

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE PÈREIRE-LEVALLOIS

Mai-Juin 2018

Juin 2019





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



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE PÈREIRE-LEVALLOIS – MAI/JUIN 2018

Juin 2019

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

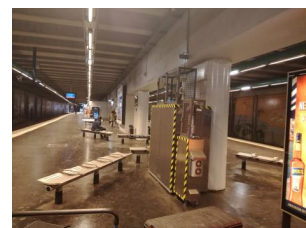
SYNTHESE

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

Dans ce cadre, une campagne de mesure a été réalisée du **14/05/2018 au 10/06/2018** en gare de **Pèreire-Levallois (RER C)**. Les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}) ont été suivies, ainsi que les métaux. Une panne sur l'analyseur de particules PM₁₀ a entraîné une indisponibilité des données entre le 25 mai et le 4 juin en gare de Pèreire-Levallois. Des pannes sur la station de mesure en gare d'Avenue Foch ne permettent pas d'avoir de données de mesure en particules PM₁₀ et PM_{2.5} entre le 27 mai et le 4 juin.

Les principaux résultats :

Les concentrations en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER C en gare de Pèreire-Levallois au cours des mois de mai et juin 2018 (hors jours de grève) étaient en moyenne de 87 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 187 µg/m³ (enregistré un mardi soir à 19h).

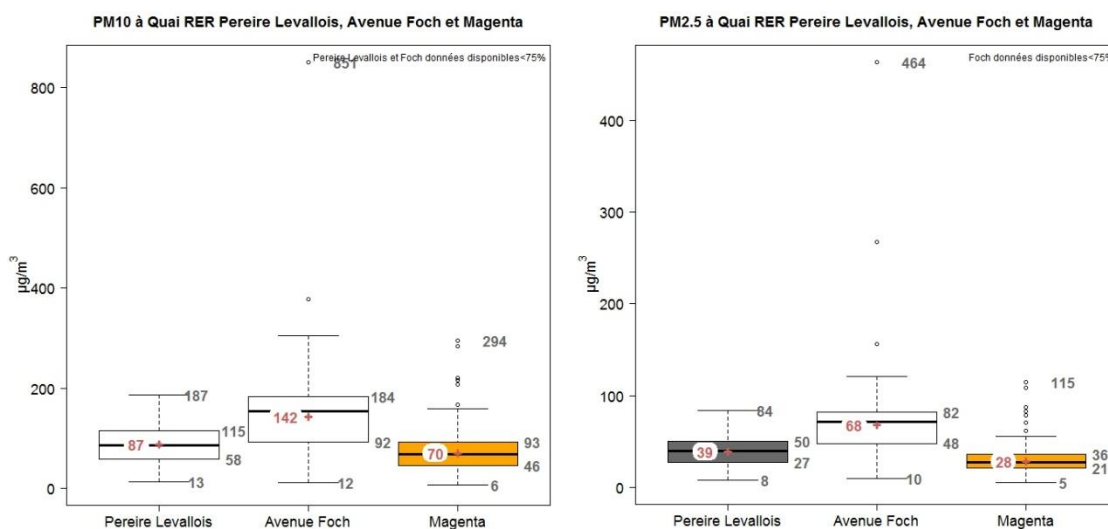


Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} atteignent 39 µg/m³, pour un maximum horaire de 84 µg/m³.

Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Avenue Foch et à Magenta ?

Les niveaux moyens en PM₁₀ sont près de 40 % inférieurs à ceux de la station d'Avenue Foch (142 µg/m³ enregistrés sur la même période), et supérieurs de 24 % à ceux de la station Magenta (70 µg/m³ enregistrés sur la même période).

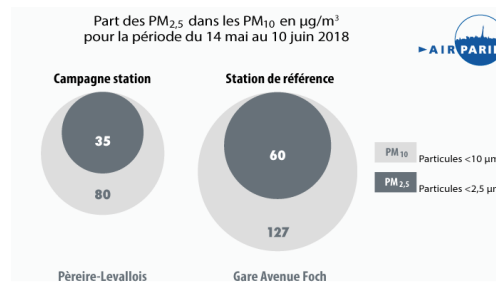
Les niveaux moyens en PM_{2.5} à la gare de Pèreire-Levallois (39 µg/m³) sont, comme pour les PM₁₀, près de 40 % inférieurs à ceux enregistrés à la station Avenue Foch (68 µg/m³), et largement supérieures (40 %) de ceux de la station Magenta (28 µg/m³). Ce résultat s'explique par le système de ventilation en place en gare de Magenta et par l'ouverture en bout de quais de la ligne de RER à la gare de Pèreire-Levallois, paramètre favorisant l'évacuation de la pollution aux particules dans ces deux gares, tandis qu'Avenue Foch ne bénéficie que de ventilation naturelle.



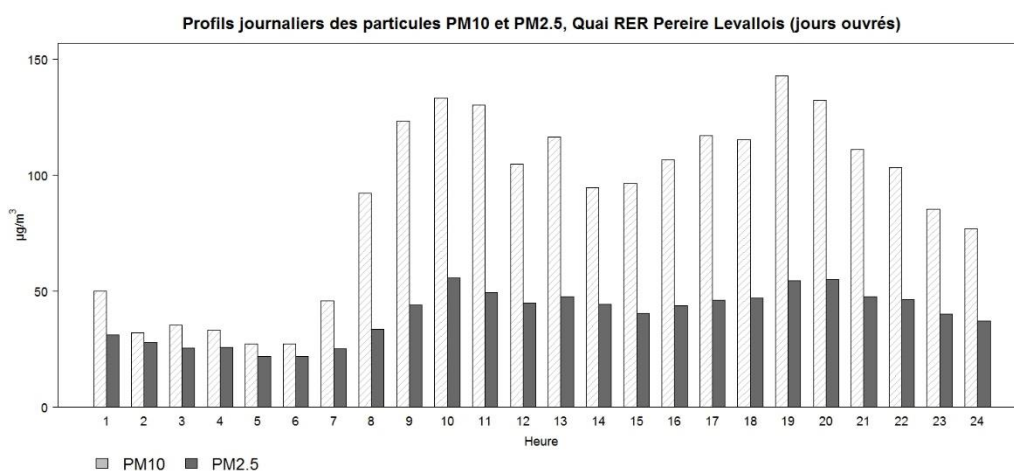
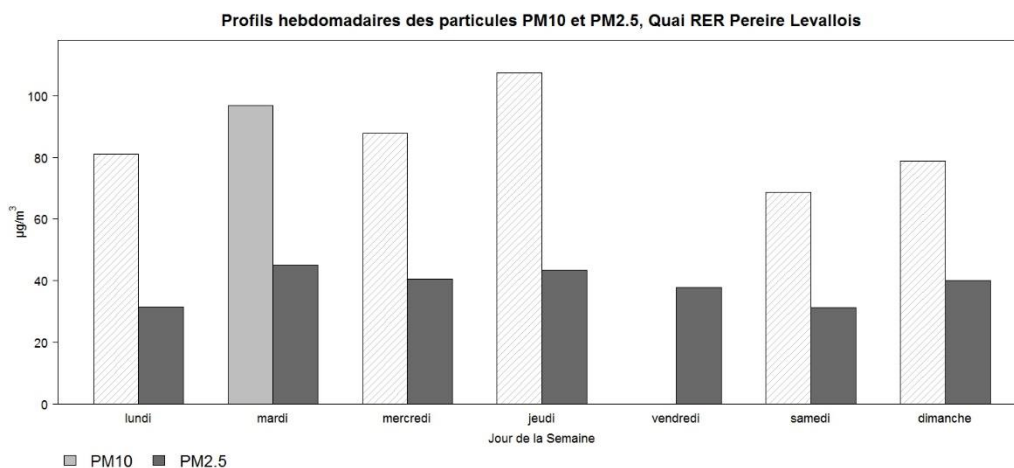
Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

En termes d'évolution temporelle, les trois stations observent globalement les mêmes tendances. Les niveaux de particules PM₁₀ à la gare de Pèreire-Levallois sont très inférieurs à ceux de la gare

Avenue Foch, sur toute la période de mesure, et restent supérieurs à ceux de Magenta. Un impact des jours de grève sur les concentrations est également observé, mais diffère selon la gare : selon le nombre de trains en circulation, les niveaux sont très faibles ou comparables aux niveaux habituels.



A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs sur la semaine plus élevées que le weekend, ceci pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} (+18 % et +7 %). Ces profils sont également observés dans les gares de référence.



Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Pèreire-Levallois, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 34 µg/m³ en PM₁₀ et 25 µg/m³ en PM_{2,5}. Les concentrations sont maximales vers 9-11h le matin et 17-21h en soirée. Les concentrations sont alors de 125 µg/m³ en moyenne sur une heure en PM₁₀ et 50 µg/m³ en PM_{2,5}. Ce profil est également observé dans les gares de référence.

Les variations temporelles, au niveau horaire, sont fortement liées au nombre de trains en circulation, qui fluctue beaucoup au cours de la journée, ainsi qu'à d'autres facteurs environnementaux comme l'influence de l'air extérieur au niveau hebdomadaire (ouverte des voies en sortie de la gare de Pèreire-Levallois), ainsi qu'aux activités environnantes.

Ratio PM_{2,5}/PM₁₀ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio PM_{2,5}/PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois est en moyenne de 0,53, égal à celui d'Avenue Foch et supérieur à celui de Magenta (0,43). Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée. Les pics ponctuels au-dessus de 0,6 s'observent la nuit entre 1 et 5h lorsque les émissions de PM₁₀ dues à l'activité de la gare diminuent fortement.

Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ? Est-ce différent de ce qui est observé à Avenue Foch ?

La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 30 à 50 % sur la semaine de mesure (21/05 au 25/05/2018) en gare de Pèreire-Levallois. Sur la même période, la part des métaux en gare d'Avenue Foch varie entre 49 et 53 %. La part des métaux est plus faible en gare de Pèreire-Levallois, dû à l'apport plus important d'air extérieur.

