Porte Maillot (RER C)

## **Configuration de la gare :**

Pas de portes palières

**Ventilation** : Naturelle

## **Fréquentation de la gare :**

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 5 459 par jour (source SNCF)

Nombre de trains/jour ; 175 les jours ouvrés, 143 le samedi et le dimanche

## **Caractéristiques du matériel roulant :**

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

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

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

## **Conditions de circulation pendant la campagne :**

Travaux CASTOR pendant l'été 2023 : pas de fermeture de la gare au public

Des grèves contre la réforme des retraites ont perturbé le trafic ferroviaire pendant 14 jours (entre mi-janvier et fin mars 2023).

## Annexe 2

### 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.

#### 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>5</sup> et particules fines (PM<sub>2,5</sub>) ont été mesurées par analyseurs automatiques.

### MESURE DE COMPTAGE OPTIQUE (en particules/cm<sup>3</sup>) :

Le **FIDAS 200** est un granulomètre optique délivrant des mesures de granulométrie en nombre de particules en suspension. La mesure est basée sur la détection de la lumière diffusée par les aérosols, pour déterminer leur taille et leur nombre par classe de taille. L'échantillon d'air ambiant est aspiré au niveau d'une tête de prélèvement sans diamètre de coupure, c'est-à-dire laissant passer les particules totales en suspension ; il passe ensuite dans une ligne de prélèvement chauffée, technique qui permet de s'affranchir des problèmes liés à l'humidité. Le FIDAS 200 mesure des concentrations en nombre pour les particules comprises entre 0.18 et 18 µm (soit 180 - 18 000 nm) de diamètre, selon 64 classes de taille. Il fournit donc des données de granulométrie en nombre, c'est-à-dire un nombre de particule par unité de volume (nb part/cm<sup>3</sup>) pour chacune des 64 classes de taille. Le FIDAS convertit le diamètre optique mesuré en diamètre aérodynamique.



### 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>6</sup>.

Afin d'être conforme aux pratiques existantes dans les enceintes souterraines, les prélèvements de métaux sont réalisés pendant plusieurs jours ouvrés (14 jours en gare d'Avenue Foch, 7 jours en gare de Neuilly-Porte Maillot), entre le passage du 1er train (environ 5h) et celui du dernier train (environ 1h).

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES<sup>2</sup> dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

<sup>5</sup> Mesures des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> selon la norme NF EN 12341 par FDMS (Filter Dynamics Measurement System : 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 FDMS , en prenant en compte la norme NF EN 12341.

<sup>6</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

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.

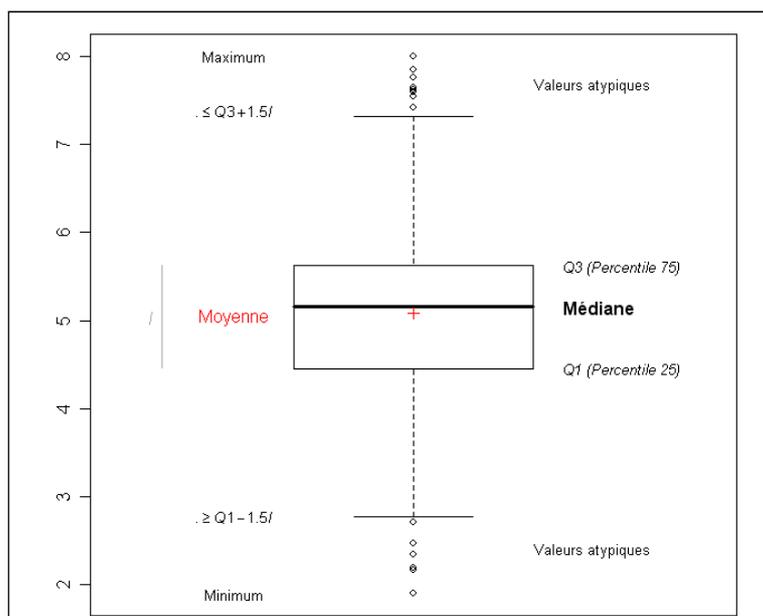
Une invalidation peut être due à un problème technique de l'analyseur, à un événement extérieur rendant la donnée non représentative, etc.

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.

## Annexe 3

### 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).



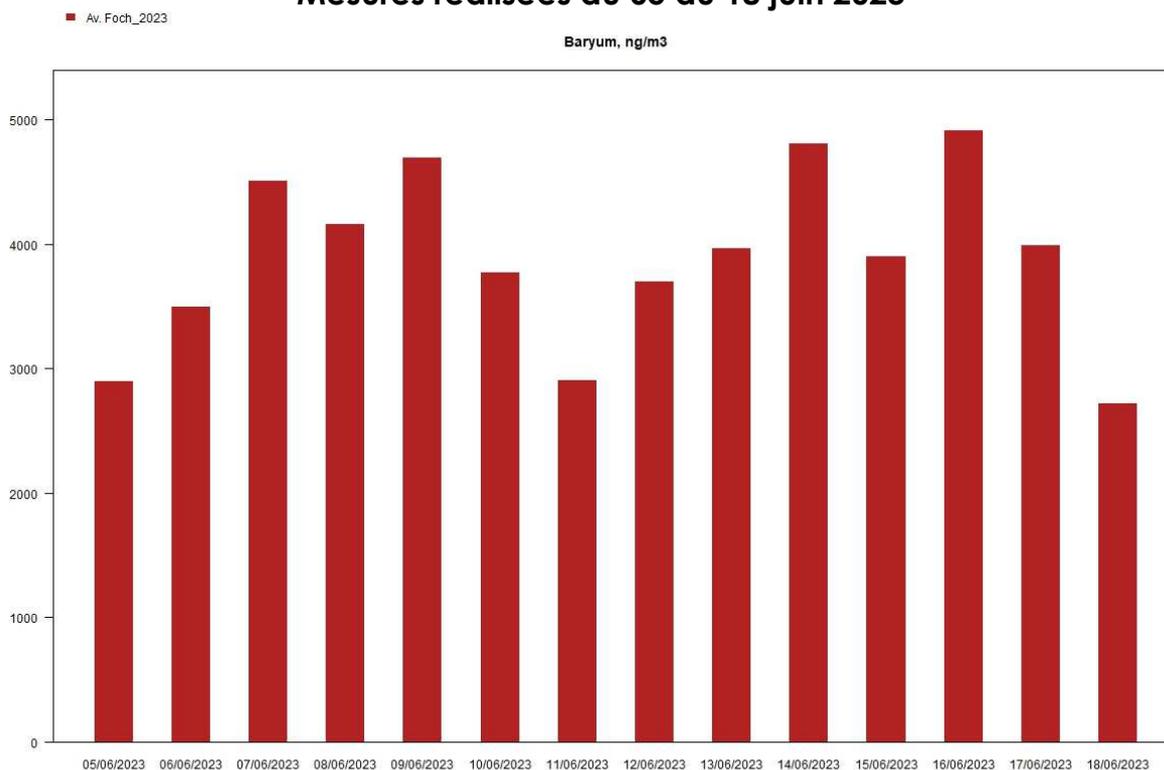
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur,  $1.5 * I$  ( $I$  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.

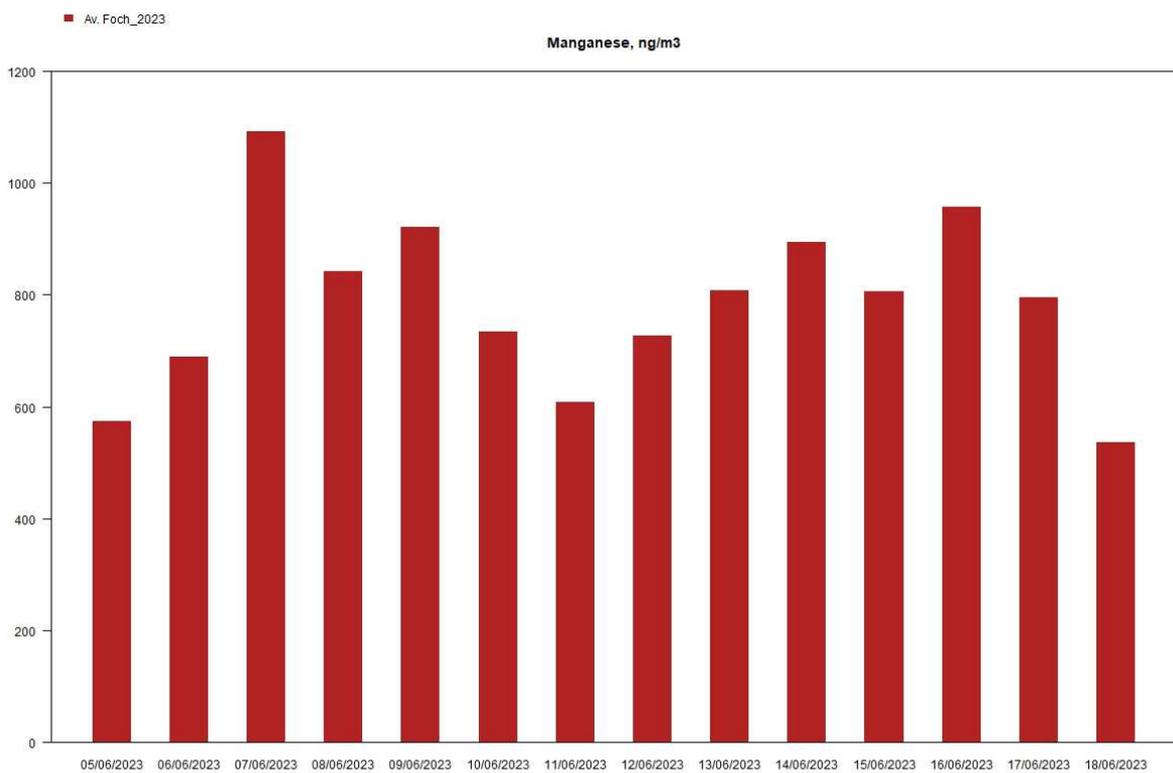
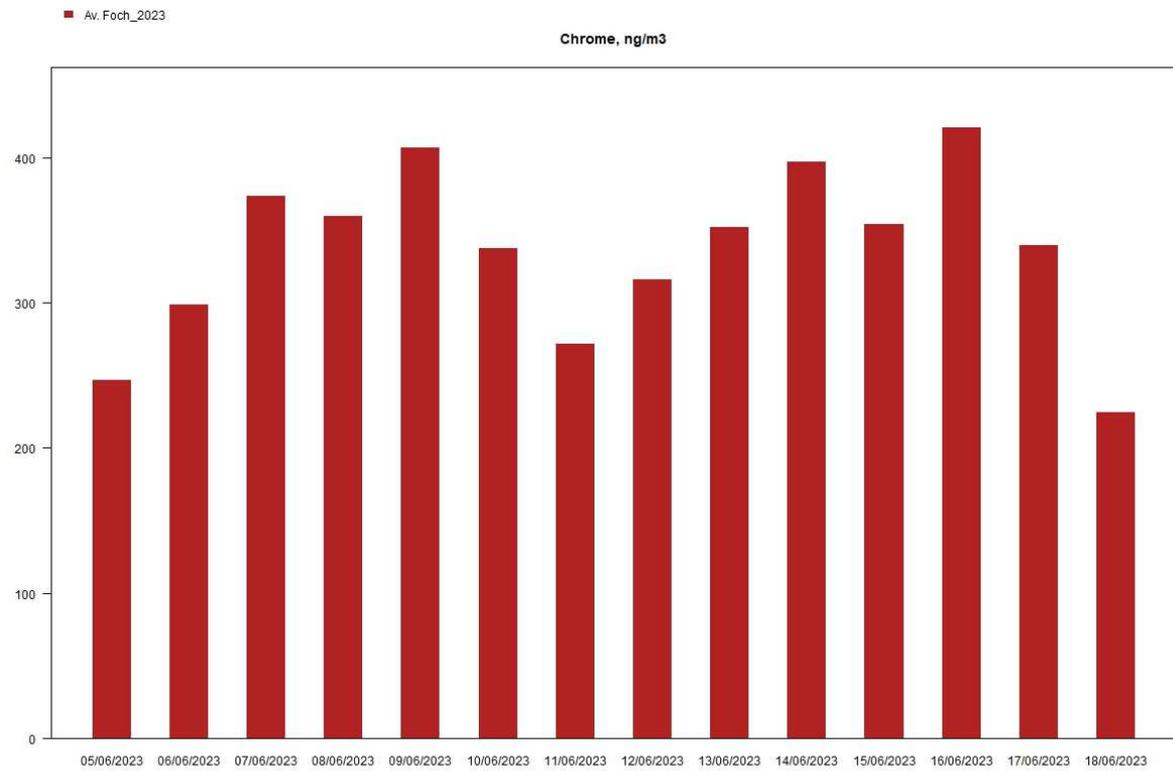
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

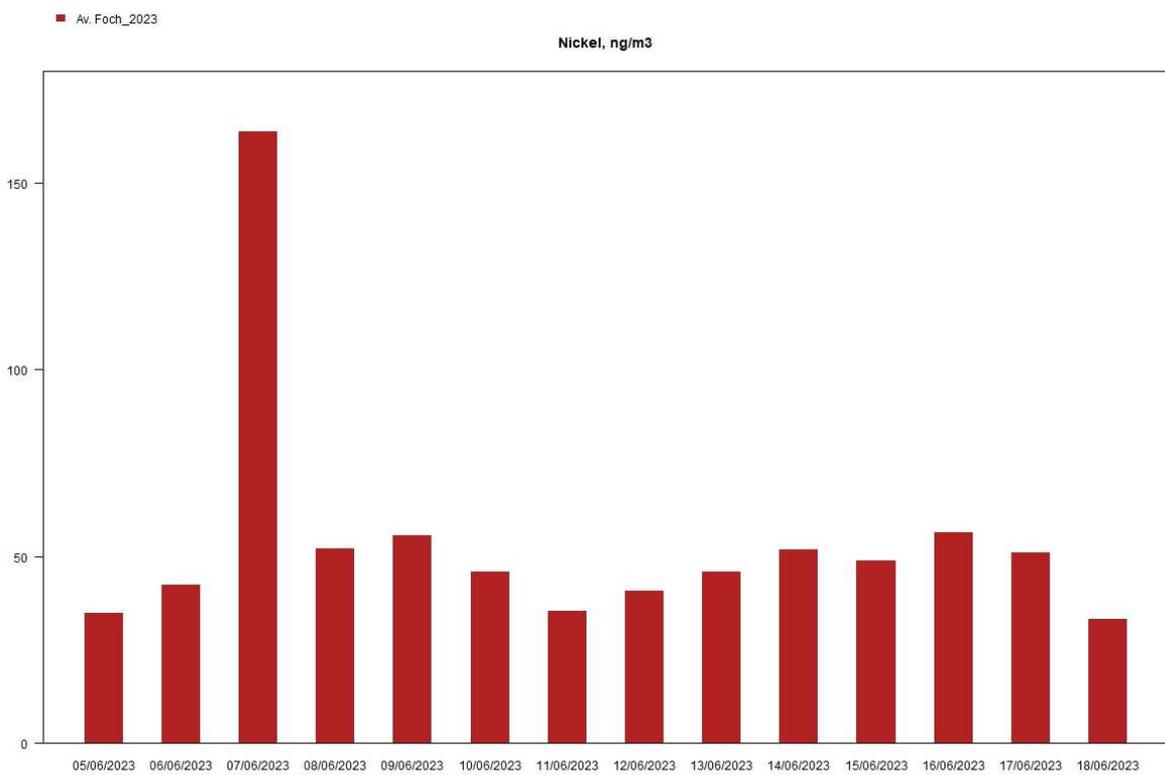
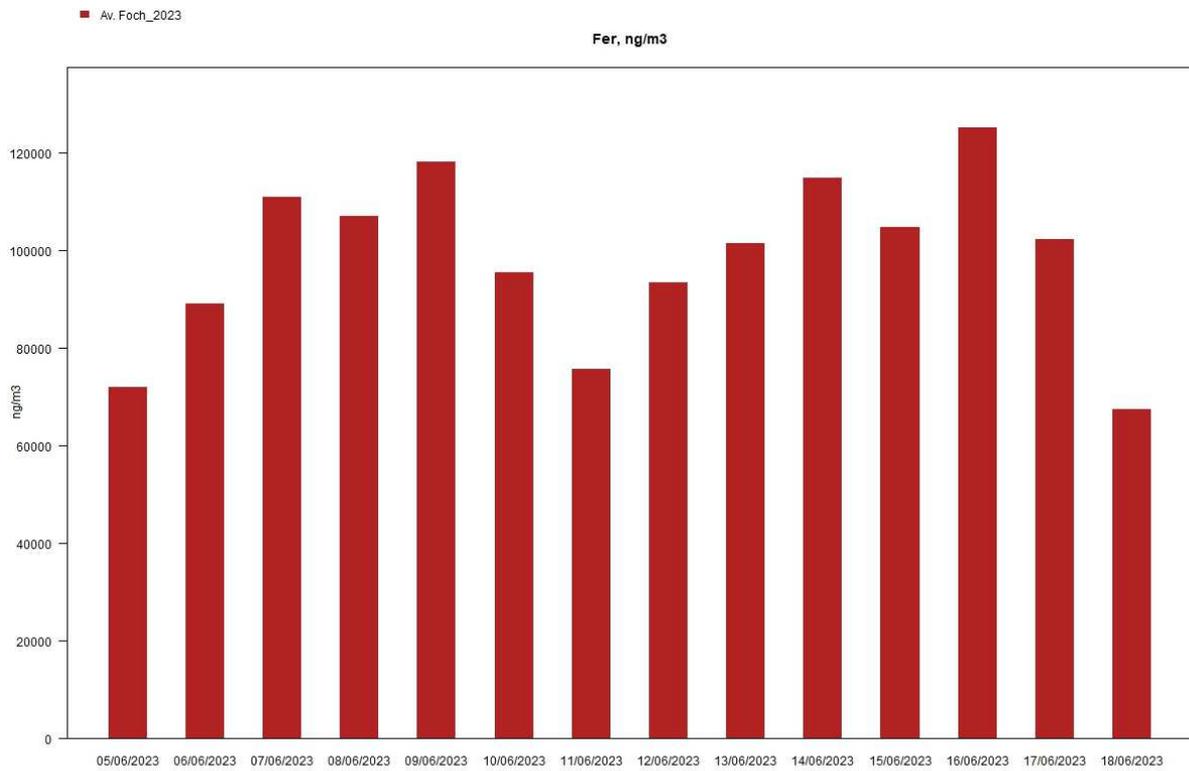
## Annexe 4