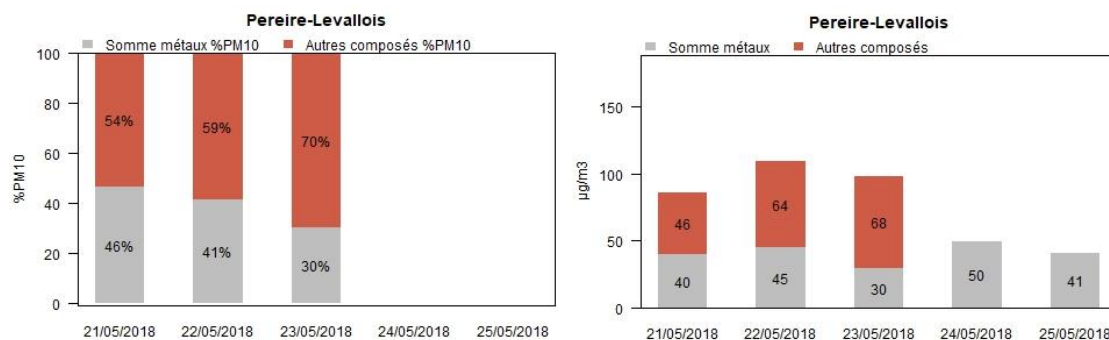
Suite à la panne sur l'analyseur de particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois, les données ne sont pas disponibles pour les 24 et 25 mai.

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96,3 % des métaux mesurés à Pèreire-Levallois et 96,6 % à Avenue Foch. Suivent ensuite l'**Aluminium** (1 %), le **Zinc** (0,9 %), le **Manganèse** (0,8 %), le **Cuivre** (0,6 %), et le **Chrome** (0,4 %). Les proportions sont similaires à Avenue Foch. Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

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

Les parts des métaux varient au cours de la semaine, avec le maximum mesuré le lundi (46 %) et le minimum le mercredi (30 %).



SOMMAIRE

SYNTHESE	4
SOMMAIRE	7
GLOSSAIRE	8
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS	9
1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	11
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	11
1.2 PERIODE DE MESURE	12
2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE	13
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	13
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	15
2.1.2. PARTICULES PM _{2.5}	16
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	17
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE	17
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	18
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	19
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	22
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	22
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	23
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	25
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	27
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	27
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	28
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	30
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	30
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	31
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	33
4. CONCLUSION	36

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 ;
- **Comprendre** la pollution atmosphérique et ses impacts en lien avec le climat, l'énergie et l'exposition des personnes ; prévoir la qualité de l'air au jour le jour, les épisodes de pollution et les évolutions futures ;
- **Accompagner** les décideurs dans l'amélioration de la qualité de l'air sur leur territoire, favoriser la concertation, informer les autorités, les médias et le public.

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

GLOSSAIRE

µg/m³ : micro gramme par mètre cube

ng/m³ : nano gramme par mètre cube

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

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

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

CO₂ : Dioxyde de carbone

NO : Monoxyde d'azote

NO₂ : Dioxyde d'azote

NO_x : (NO+NO₂) Oxydes d'azote

PM₁₀ : Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

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

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

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

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

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

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

L'objectif de ce programme est de documenter finement les niveaux de particules dans les gares franciliennes souterraines exploitées par la SNCF, afin de faciliter la construction de plans d'amélioration et la priorisation des travaux afférents. Les données recueillies alimenteront également les outils d'estimation de l'exposition individuelle des Franciliens développés par Airparif et elles seront mises à disposition du public.

Pendant 2 ans, 23 gares franciliennes souterraines ou mixtes seront, à tour de rôle, équipées d'une station de mesure de la qualité de l'air. Dans chaque gare sont mesurées en continu pendant 3 semaines les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}. S'ajoutent également des mesures de métaux, dont certains sont des traceurs du trafic ferroviaire : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Chrome (Cr). Enfin, les paramètres de confort (CO₂, Humidité et Température) sont suivis. Les mesures sont réalisées sur le quai de la gare.

Dans le cadre du partenariat, les mesures dans 16 gares sont assurées par Airparif, les 7 autres gares étant étudiées par AEF².

En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Avenue Foch (RER C), gérée par Airparif. Les mesures avaient lieu initialement à la station Saint-Michel-Notre-Dame (de septembre 2016 à décembre 2017). Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}). La station Avenue Foch mesure également les oxydes d'azote (NO_x). Des relevés réguliers de métaux y sont également réalisés. Ces deux stations de référence ont été choisies pour leurs caractéristiques différentes : Magenta est une station récente, avec une ventilation contrôlée, alors que la gare Avenue Foch est une station ancienne, sans ventilation mécanique.

C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de Pèreire-Levallois en mai/juin 2018, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Pèreire-Levallois), ainsi que celle des deux stations permanentes.

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

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

Gares RER du réseau SNCF qui seront équipées par Airparif et calendrier des campagnes de mesure



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

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

Paris intra muros ■



Figure 1 - Localisation de la gare étudiée et des deux stations fixes (Magenta depuis janvier 2016 et Avenue Foch depuis avril 2018).

1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare de Pèreire-Levallois, sur le RER C (branche nord-ouest) est concernée par le programme de partenariat. Elle est située 4 bis place du Maréchal-Juin, dans le 17^{ème} arrondissement de Paris (75017).

Cette gare a une correspondance avec le métro, ligne 3. **Cette gare RER est souterraine**, avec une ouverture en bout de quai (côté Seine), avec deux quais encadrant deux voies. **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 Pèreire-Levallois (RER C) est de 9719 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Pèreire-Levallois (2 sens confondus) est de 169 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 A (direction vers Pontoise).



Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de Pèreire-levallois, ligne RER C, quai vers Paris) et photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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

Pour rappel, des mesures en particules PM₁₀, PM_{2,5} et en métaux, ainsi que des relevés en CO₂, humidité et température ont été réalisés à cette station.

1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de pollution atmosphérique à la gare de Pèreire-Levallois ont été réalisées pendant 4 semaines, du **14/05/2018 au 10/06/2018**. Habituellement de 3 semaines, la campagne a été prolongée suite à des pannes d'analyseurs, afin d'avoir un nombre suffisant de données.

En effet, une panne sur l'analyseur de particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois a entraîné une indisponibilité des données entre le 25 mai et le 4 juin. Des pannes sur la station de mesure en gare d'Avenue Foch ne permettent pas d'avoir de données de mesure en particules PM₁₀ et PM_{2.5} entre le 27 mai et le 4 juin.

Cette durée de mesure (4 semaines) a été choisie afin d'avoir suffisamment de données pour assurer la robustesse des statistiques d'une part et, d'autre part, pour rencontrer potentiellement différentes conditions météorologiques et évaluer l'impact éventuel de l'air extérieur sur les niveaux sur les quais.

Afin d'avoir une période de mesure commune avec les relevés en gare d'Avenue Foch, les prélèvements en métaux ont été réalisés à partir du 21/05/2018 pour une semaine.

Durant la période de mesure, dû à un **mouvement de grève** au sein de la SNCF, le trafic a été perturbé sur la ligne du RER C (en gare de Pèreire-Levallois, d'Avenue Foch et de Magenta) les jours suivants (11 jours au total de grève sur 28 jours de campagne) :

- Jours ouvrés : les 14, 18, 23, 24, 28, 29 mai et 7, 8 juin 2018
- Samedis : 19 mai et 2 juin 2018
- Dimanche : 3 juin 2018.

2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE

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

Les niveaux observés sur le quai dans la gare de Pèreire-Levallois sont comparés aux observations des deux stations de référence (Magenta et Avenue Foch), pendant la même période de mesure.

2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI

Les principaux résultats (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau suivant, pour la gare de Pèreire-Levallois, sur l'ensemble de la période de mesure (14/05 - 10/06/2018).

Les onze jours de grèves ayant eu lieu pendant la campagne de mesure ont eu pour conséquence une circulation réduite du nombre de trains ces journées-là, non représentatives d'une situation classique, sur les trois gares étudiées.

Aussi, les statistiques présentent d'une part les résultats globaux (toute la période de mesure), d'autre part les résultats uniquement les jours hors grève.

Une panne sur l'analyseur de particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois a entraîné une indisponibilité des données entre le 25 mai et le 4 juin. Des pannes sur la station de mesure en gare d'Avenue Foch ne permettent pas d'avoir de données de mesure en particules PM₁₀ et PM_{2,5} entre le 27 mai et le 4 juin.

Gare Pèreire-Levallois	PM ₁₀ (particules fines)		PM _{2,5} (particules très fines)	
	Toute la période (28 jours)	Hors grève (17 jours)	Toute la période (28 jours)	Hors grève (17 jours)
Statistiques (µg/m ³)				
Minimum horaire	8	13	4	8
Percentile 25 (P25)	46	58	24	27
Médiane ou Percentile 50	82	86	33	40
Moyenne	80	87	35	39
Percentile 75 (P75)	109	115	46	50
Maximum horaire	187	187	84	84
% de données horaires valides	58	59	98	98

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare RER C de Pèreire-Levallois, sur toute la période de mesure comparaison entre toute la période et seulement les jours hors grève, période du 14/05 au 10/06/2018

Le niveau moyen en particules PM₁₀ relevé en gare de Pèreire-Levallois sur l'ensemble de la période de mesure est de 80 µg/m³. Les paramètres statistiques sur toute la période sont inférieurs à ceux mesurés hors grève. Les grèves ont causé des perturbations en gare de Pèreire-Levallois, ayant pour conséquence une circulation moindre des trains et donc des concentrations plus faibles les jours de grèves. Le maximum horaire a été enregistré le mardi 5 juin à 19h (hors grève).

Les mêmes considérations sont valables pour les particules PM_{2,5}, avec un maximum horaire atteint le 31 mai à 19h (hors grève).

Une comparaison entre les résultats statistiques de la gare de Pèreire-Levallois et des gares de référence (Avenue Foch, Magenta) est aussi présentée dans le tableau suivant, pour toute la période de mesure (jours de grève compris).

Statistiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ (particules fines)			PM _{2,5} (particules très fines)		
	Pèreire-Levallois	Avenue Foch	Magenta	Pèreire-Levallois	Avenue Foch	Magenta
Minimum horaire	8	7	6	4	6	5
Percentile 25 (P25)	46	61	44	24	38	18
Médiane ou Percentile 50	82	140	67	33	64	26
Moyenne	80	127	67	35	60	27
Percentile 75 (P75)	109	175	91	46	78	34
Maximum horaire	187	851	294	84	464	115
% de données horaires valides	58	69	92	98	66	92

Tableau 2 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Pèreire-Levallois, et aux deux stations de référence, période du 14/05 au 10/06/2018.

Le niveau moyen en PM₁₀ relevé en gare de Pèreire-Levallois est inférieur à celui de la gare d'Avenue Foch et supérieur à celui de la gare de Magenta. Le niveau moyen est 37 % plus faible en gare de Pèreire-Levallois qu'en gare d'Avenue Foch. Le maximum horaire est plus élevé en gare de Magenta qu'en gare de Pèreire-Levallois (294 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ contre 187 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Le niveau moyen pour les PM_{2,5} à la gare RER C de Pèreire-Levallois est plus faible que celui de la gare d'Avenue Foch (de 42 %) et supérieur à celui de la gare de Magenta, sauf pour la concentration maximale qui est plus élevée en gare de Magenta (115 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ contre 84 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER C de Pèreire-Levallois, **seulement lors des jours hors grève**, est présentée à la Figure 3.