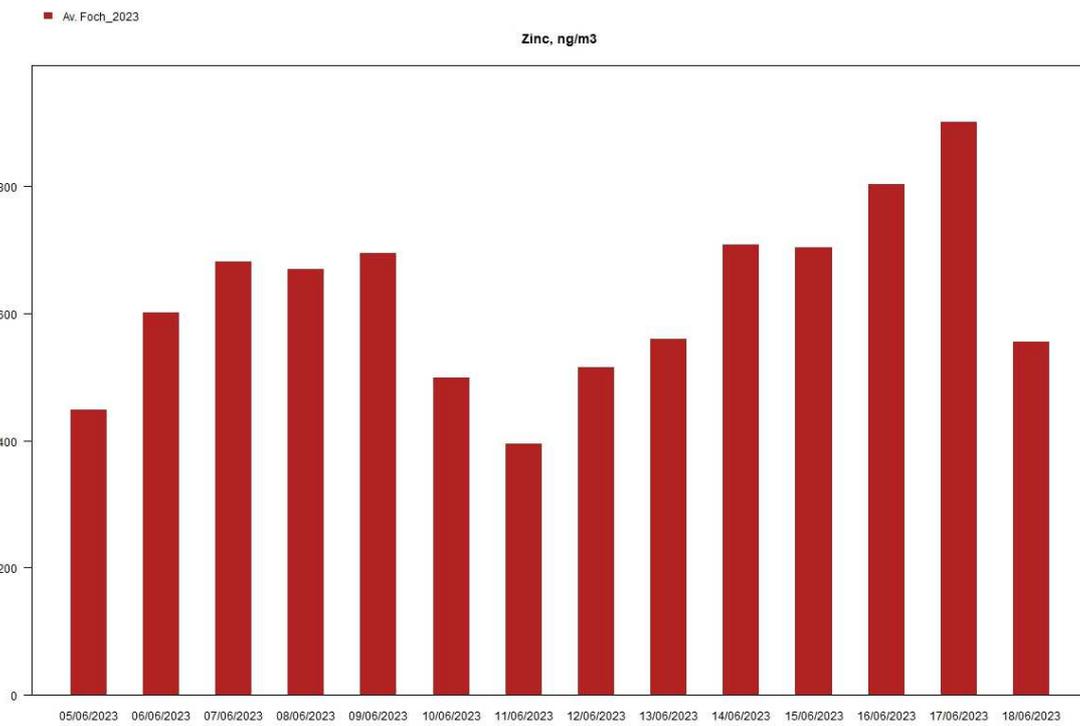
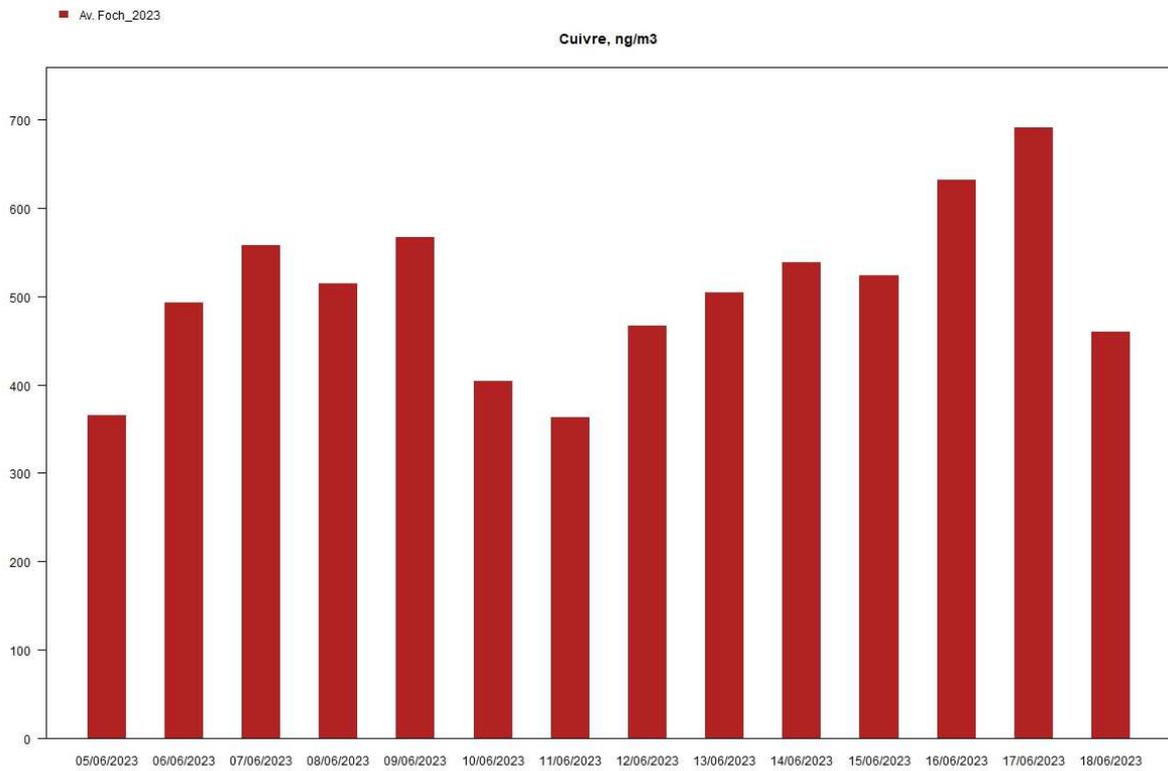
# Relevés journaliers du Baryum, Chrome, Manganèse, Fer, Nickel, Cuivre, Zinc, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb en gare RER C Avenue Foch

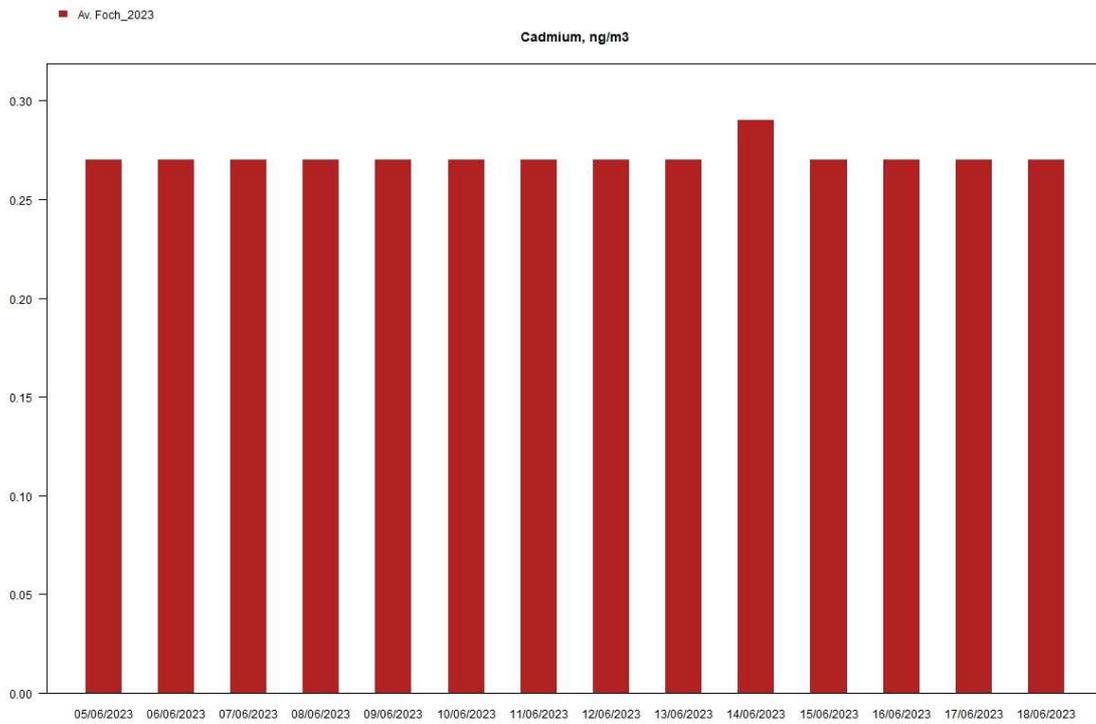
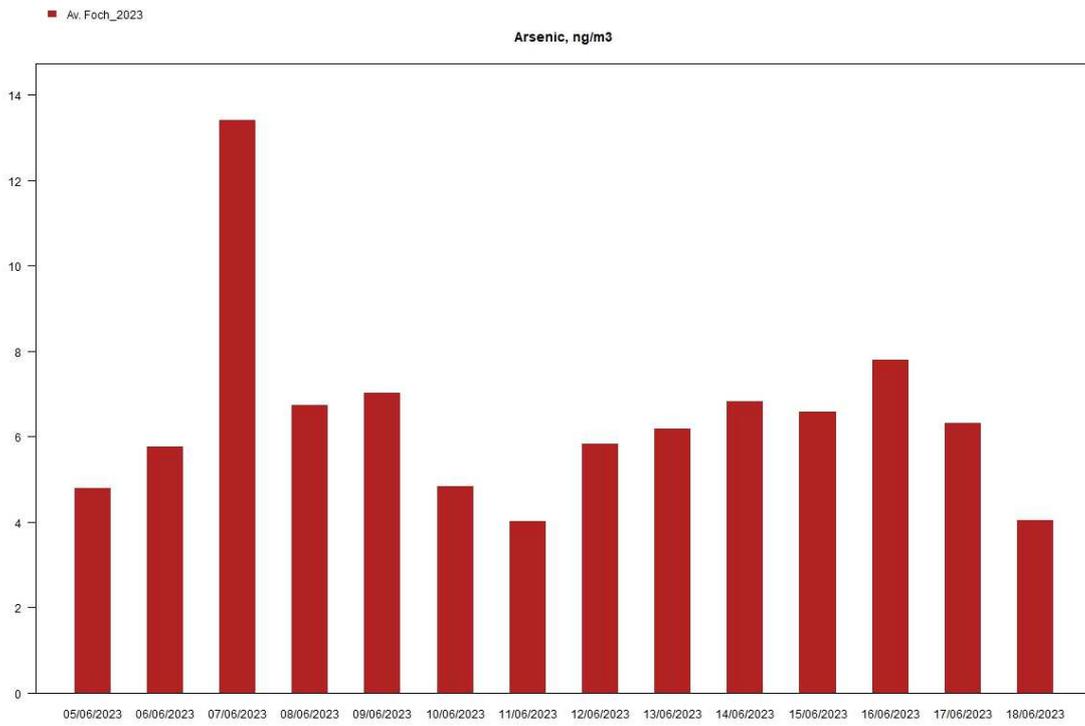
### Mesures réalisées du 05 au 18 juin 2023