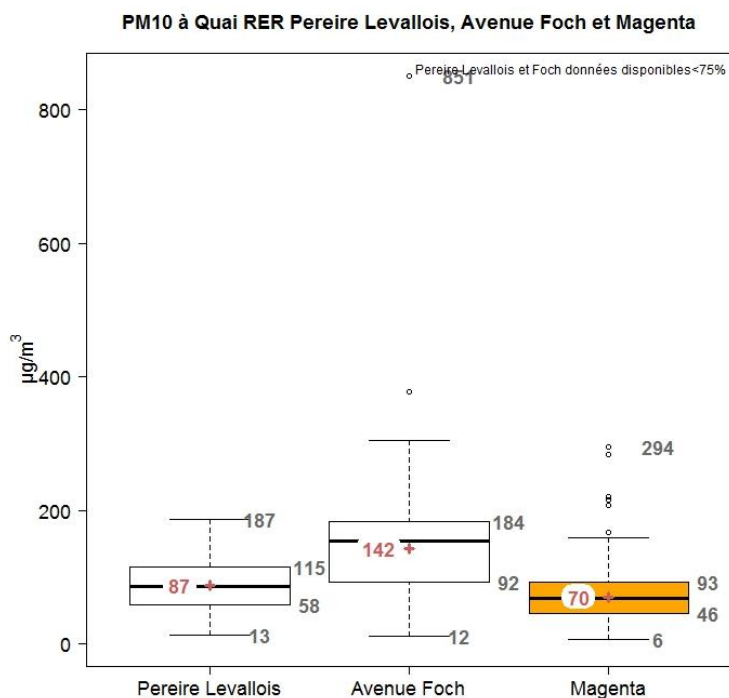


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la gare RER C de Pèreire-Levallois et aux gares de référence, période du 14/05 au 10/06/2018, jours hors de grève.

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

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en gare RER C de Pèreire-Levallois montre une répartition « équilibrée » des mesures³. Sur l'ensemble de la campagne (hors jours de grève), 50 % des données horaires relevées à la gare RER C de Pèreire-Levallois sont comprises entre 58 et 115 µg/m³, pour une moyenne de 87 µg/m³ et une médiane à 86 µg/m³. La variabilité des données en gare de Pèreire-Levallois est proche de celles de Magenta, et moindre que celle observée en gare d'Avenue Foch.

Les niveaux mesurés à la gare de référence Avenue Foch sont nettement supérieurs à ceux de Pèreire-Levallois : 142 µg/m³ en moyenne, soit 63 % de plus. Les niveaux mesurés en gare de Magenta sont inférieurs de 20 % à ceux de Pèreire-Levallois, avec une moyenne de 70 µg/m³. Le maximum horaire rencontré en gare de Magenta (294 µg/m³, enregistré le 30/05/2018 à 10h) est cependant supérieur à celui rencontré en gare de Pèreire-Levallois (187 µg/m³) et inférieur à celui observé en gare d'Avenue Foch (851 µg/m³, enregistré lors de travaux nocturnes le 16/05/2018).

³ Répartition équilibrée : la taille des moustaches (différence entre valeur minimale et percentile 25, et entre percentile 75 et valeur maximale hors valeur(s) aberrante(s)) présente un ordre de grandeur cohérent par rapport à la « boîte » (différence entre percentile 25 et percentile 75), ou encore la moyenne et la médiane sont présentes dans la boîte. Cette répartition caractérise ainsi une distribution symétrique par rapport à la médiane.

2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

La boîte à moustaches des concentrations de PM_{2.5} relevées à la gare RER C de Pèreire-Levallois est présentée Figure 4, seulement **lors des jours hors grève**.

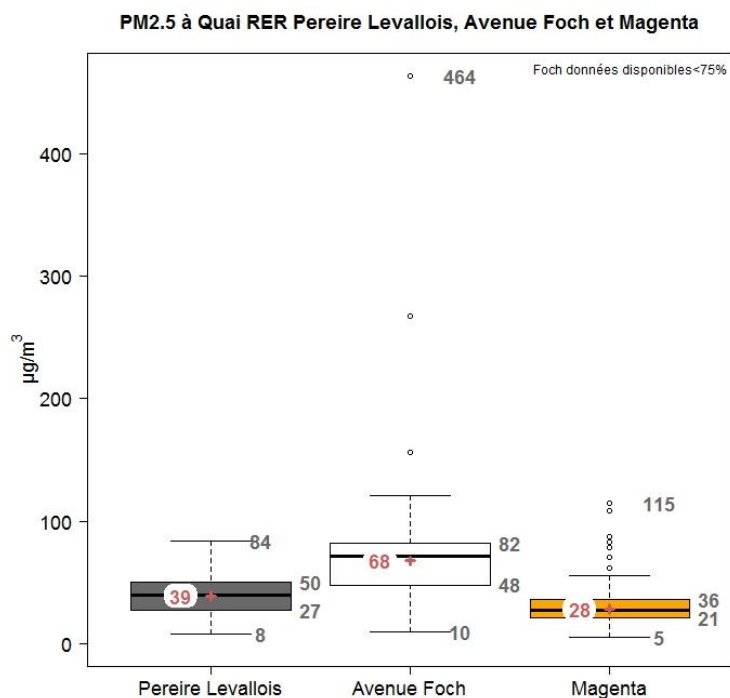


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018, jours hors grève.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM_{2.5} en gare RER C de Pèreire-Levallois montre une répartition « équilibrée » des mesures⁴. Sur l'ensemble de la campagne, 50 % des données horaires relevées à la gare RER C de Pèreire-Levallois sont comprises entre 27 et 50 µg/m³, pour une moyenne de 39 µg/m³ et une médiane à 40 µg/m³.

Comme pour les PM₁₀, les niveaux en gare d'Avenue Foch sont plus élevés que ceux de Pèreire-Levallois (+74 % par rapport à la moyenne), et les niveaux en gare de Magenta sont inférieurs (- 28 % par rapport à la moyenne).

La teneur moyenne relevée en particules PM₁₀ sur les quais de la gare RER C de Pèreire-Levallois pendant la campagne est de 87 µg/m³ pour les particules PM₁₀ et 39 µg/m³ pour les particules PM_{2.5}.

Ces niveaux moyens en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}), calculés sur l'ensemble de la période de mesure et sur seulement les jours hors grève, sont nettement inférieurs à ceux de la gare Avenue Foch et supérieurs à ceux de la gare Magenta.

⁴ Répartition équilibrée : la taille des moustaches (différence entre valeur minimale et percentile 25, et entre percentile 75 et valeur maximale hors valeur(s) aberrante(s)) présente un ordre de grandeur cohérent par rapport à la « boîte » (différence entre percentile 25 et percentile 75), ou encore la moyenne et la médiane sont présentes dans la boîte. Cette répartition caractérise ainsi une distribution symétrique par rapport à la médiane.

2.2 VARIABILITE TEMPORELLE

2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE

2.2.1.1. PARTICULES PM₁₀

Les relevés horaires des trois stations sont présentés à la Figure 5. Des pannes importantes sur les analyseurs se sont traduites par une absence de données en particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois et Avenue Foch pendant la période de mesure.

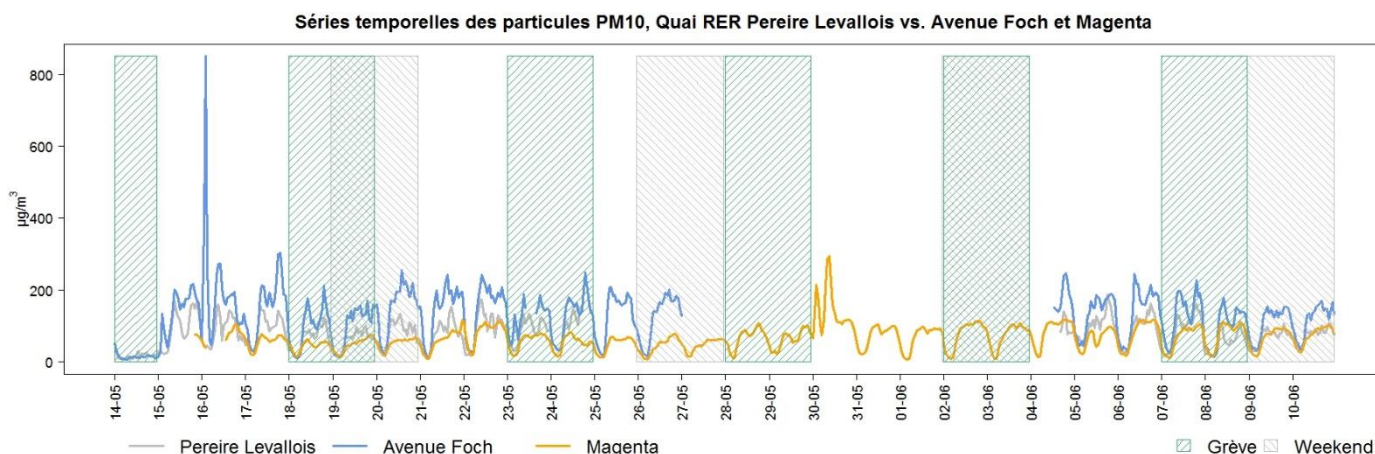


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare RER C de Pèreire-Levallois et gares de référence Avenue Foch et Magenta, période du 14/05 au 10/06/2018).

Les différences de niveaux observées à l'échelle horaire sont importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par la fréquentation de la gare, aussi bien en termes de trains que de voyageurs : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules PM₁₀ et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à Pèreire-Levallois, les teneurs dépassent 100 µg/m³ en journée, alors que la nuit, les niveaux sont d'une vingtaine de µg/m³. Les niveaux de nuit sont homogènes entre les trois gares. La relation entre les niveaux observés et le nombre de trains en circulation est présenté au paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.

Un impact des jours de grève (en hachuré vert) sur les concentrations est également observé. Selon le nombre de trains en circulation, les niveaux sont très faibles (14 mai), intermédiaires (18 mai) ou comparables aux niveaux habituels (23, 24 mai et 7, 8 juin).

Des travaux nocturnes ont ponctuellement impacté les niveaux en gare d'Avenue Foch le 16 mai (à 3h), et des niveaux inhabituels, de l'ordre de 200 µg/m³ ont été observés le 30 mai (entre 3 et 11h) en gare de Magenta, probablement dus en partie à des travaux.

Un évènement particulier non identifié le 30/05/2018 en matinée (9-10h) a engendré des teneurs importantes en PM₁₀ en gare de Magenta.

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

Les relevés horaires des particules PM_{2.5} sont présentés en Figure 6 pour les trois stations. Une panne sur l'analyseur en gare d'Avenue Foch s'est traduite par une absence de données en particules PM_{2.5} pendant la période de mesure.

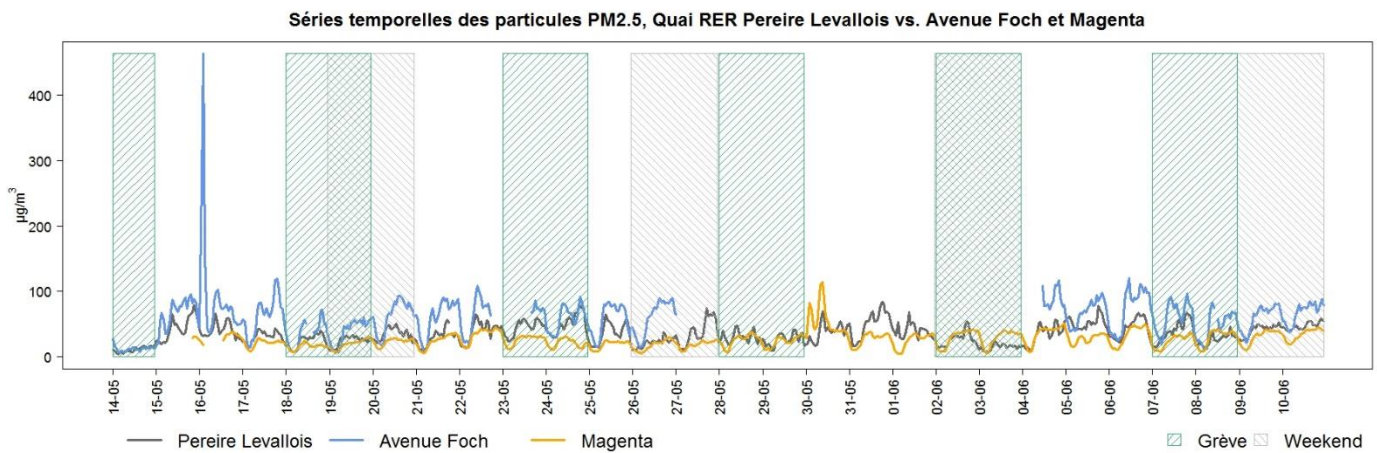


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ (gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018)

Ce graphique montre, comme pour les PM₁₀, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par le nombre de trains en circulation : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ainsi, en journée, les teneurs en PM_{2.5} avoisinent 40 µg/m³, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m³.

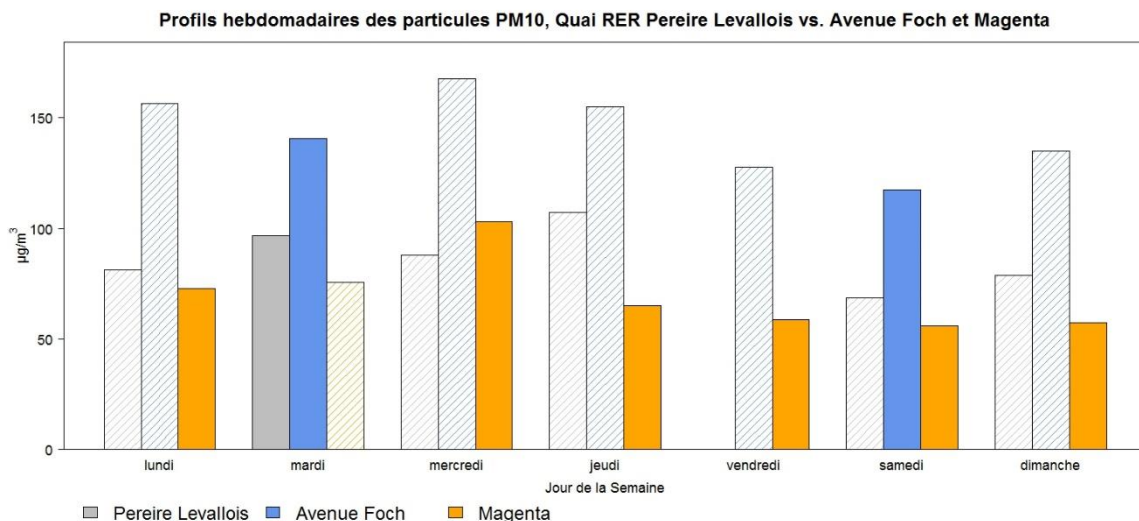
Un impact des jours de grève (en hachuré vert) sur les concentrations est également observé. Selon le nombre de trains en circulation, les niveaux sont très faibles (14 mai), intermédiaires (18 mai) ou comparables aux niveaux habituels (23, 24 mai et 7, 8 juin).

Comme pour les particules PM₁₀, les travaux nocturnes en gare d'Avenue Foch le 16 mai (entre 2 et 4h) ont ponctuellement impacté les niveaux en PM_{2.5}, et des niveaux inhabituels, de l'ordre de 100 µg/m³ ont été observés le 30 mai (entre 9 et 10h) en gare de Magenta.

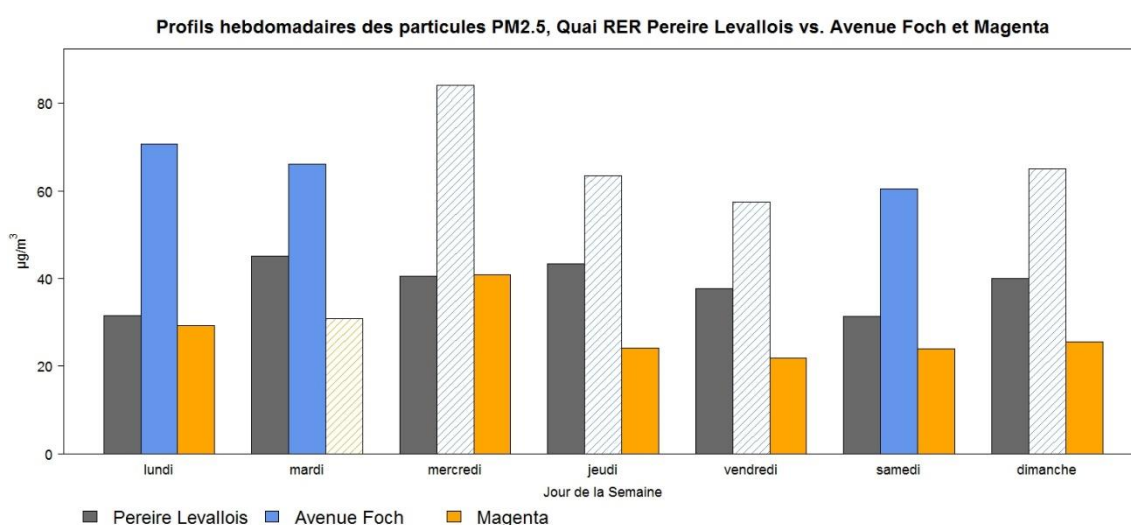
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Pèreire-Levallois sont présentés à la Figure 7 pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}. Seuls les jours hors grève ont été considérés. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Pèreire-Levallois et aux stations de référence.

Les différentes pannes sur les analyseurs se sont traduites par un manque de données, et pour certains jours, des données disponibles inférieures à 75%, d'où des valeurs en hachuré à la Figure 7.



(a)



(b)

Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018, et comparaison avec les résultats d'Avenue Foch et Magenta, hors jours de grève. En hachuré, données disponibles < 75%. Aucune donnée disponible en PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois le vendredi hors jours de grève.

Les niveaux moyens en particules PM₁₀ est de 92 µg/m³ sur une journée ouvrée et ceux en PM_{2.5} s'élèvent à 40 µg/m³. Comme sur les autres gares, les niveaux diminuent le weekend par rapport aux jours de semaine, de l'ordre de 18 % pour les PM₁₀ et 7 % pour les PM_{2.5}. En comparaison, en gare d'Avenue Foch, les teneurs ont diminué de 16% pour les PM₁₀ et 10% pour les PM_{2.5} entre les jours ouvrés et les week-ends (respectivement 25% et 17% en gare de Magenta). Ainsi les résultats sont proches entre les gares de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, gares proches géographiquement et sur la même ligne de RER.

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 8, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés hors grève.

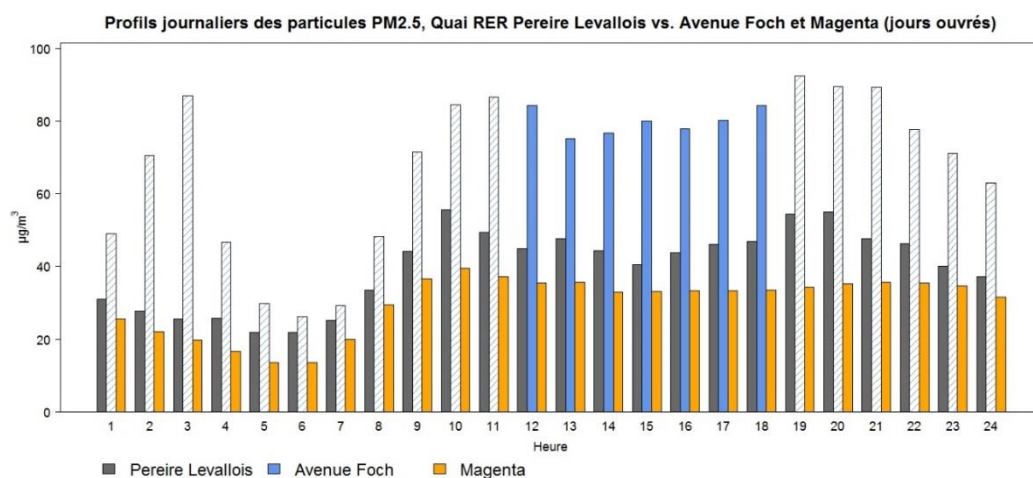
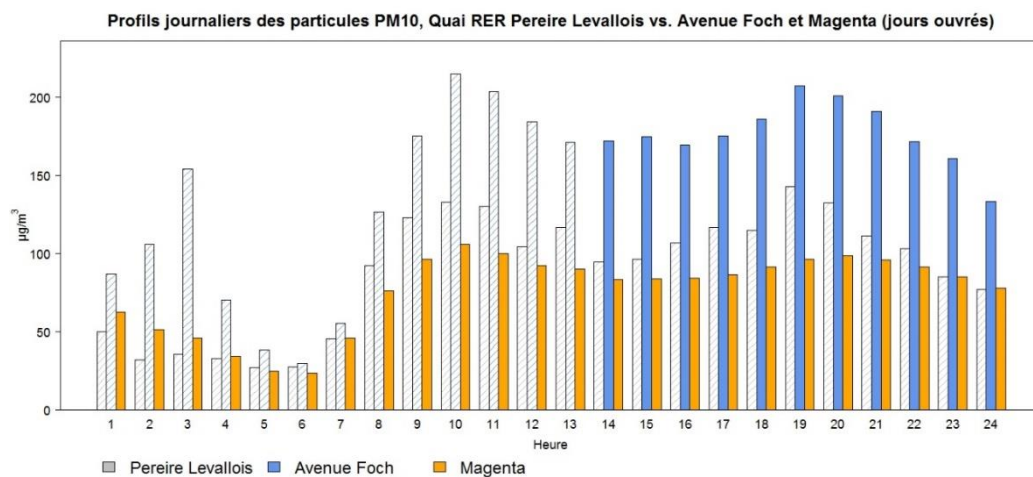