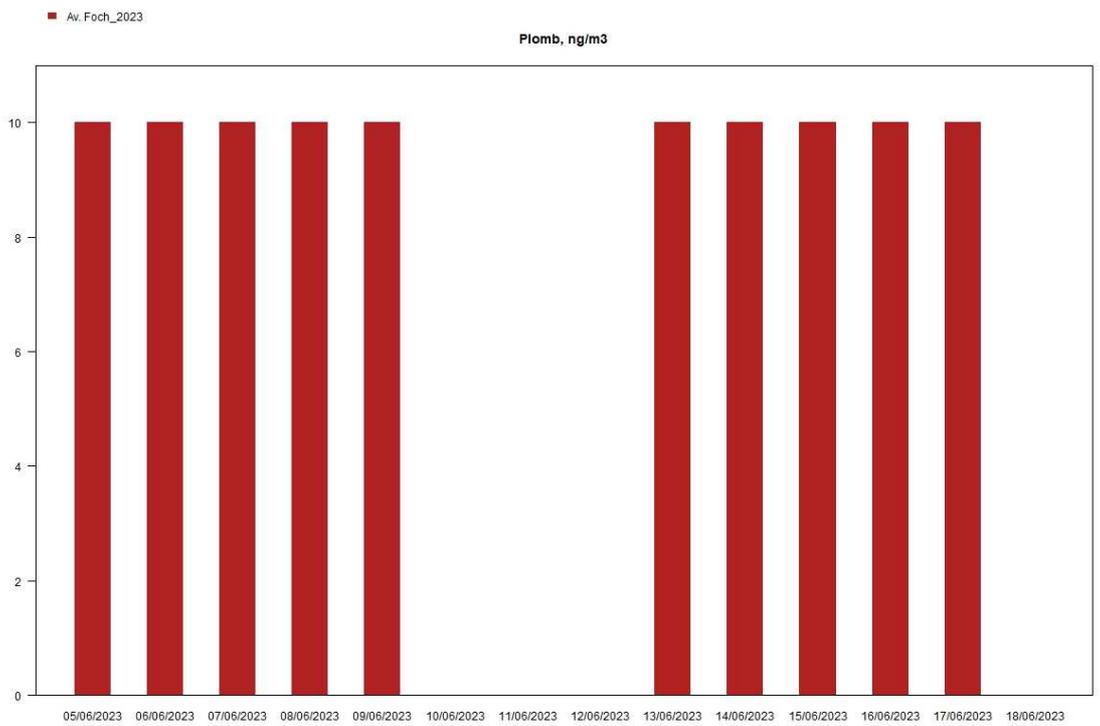
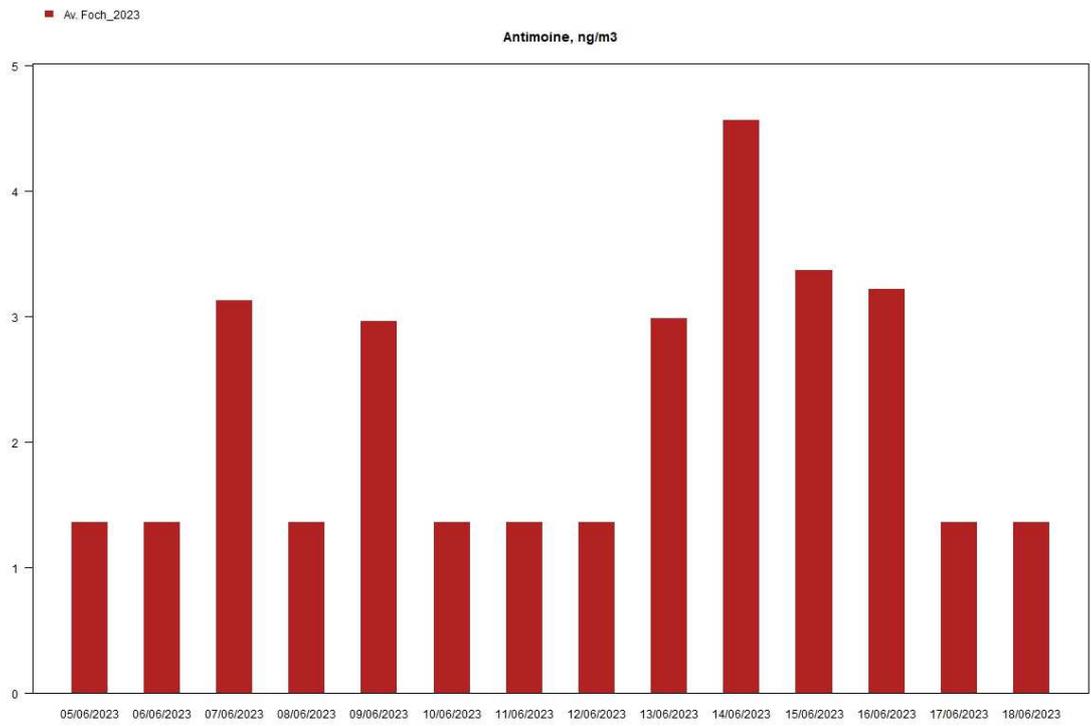






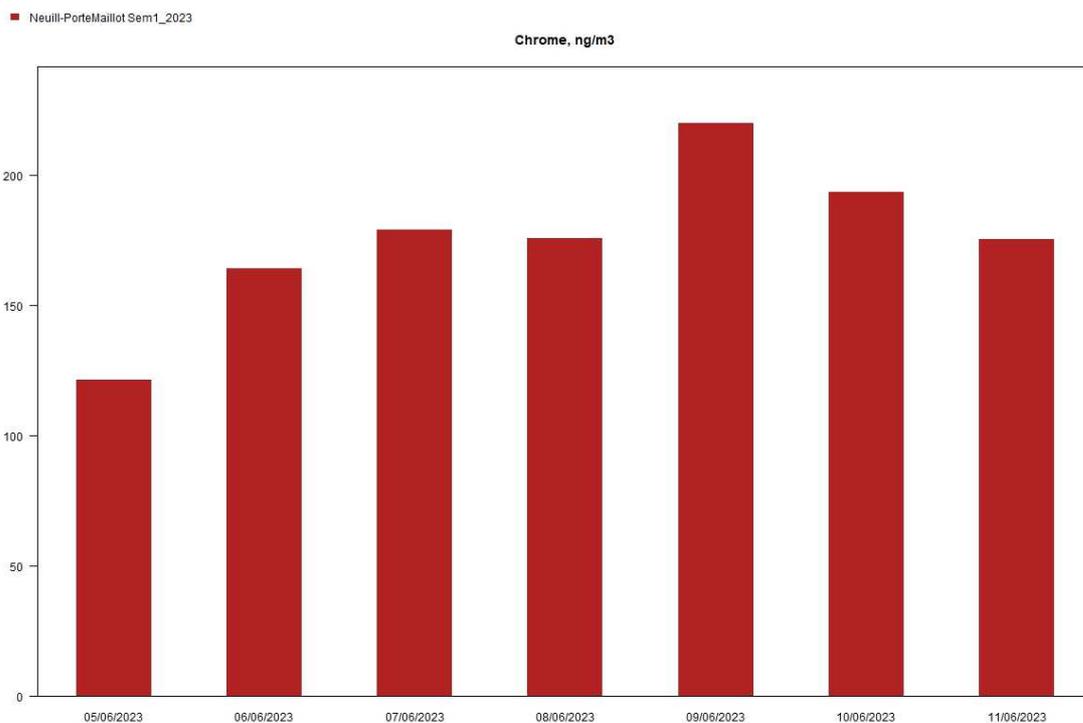
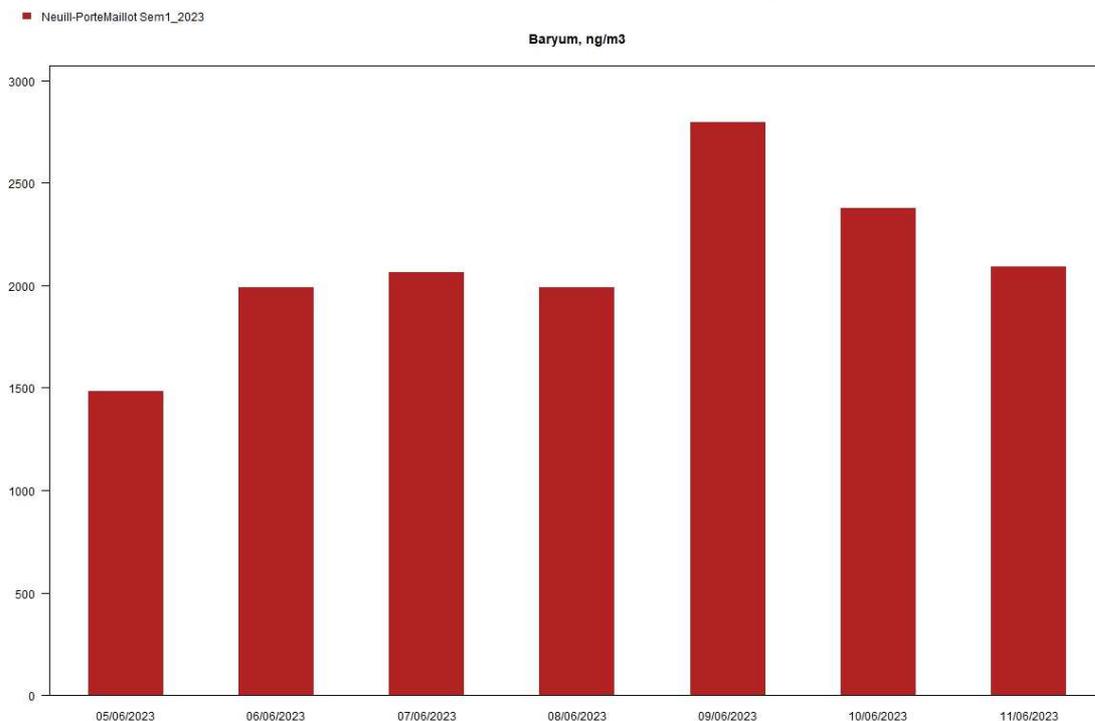






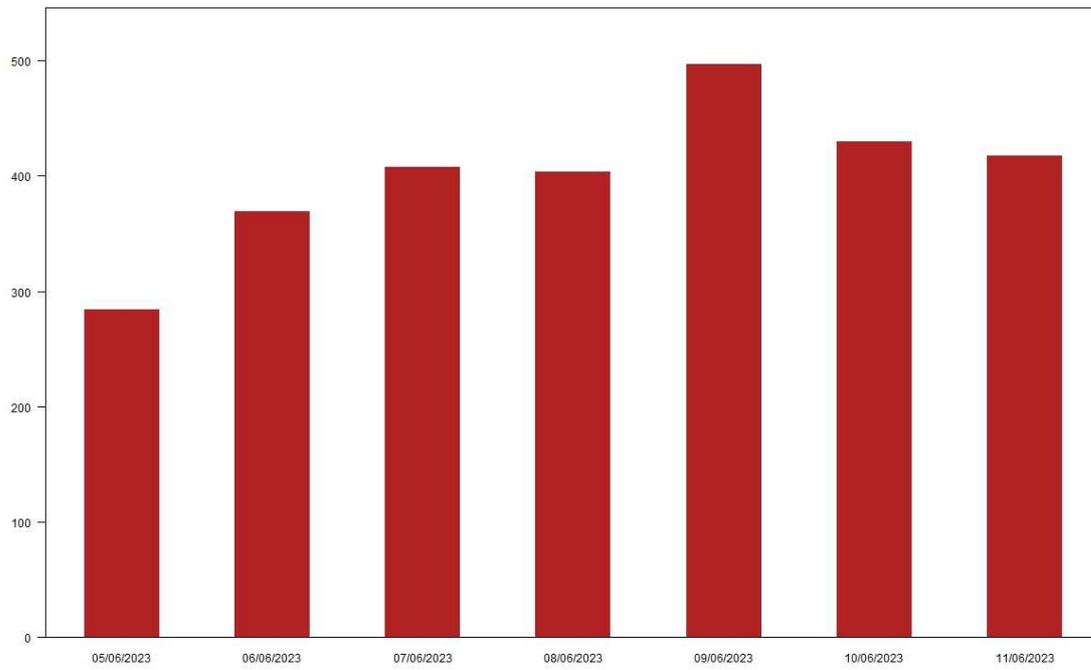
# Relevés journaliers du Baryum, Chrome, Manganèse, Fer, Nickel, Cuivre, Zinc, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb en gare RER C Neuilly-Porte Maillot

Mesures réalisées du 05 au 11 juin 2023



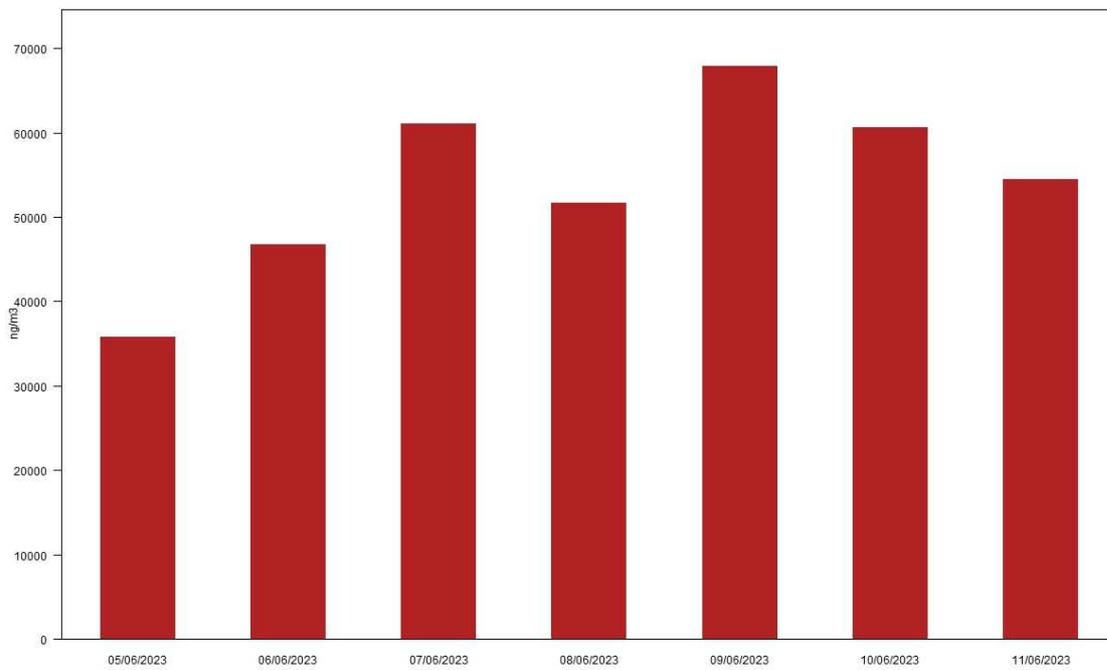
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Manganese, ng/m3



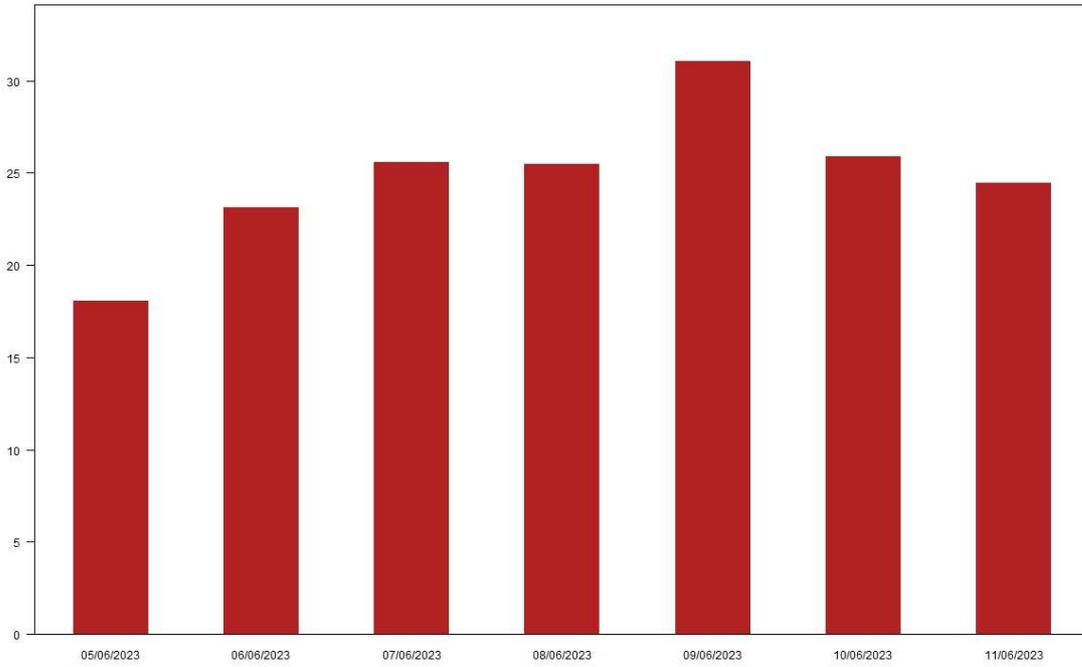
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Fer, ng/m3