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018 et comparaison avec les résultats des stations de référence – jours ouvrés hors jours de grève. En hachuré, données disponibles < 75%

Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} ont des profils journaliers proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules le matin (mesures entre 9h-11h) et le soir (entre 18h - 20h). Sur ces plages horaires, les niveaux sont en moyenne de 125 µg/m³ pour les PM₁₀ et 50 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare de Pèreire-Levallois. Les heures de pointe à la gare d'Avenue Foch ont lieu aux mêmes heures que pour la gare de Pèreire-Levallois pour les PM₁₀ (la plage horaire est un peu plus tardive pour les PM_{2.5} à Avenue Foch). Aux heures de pointe, la moyenne des concentrations horaires enregistrées en gare de Pèreire-Levallois est 36 % et 38% inférieure à celles d'Avenue Foch, respectivement pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}.

Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 35 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et environ 27 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare de Pèreire-Levallois. Les travaux nocturnes ont impacté les concentrations moyennes en gare d'Avenue Foch. Ces profils journaliers en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) fluctuent en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire et la fréquentation sont également maximales (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

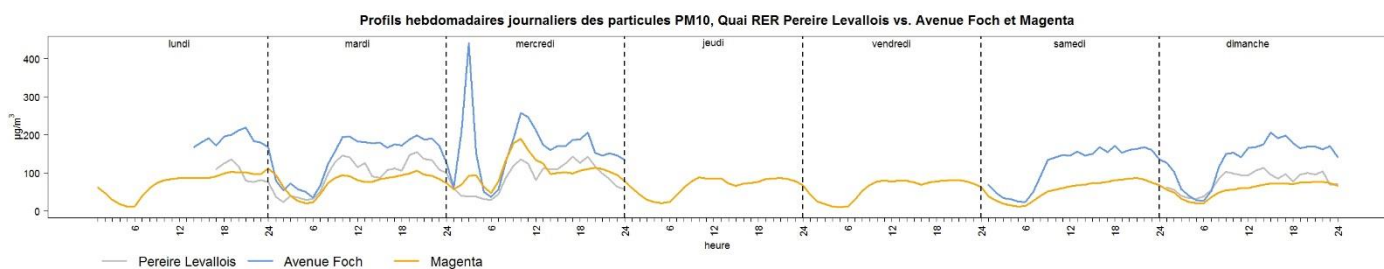
Le profil journalier en PM_{2.5} présente des variations horaires moindres (écart type de 9 µg/m³ sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM₁₀ (écart type de 29 µg/m³ sur la période d'ouverture de la gare), différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent davantage la fraction la plus grossière des particules. Cela peut également

s'expliquer en partie par un temps de déposition différent entre les particules (temps plus court pour les plus grosses particules).

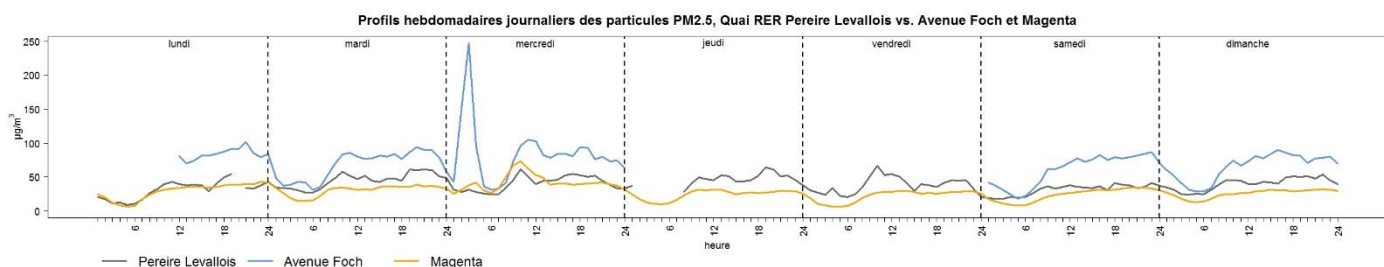
2.2.3.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne sur les quatre semaines de la campagne) est présenté en Figure 9. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM₁₀ et les PM_{2.5} aussi bien en gare de Pèreire-Levallois qu'aux stations de référence.

Les pannes observés sur les analyseurs se traduisent par une absence de données les jeudi et vendredi en gare d'Avenue Foch pour les PM_{2.5} et les jeudi et vendredi voire samedi en gare d'Avenue Foch et de Pèreire-Levallois pour les PM₁₀.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Pèreire-Levallois, à Magenta et Avenue Foch, période du 14/05 au 10/06/2018, hors jours de grève.

Les variations montrent d'une part les fluctuations les jours ouvrés (niveaux les plus faibles la nuit, puis hausse des teneurs en journée avec les maxima entre 9-11h et 18-20h) et les niveaux homogènes entre la semaine et le weekend, cependant avec moins de variations horaires le weekend (augmentation régulière le long de la journée, maximum le soir).

Les niveaux en gare de Pèreire-Levallois sont similaires voire supérieurs à ceux de Magenta, avec cependant des variations journalières plus importantes lors des heures de pointe notamment.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) sont fortement liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains, voir paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs moyennes sur la semaine plus élevées que le weekend, ceci pour les PM₁₀ et les PM_{2.5} (+18 % et +7 %). Ces tendances sont également observées dans les gares de référence.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles. Ils augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, entre 9 et 11h le matin et entre 18h et 20h le soir en gare de Pèreire-Levallois. Lors de ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent 125 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 50 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Cette dynamique est également observée dans les gares de référence.

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées de cinq types d'éléments : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes souterraines, notamment des systèmes de freinage⁵, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois chaque jour ouvré pendant une semaine (du 21 au 25 mai). Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h. Des mesures à la station Avenue Foch ont été réalisées en parallèle, selon le même protocole. Suite à la panne sur l'analyseur de particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois, les données ne sont pas disponibles pour les 24 et 25 mai.

Les onze métaux suivants ont été étudiés : Aluminium, Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature⁵.

2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Le graphique suivant (Figure 10) montre la part de métaux enregistrée dans les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure, en gare de Pèreire-Levallois et Avenue Foch.

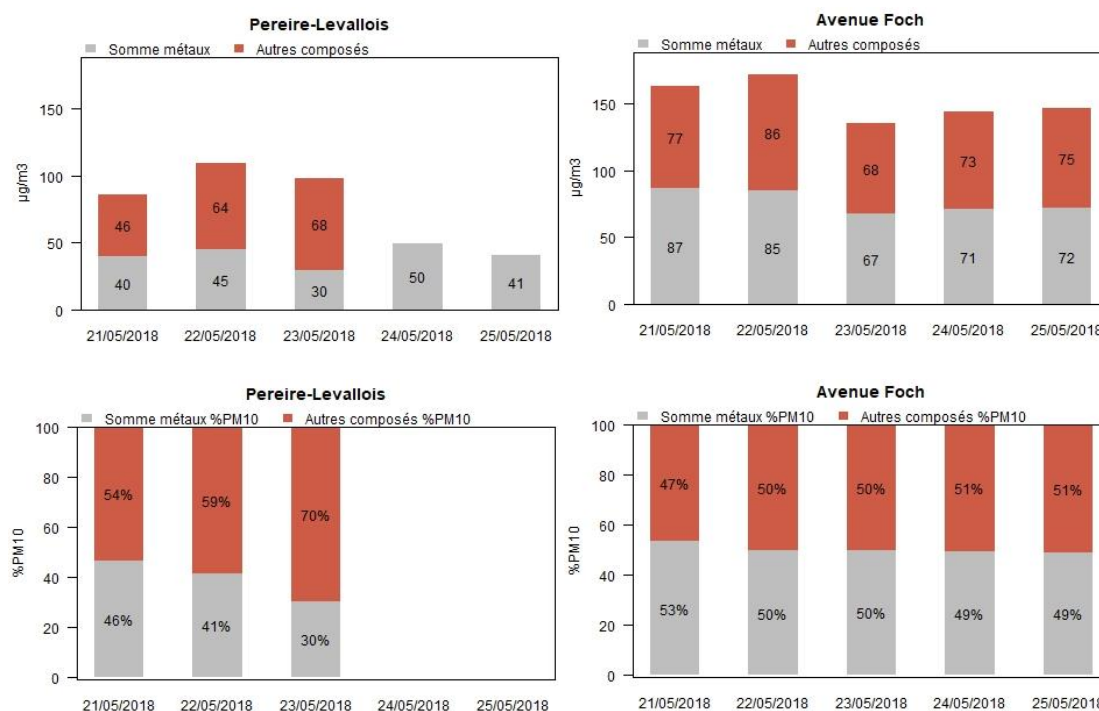


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement en concentration et en % de particules PM₁₀, à la gare RER C de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, période du 21/05/2017 au 25/05/2017.

En gare de Pèreire-Levallois, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 30 µg/m³ (le 23/05/2018) à 50 µg/m³ (le 24/05/18). La part des métaux a varié de

⁵ 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.

46 % (le 21/05/2018) à 30 % (le 23/05/2018). Les teneurs les moins élevées ont été enregistrées le 23/05, jour de grève.

En moyenne sur les 3 jours de mesures disponibles, la part des métaux dans les particules PM₁₀ est de 39 % en gare de Pèreire-Levallois. Cette proportion est comparable à certaines gares précédemment instrumentées.