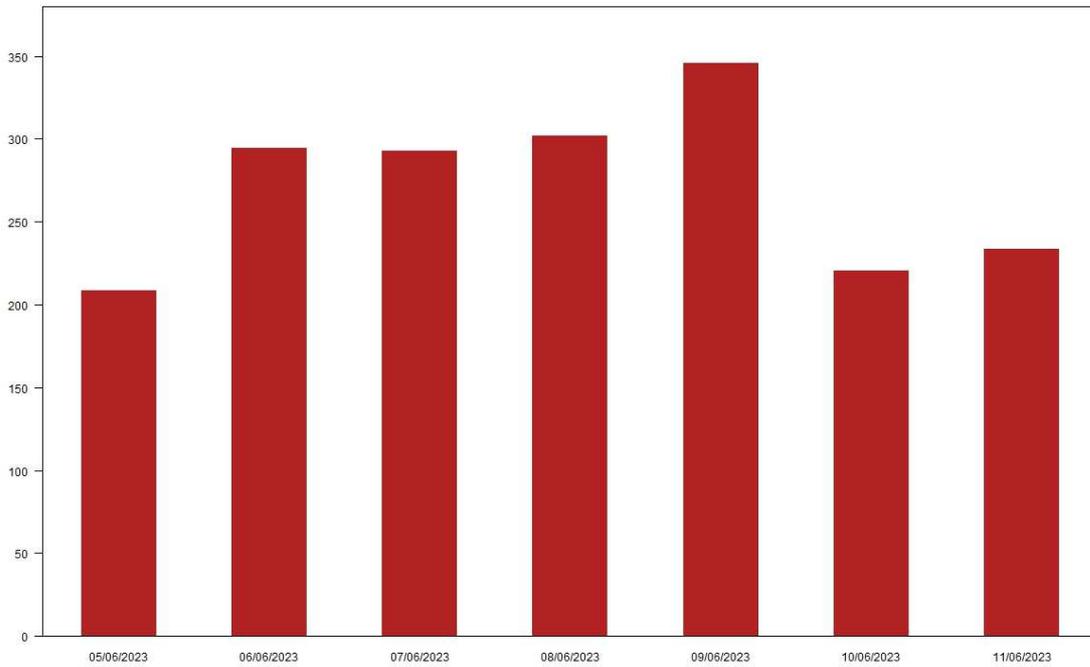
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Nickel, ng/m3



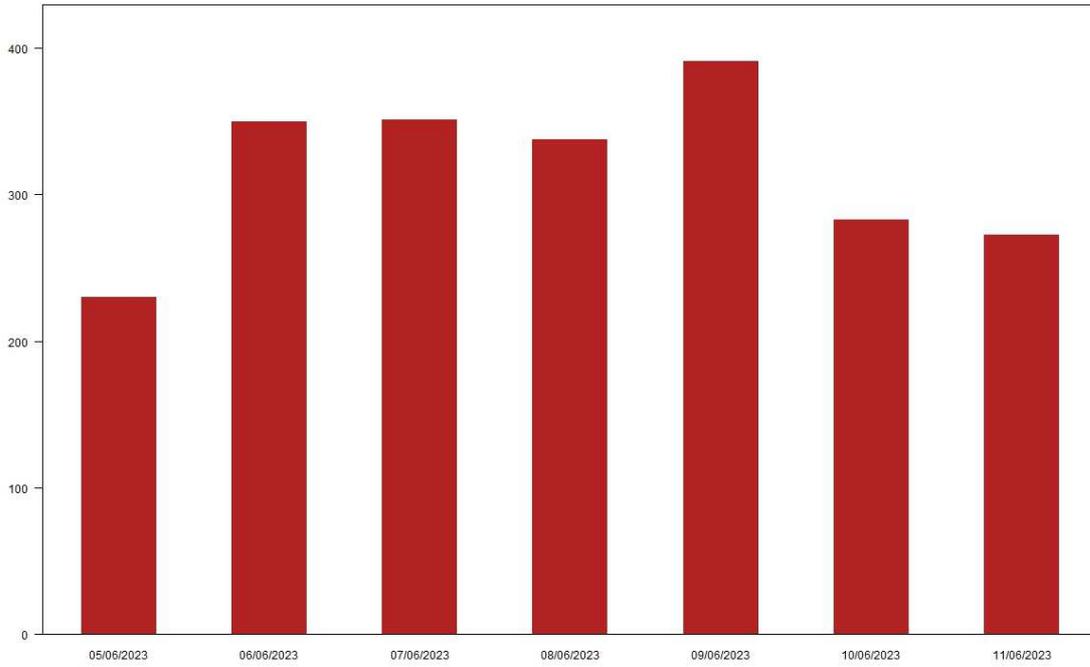
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Cuivre, ng/m3



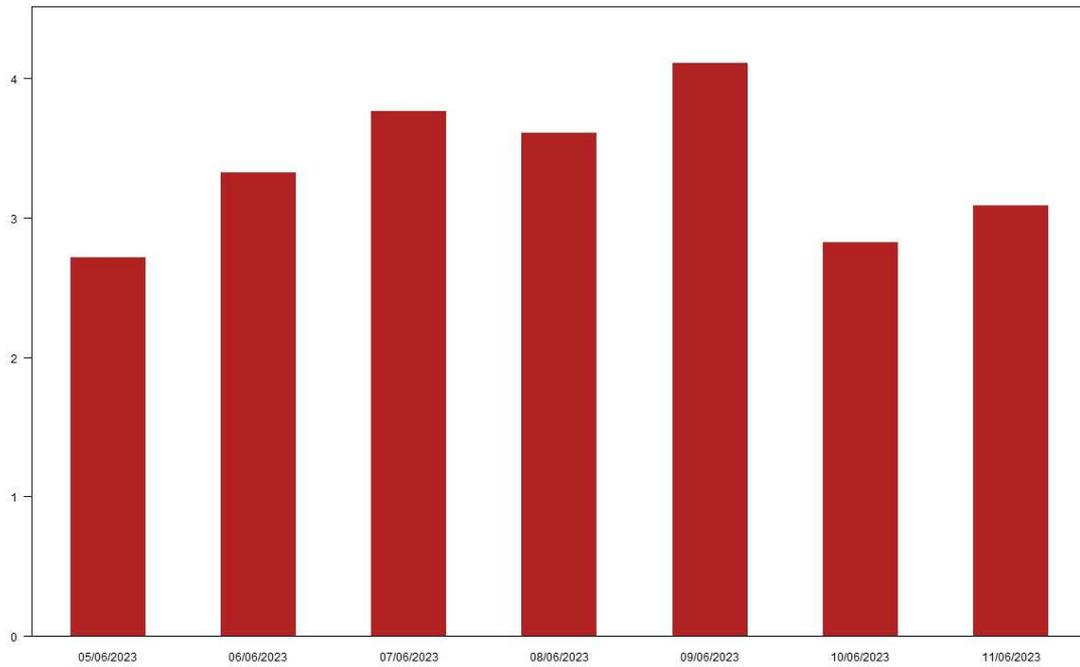
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Zinc, ng/m3



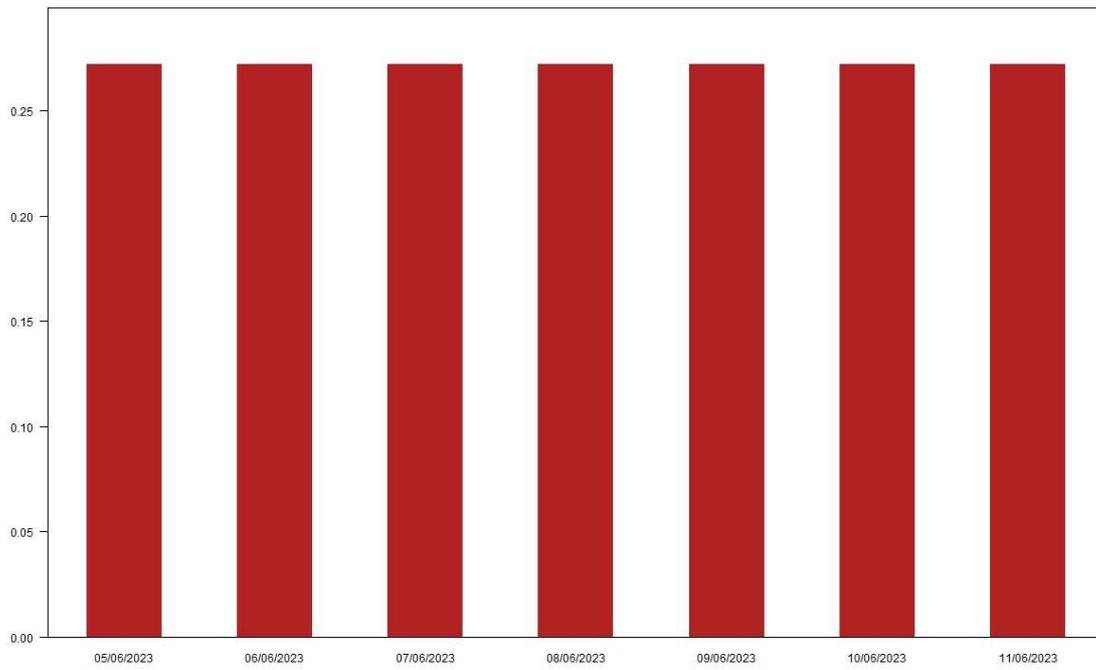
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Arsenic, ng/m3