Sur la même période, à la station Avenue Foch, la concentration des métaux a varié entre 67 µg/m³ (le 23/05/2018) et 87 µg/m³ (le 21/05/2018). La part de métaux a varié de 49 % (les 24 et 25/05/2018) à 53 % (le 21/05/2018). En moyenne sur la semaine, la part des métaux dans les particules PM₁₀ est de 50% en gare Avenue Foch.

La part des métaux dans les particules est donc plus faible en gare de Pèreire-Levallois qu'en gare d'Avenue Foch, en partie en raison de l'influence de l'air extérieur dans cette gare (ouverture des voies à une extrémité de la gare).

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 21 et le 25/05/2018, aussi bien en gare de Pèreire-Levallois qu'à Avenue Foch. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

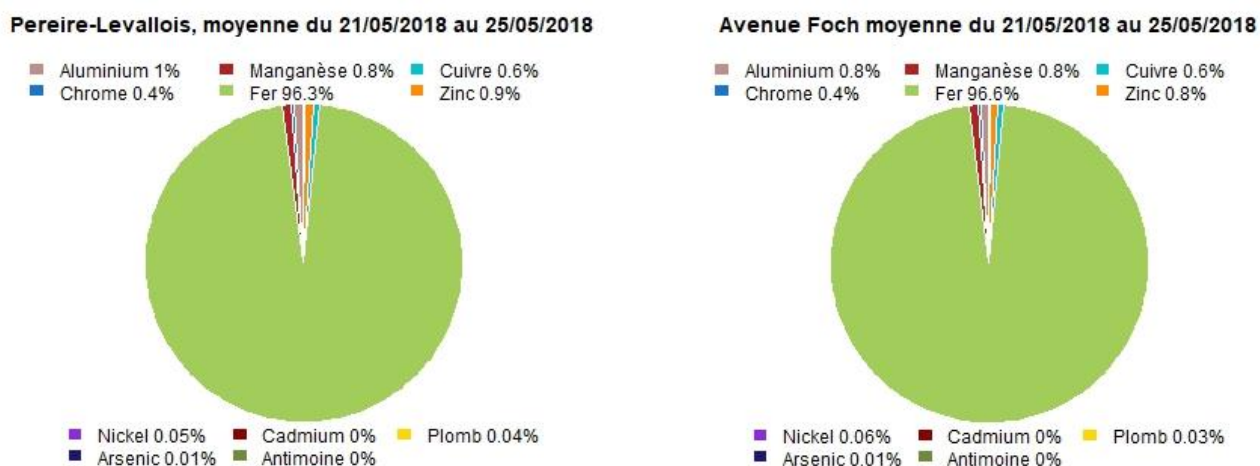


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 21/05 au 25/05/2018, en gare de Pèreire-Levallois et Avenue Foch.

La contribution moyenne de chaque métal est très proche à Pèreire-Levallois et à Avenue Foch.

Parmi les onze métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 96 % des métaux mesurés à Pèreire-Levallois et 97% à Avenue Foch. Ce résultat est similaire aux résultats des précédentes campagnes.

En dehors du fer, les métaux dont les concentrations sont les plus élevées en gare de Pèreire-Levallois sont l'**Aluminium**, le **Zinc** et le **Manganèse**, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1 % pour l'**Aluminium** (0,8 % à Avenue Foch), 0,9 % pour le **Zinc** (0,8 % à Avenue Foch), 0,8 % pour le **Manganèse** (idem à Avenue Foch).

Le **Cuivre** représente 0,6 % des concentrations en métaux en gare de Pèreire-Levallois (idem à Avenue Foch), le **Chrome** 0,4 % (idem à Avenue Foch).

Les proportions en **Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Pèreire-Levallois ou Avenue Foch.

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Aluminium, Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arсенic, le Cadmium, l'Antimoine et le Plomb.

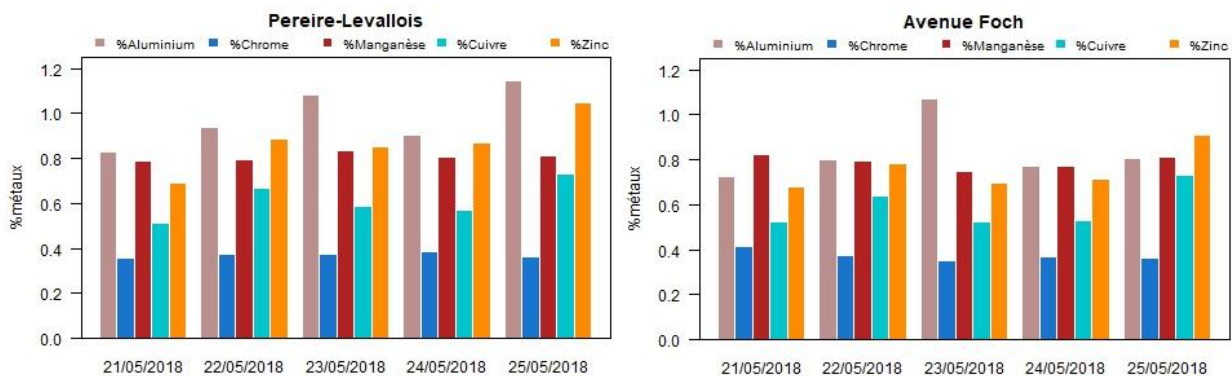


Figure 12 – Part journalière d'Aluminium, Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, période du 21/05/2018 au 25/05/2018.

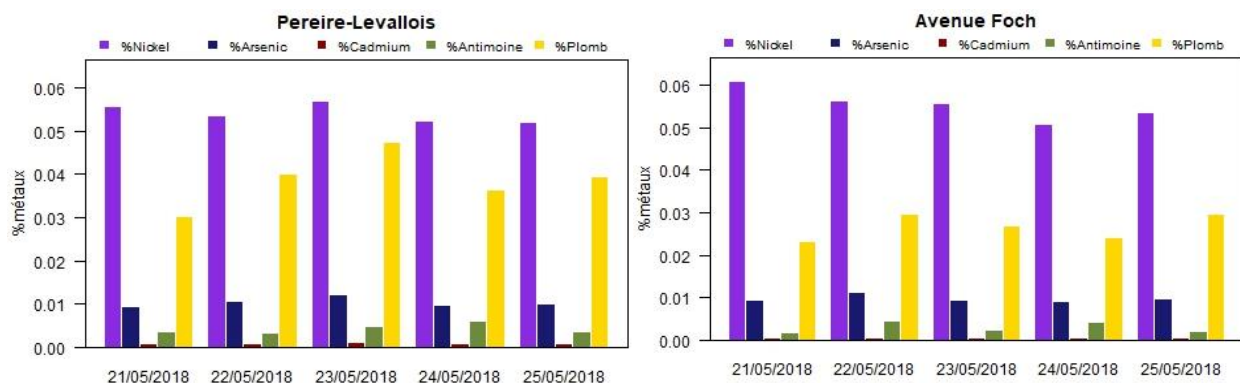


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, période du 21/05/2018 au 25/05/2018.

La part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure sur les deux gares (une certaine variabilité est observée sur les teneurs en Aluminium).

Les sources de métaux identifiées dans les enceintes souterraines ferroviaires sont :

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, en quantité négligeable, Chrome, Plomb, Cuivre, Nickel, Antimoine) peuvent être présents dans les semelles de frein.
- Les émissions lors du roulage. Les principaux composés des rails ou encore des roues sont le Fer, le Chrome, le Nickel ou encore le Manganèse.

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

Le Cuivre peut être présent dans les câbles d'alimentation électrique. Dans les enceintes souterraines ferroviaires, il est émis lors du contact entre les pantographes et les caténaires (système d'alimentation). Il peut également être présent dans les semelles de frein et par conséquent être émis lors du freinage, comme l'Aluminium. Ce composé est également émis lors de l'abrasion due au roulement.

Les métaux mesurés sont cohérents avec les sources identifiées et les résultats de la littérature. L'analyse bibliographique dans les réseaux ferroviaires français (hors réseau francilien) met en avant le Fer comme élément dominant, suivi du Cuivre, du Zinc, de l'Antimoine et du Manganèse. Les résultats à l'échelle des grandes villes mondiales mettent également en avant le Baryum (non mesuré), le Nickel et le Chrome. Ainsi les observations sur le réseau francilien sont cohérentes avec les résultats dans des environnements similaires.

2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 14) présente les concentrations observées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Pèreire-Levallois et à la station de référence Avenue Foch.

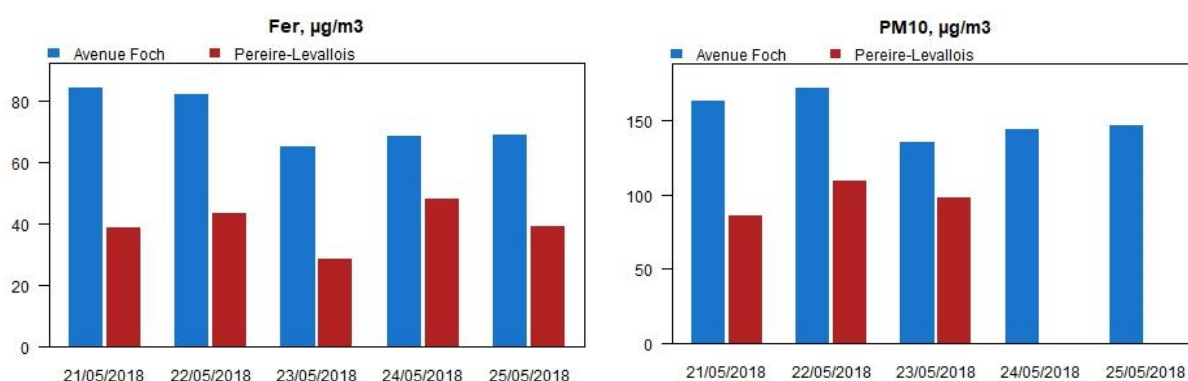


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM₁₀ à la gare RER C de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, période du 21/05/2018 au 25/05/2018.

Les teneurs en **Fer** sont plus faibles à Pèreire-Levallois qu'à Avenue Foch, en lien direct avec les niveaux plus faibles de particules PM₁₀ : les moyennes journalières en particules PM₁₀ ont varié entre 86 µg/m³ (21/05/2018) et 109 µg/m³ (22/05/2018) en gare de Pèreire-Levallois (moyenne 98 µg/m³ sur 3 jours) et entre 135 et 171 µg/m³ à Avenue Foch (moyenne 152 µg/m³).

Cinq métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m³. Il s'agit de l'**Aluminium**, du **Manganèse**, du **Cuivre**, du **Chrome** et du **Zinc** pour la gare de Pèreire-Levallois. Les concentrations de ces composés sont environ 2 fois plus faibles qu'à Avenue Foch. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières d'**Aluminium** ont varié entre 320 et 466 ng/m³.

Celles de **Manganèse** ont varié entre 246 et 397 ng/m³.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 173 à 299 ng/m³.

Les concentrations journalières en **Chrome** ont varié de 110 à 189 ng/m³.

Les teneurs journalières en **Zinc** à Pèreire-Levallois ont varié de 252 à 430 ng/m³.

Les cinq autres métaux ont varié comme suit :

- Entre 17 et 26 ng/m³ pour le **Nickel** ;
- Entre 3,5 et 4,8 ng/m³ pour l'**Arsenic** ;
- Pour le **Cadmium**, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 0,25 ng/m³ (inférieurs à la limite de quantification) ;
- Entre 1 et 3 ng/m³ pour l'**Antimoine** ;
- Entre 12 et 18 ng/m³ pour le **Plomb**.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois varie de 30 à 46 % sur les trois jours de mesure disponibles. A Avenue Foch, la part des métaux dans les particules PM₁₀ est supérieure, variant entre 49 % et 53 %. L'air en gare de Pèreire-Levallois est en effet plus influencé par l'air extérieur moins riche en métaux, les voies étant aériennes en sortie de la gare.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 96 % des métaux mesurés, aussi bien à Pèreire-Levallois qu'Avenue Foch (97 %). Viennent ensuite l'**Aluminium** (1 %), le **Zinc** (0,6 %), le **Cuivre** (0,6 %), le **Manganèse** (0,8 %) et le **Chrome** (0,4 %). Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, et Plomb et Antimoine sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués. Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares.

Les teneurs de métaux à Pèreire-Levallois sont plus faibles qu'à Avenue Foch, liées essentiellement aux niveaux de PM₁₀ plus faibles.

2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM_{2.5}

L'examen du ratio PM_{2.5} / PM₁₀ peut permettre d'identifier des sources de particules différentes.

2.4.1. NIVEAUX MOYENS

Les particules émises par le trafic ferroviaire (passage des trains, freinage, remise en suspension) sont de grosse taille.

Le ratio entre particules très fines (PM_{2.5}) et particules fines (PM₁₀) est présenté à la Figure 15. Pour les gares de Pèreire-Levallois et Avenue Foch, les données disponibles sont inférieures à 75%, suite aux pannes enregistrées sur les analyseurs.

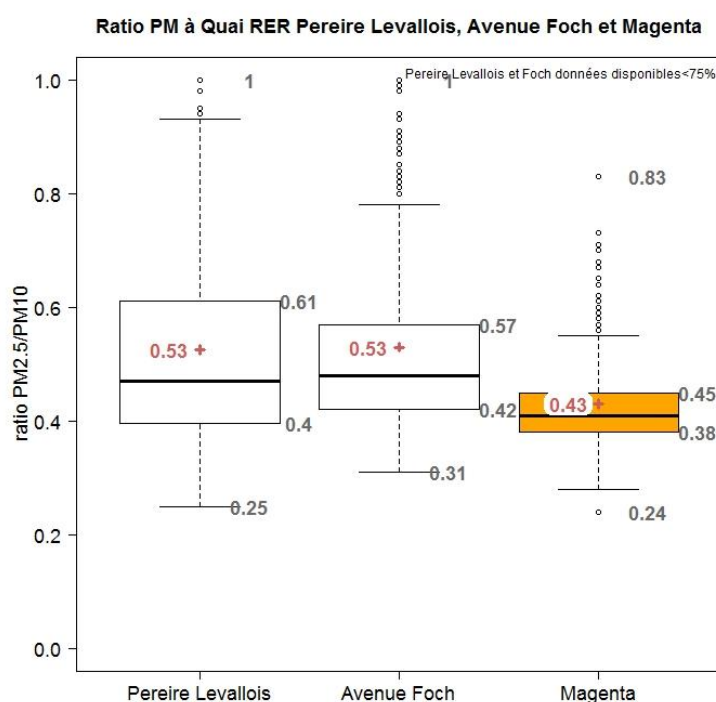


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM_{2.5}/PM₁₀, à la gare RER C de Pèreire-Levallois et aux stations de référence Magenta et Avenue Foch, période du 14/05/2018 au 10/06/2018, [hors jours de grève](#).

En moyenne, en gare de Pèreire-Levallois, le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ est de 0,53. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,53 à Avenue Foch et 0,43 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. La moyenne du ratio à Pèreire-Levallois, plus élevée par rapport à la gare Magenta, s'explique par l'ouverture des voies à l'extrémité de la gare.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de $PM_{2,5}/PM_{10}$ sont présentées à la Figure 16.

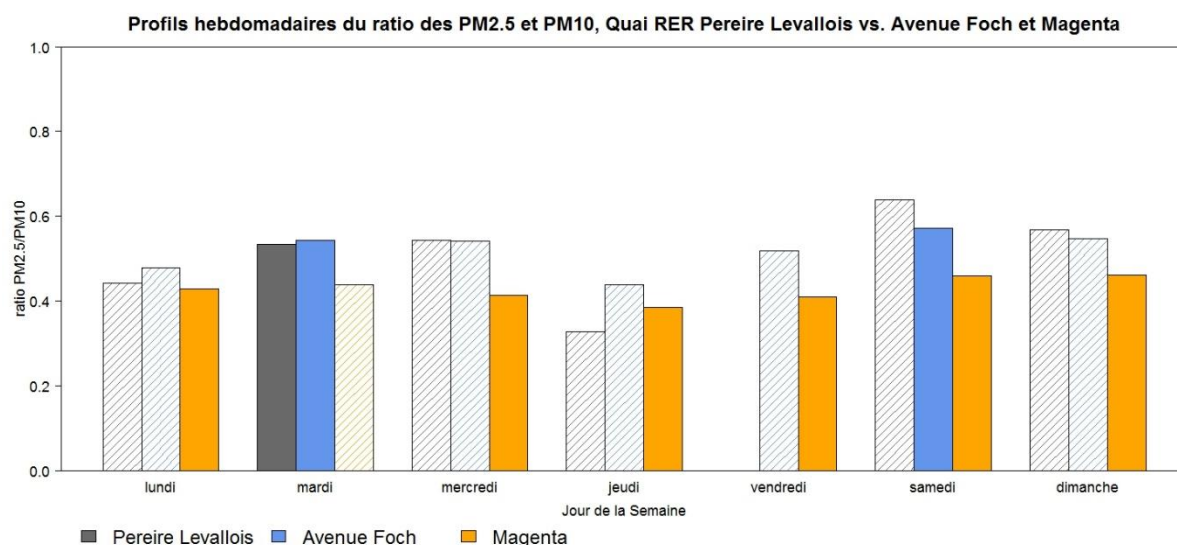


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Pèreire-Levallois et aux stations de référence de Magenta et Avenue Foch, période du 14/05/2018 au 10/06/2018, hors jours de grève. En hachuré, données disponibles < 75%

Le ratio journalier moyen en gare de Pèreire-Levallois est de 0,5, oscillant entre 0,33 et 0,54 les jours ouvrés. Cela s'explique par des sources stables de $PM_{2,5}$ et PM_{10} tout le long de la semaine. Le ratio est plus élevé le weekend de 15 % par rapport aux jours ouvrés de semaine, de par les activités moins importantes de la gare (moins d'émissions dû au freinage, moins de remise en suspension due à une fréquentation moindre) : l'influence de l'air extérieur est alors plus importante qu'en semaine. Les profils horaires hebdomadaires du ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentés à la Figure 17.

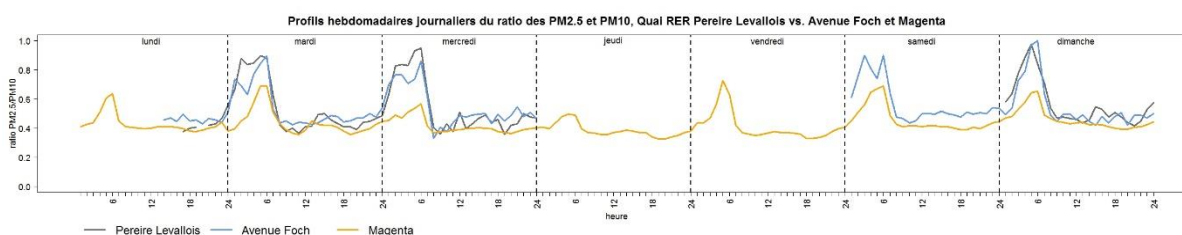


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Pèreire-Levallois et aux stations de référence, période du 14/05/2018 au 10/06/2018, hors jours de grève.

La comparaison des profils de Pèreire-Levallois avec ceux des gares de référence est difficile à cause des pannes sur les analyseurs, ayant réduit le nombre de données disponibles. Cependant, sur les jours disponibles pour la comparaison (mardi, mercredi), les profils de Pèreire-Levallois sont proches de ceux des gares de référence mais celui de Pèreire-Levallois est plus fluctuant en journée. Les trois gares présentent une hausse nocturne du ratio, lorsque l'activité de la gare est plus faible ou nulle (trains, voyageurs), que les particules PM_{10} se déposent au sol et que les concentrations en PM_{10} diminuent fortement pour se rapprocher de celles des $PM_{2,5}$.

Les profils moyens journaliers du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ sont présentés à la Figure 18.