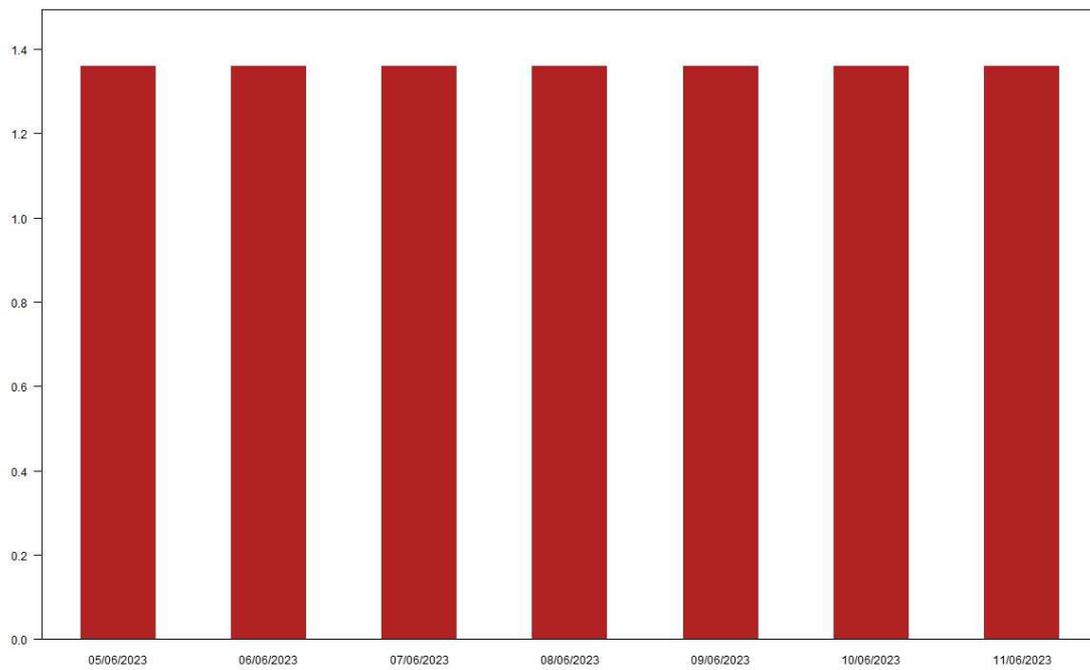
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Cadmium, ng/m3



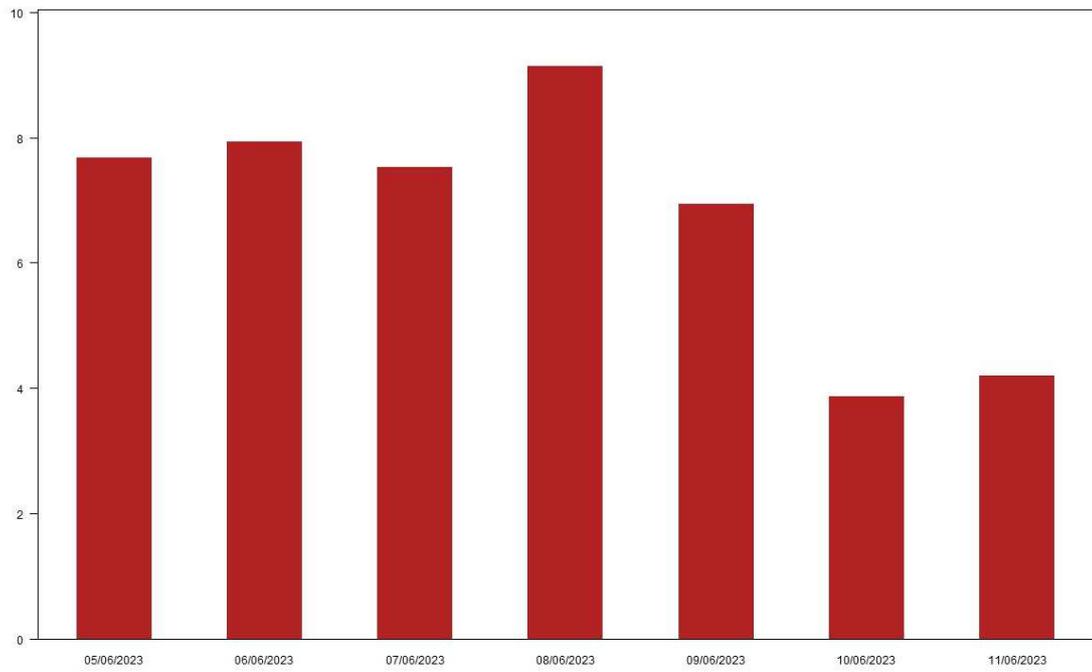
■ Neuilly-PorteMaillot Sem1\_2023

Antimoine, ng/m3



■ Neuill-PorteMaillot Sem1\_2023

Plomb, ng/m3



## Annexe 5

### Facteurs d'influence : qualité de l'air extérieur

#### Influence de la qualité de l'air extérieur

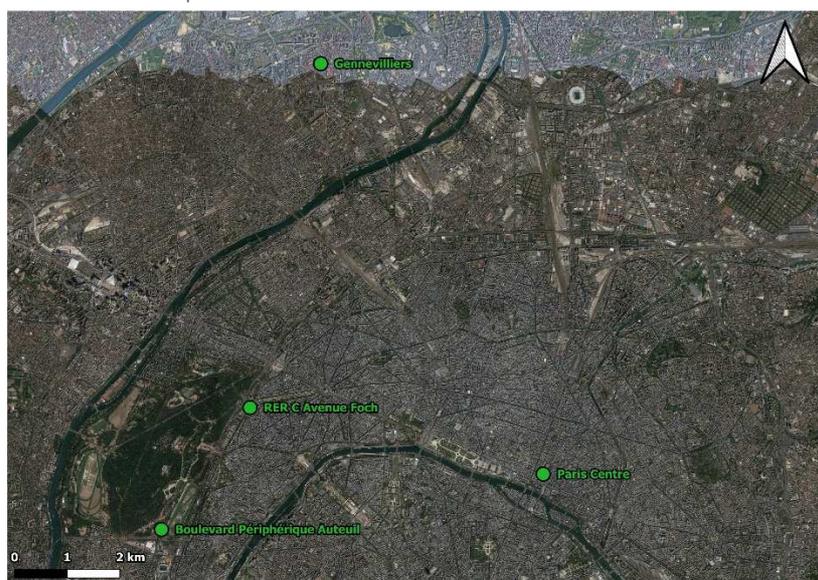
Les polluants de l'air extérieur peuvent se retrouver dans les enceintes souterraines, de façon plus ou moins marquée selon la profondeur de la gare, les accès et ouvertures vers l'extérieur et le système de ventilation en place. L'influence sera d'autant plus importante que la gare est peu profonde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

Les concentrations relevées en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot 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 Les Halles, 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  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ .

La localisation des stations est présentée sur la carte suivante.

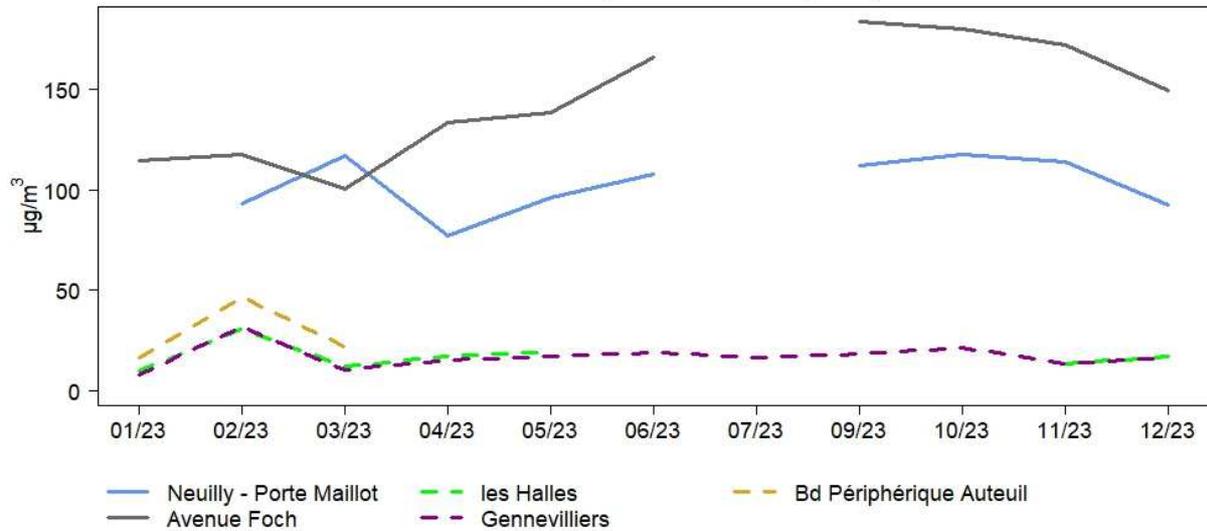


Cartographie des stations de surveillance de l'air extérieur utilisées pour la comparaison des concentrations aux gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot

La figure suivante présente les concentrations moyennes mensuelles pour les particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sur les quais du RER C Avenue Foch et de Neuilly-Porte Maillot, ainsi qu'en air extérieur, sur différentes stations du réseau Airparif.

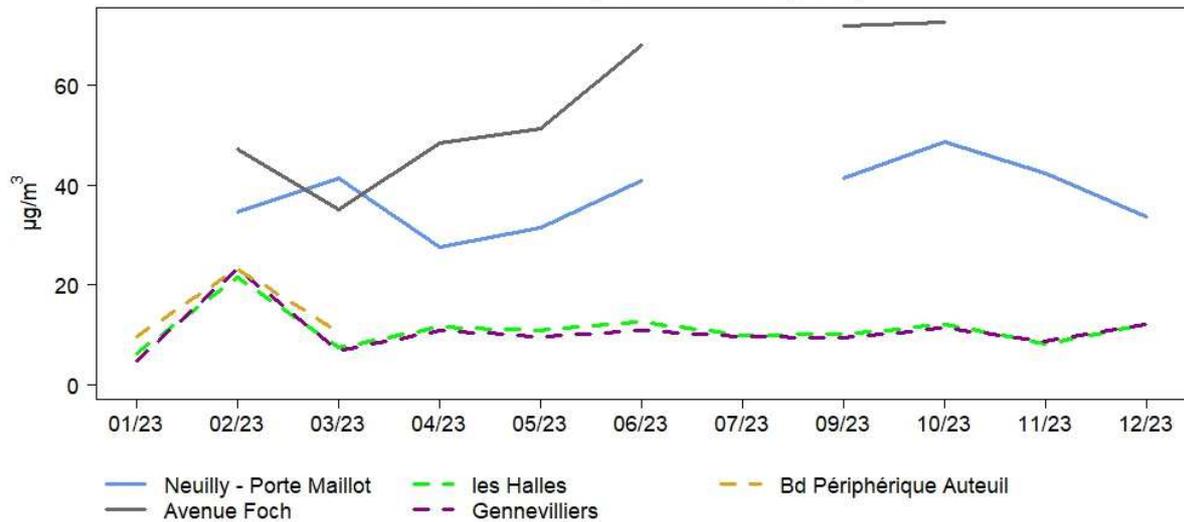
Les concentrations moyennes en particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sur les quais des gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont nettement supérieures aux concentrations mesurées par les stations les Halles, Gennevilliers et Auteuil du réseau Airparif sur la même période. **Les teneurs en 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.**

**Moyennes mensuelles des particules PM10, Quai RER Neuilly - Porte Maillot et Avenue Foch vs. air extérieur (hors vacances et grèves)**



(a)

**Moyennes mensuelles des particules PM2.5, Quai RER Neuilly - Porte Maillot et Avenue Foch vs. air extérieur (hors vacances et grèves)**

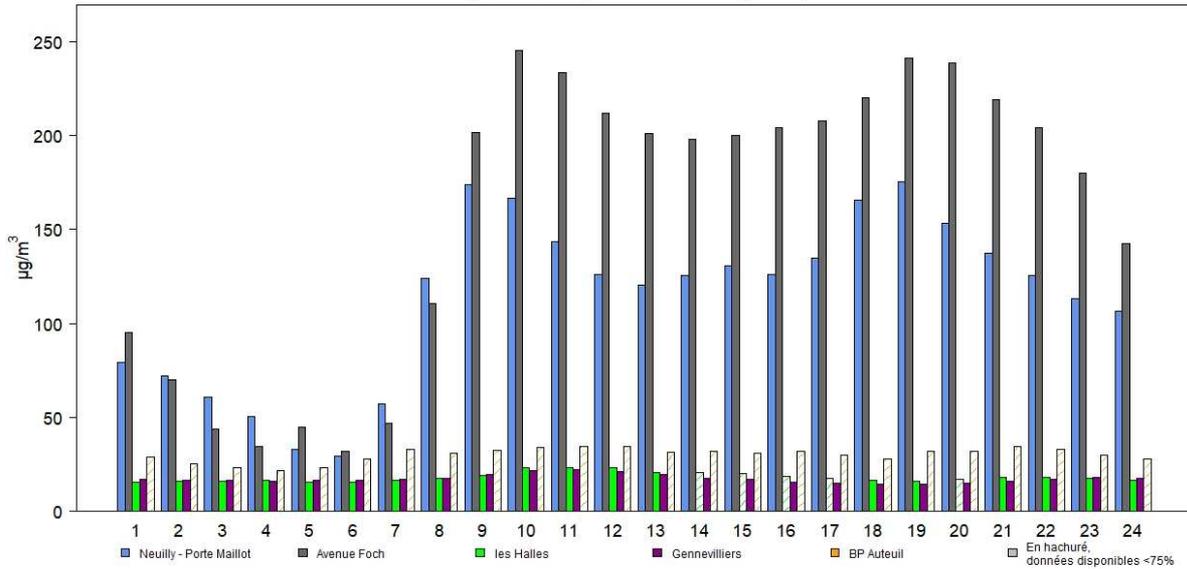


(b)

Moyennes mensuelles des concentrations en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b), en air extérieur et en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 - [hors vacances scolaires et grèves](#)

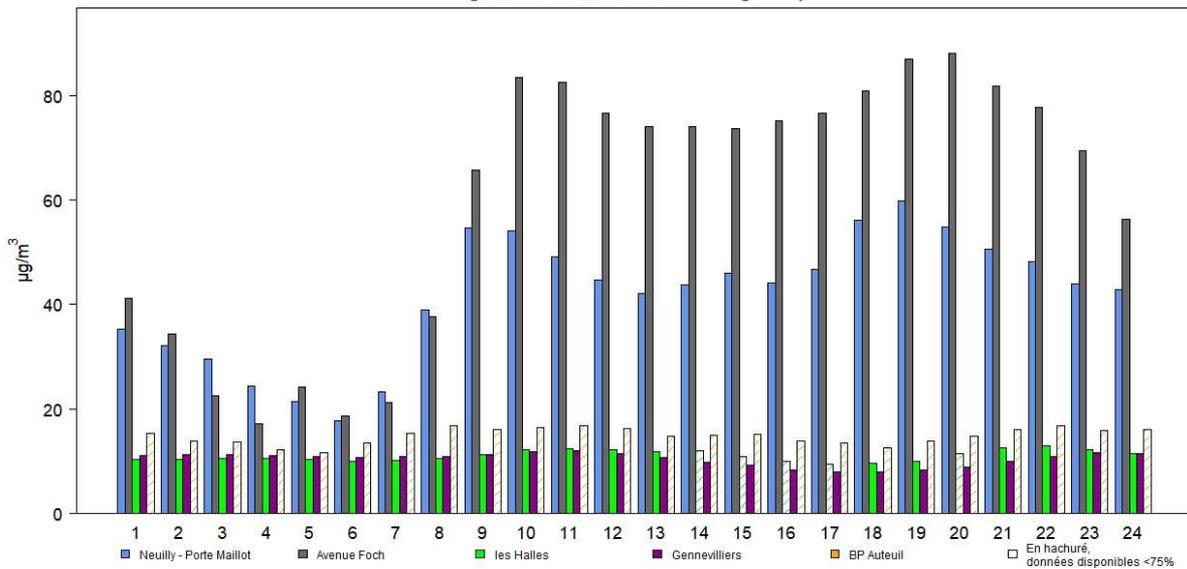
Les graphiques suivants présentent les profils journaliers en particules PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, ainsi qu'aux stations Les Halles, Gennevilliers et Auteuil du réseau Airparif.

**Profils journaliers des particules PM<sub>10</sub>, Quai RER Neuilly - Porte Maillot et Avenue Foch vs. air extérieur  
(jours ouvrés, hors vacances et grèves)**



(a)

**Profils journaliers des particules PM<sub>2.5</sub>, Quai RER Neuilly - Porte Maillot et Avenue Foch vs. air extérieur  
(jours ouvrés, hors vacances et grèves)**



(b)

Profils journaliers en particules PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b), en air extérieur et en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot, en 2023 – jours ouvrés hors vacances scolaires et grèves

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> relevées en gares RER C Avenue Foch et Neuilly-Porte Maillot sont, à toute heure, largement supérieures à celles relevées sur les stations de fond du réseau Airparif, à savoir les Halles et Gennevilliers.

**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.