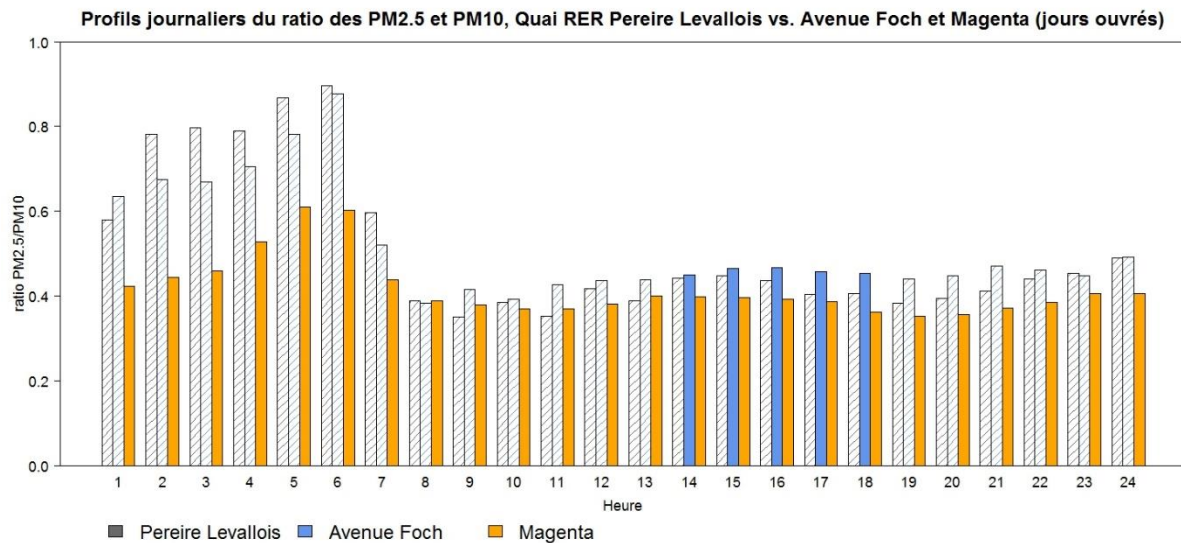


Figure 18 – Évolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Pèreire-Levallois et aux stations de référence Magenta et Avenue Foch, période du 14/05/2018 au 10/06/2018 – jours ouvrés hors grève. En hachuré, données disponibles < 75%

Une stabilité des ratios est observée en journée (de 7h à minuit), autour de 0,40. Les ratios augmentent la nuit, jusqu'à 0,9 (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public), en lien avec la dépose des particules PM_{10} au sol, d'où une diminution importante des concentrations en PM_{10} . Sur l'ensemble de la journée, le ratio en gare de Pèreire-Levallois est équivalent à celui d'Avenue Foch. En moyenne sur la période 7-24h, il est légèrement inférieur à Pèreire-Levallois par rapport à Avenue Foch, mais supérieur sur la période nocturne. Les ratios en gare de Magenta sont moins élevés (0,42 en moyenne sur la journée), résultats déjà observés lors des précédentes campagnes de mesure.

Les particules PM_{10} mesurées en gare de Pèreire-Levallois sont constituées pour environ la moitié de particules $PM_{2.5}$ (ratio moyen de 0,53). Le ratio moyen $PM_{2.5}/PM_{10}$ atteint 0,53 à Avenue Foch et 0,43 à Magenta.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est relativement stable **à l'échelle hebdomadaire** à Pèreire-Levallois et aux deux autres gares. Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est plus élevé le weekend que durant les jours ouvrés de par les activités moins importantes de la gare (moins de circulation de trains, moins de remise en suspension due à la fréquentation notamment).

A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent entre le jour et la nuit sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,40 en journée, qui augmente la nuit jusqu'à 0,9, lorsque les concentrations en PM_{10} diminuent fortement pour se rapprocher de celles des $PM_{2.5}$ et lorsque l'air extérieur est la seule influence pour les particules de la gare de Pèreire-Levallois.

3. FACTEURS D'INFLUENCE

3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR

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

La qualité de l'air extérieur est influencée au quotidien par les émissions anthropiques et les conditions météorologiques. Aussi il est important de préciser si les paramètres météorologiques observés pendant la période de mesure ont été ou non favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique. Des conditions dispersives des polluants atmosphériques correspondent à des états dépressionnaires, avec un temps pluvieux ou venteux. A l'inverse, des temps anticycloniques, avec peu de vents ou des inversions de température, sont souvent synonymes de conditions météorologiques défavorables pour la qualité de l'air extérieur.

Pendant cette campagne de mesure, les conditions météorologiques ont été très humides, avec de forts cumuls de pluie sur la période de la campagne. Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁶, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible pendant 29 % du temps de la campagne de mesure (8 jours) et l'indice « moyen » a été enregistré pendant 20 jours (71 % du temps). Les indices les plus faibles ont été enregistrés entre le 29 mai et le 3 juin, conséquence de conditions météorologiques très dispersives (averses intenses).

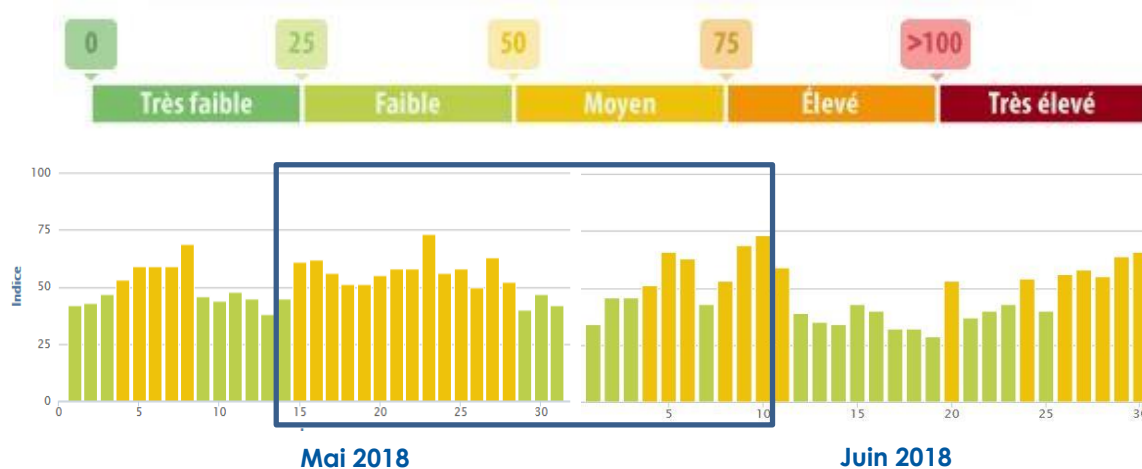


Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois de mai et juin 2018.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Pèreire-Levallois avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée à la Figure 20 pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}.

⁶ http://www.airqualitynow.eu/fr/about_indices_definition.php : A travers une échelle de 5 couleurs allant du vert au rouge en passant par l'orange (5 classes et 5 qualificatifs, qualité de l'air " très faible " à " très élevée "), l'indice CITEAIR informe sur la qualité de l'air en situation de fond à travers un indice général. Les polluants pris en compte sont les polluants les plus problématiques, à savoir le NO₂, les PM₁₀ et l'ozone. Les données de CO, PM_{2.5} et SO₂ sont facultatives.

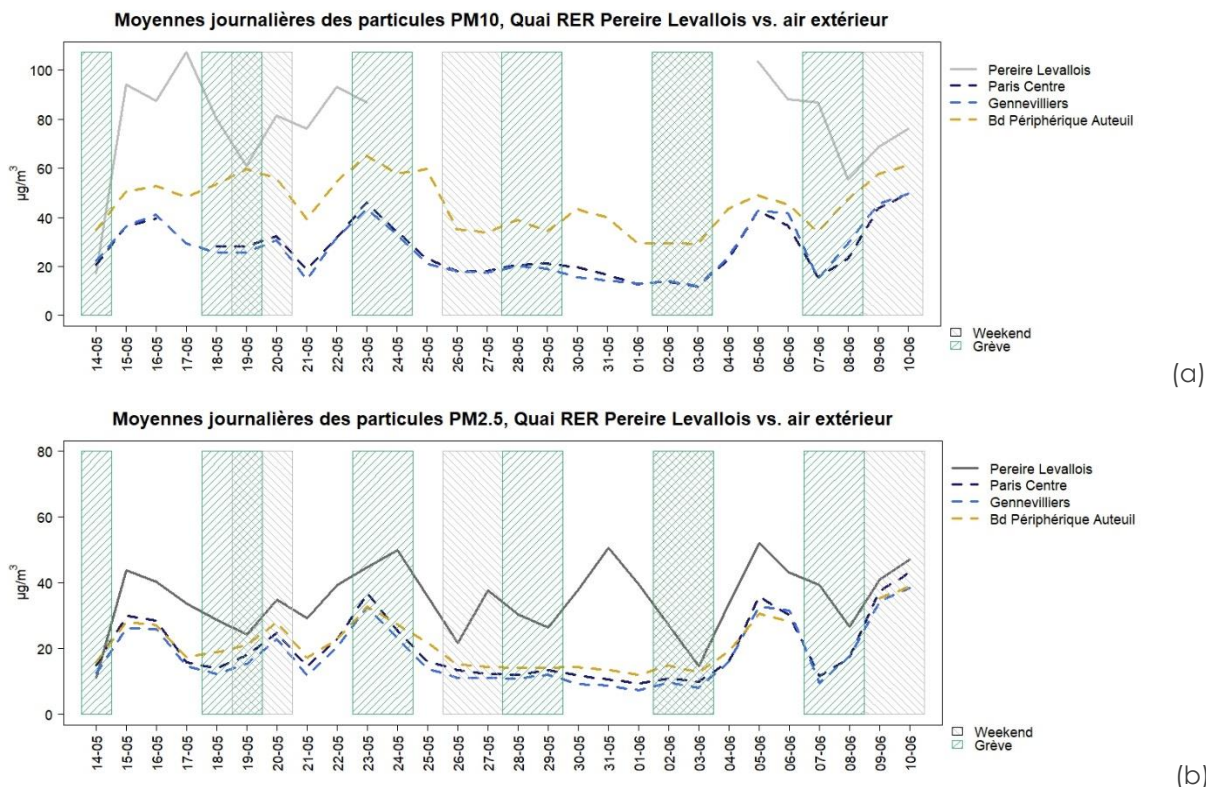


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM₁₀ (a) et en PM_{2.5} (b) en gare de Pèreire-Levallois et en air extérieur (situation de fond à Paris Centre et Gennevilliers, en proximité du trafic routier à Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil), période du 14/05 au 10/06/2018.

Trop peu de données sont disponibles pour les PM₁₀ en gare de Pèreire-Levallois pour comparer les concentrations sur le quai et celles de l'air extérieur.

Concernant les particules PM_{2.5}, certaines fluctuations des teneurs enregistrées en air extérieur par les stations du réseau Airparif se retrouvent sur le quai à Pèreire-Levallois (notamment entre le 14 et le 25 mai et entre le 3 et le 10 juin). Cela peut s'expliquer par la configuration de la gare (ouverture des voies en sortie de gare). En revanche, les hausses des teneurs en PM_{2.5} sur les quais de la gare de Pèreire-Levallois entre le 25 mai et le 3 juin ne sont pas corrélées avec l'air extérieur.

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en CO₂, qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources de CO₂ (combustion, respiration humaine, source extérieure). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les résultats sur ces données sont présentés à la Figure 21.

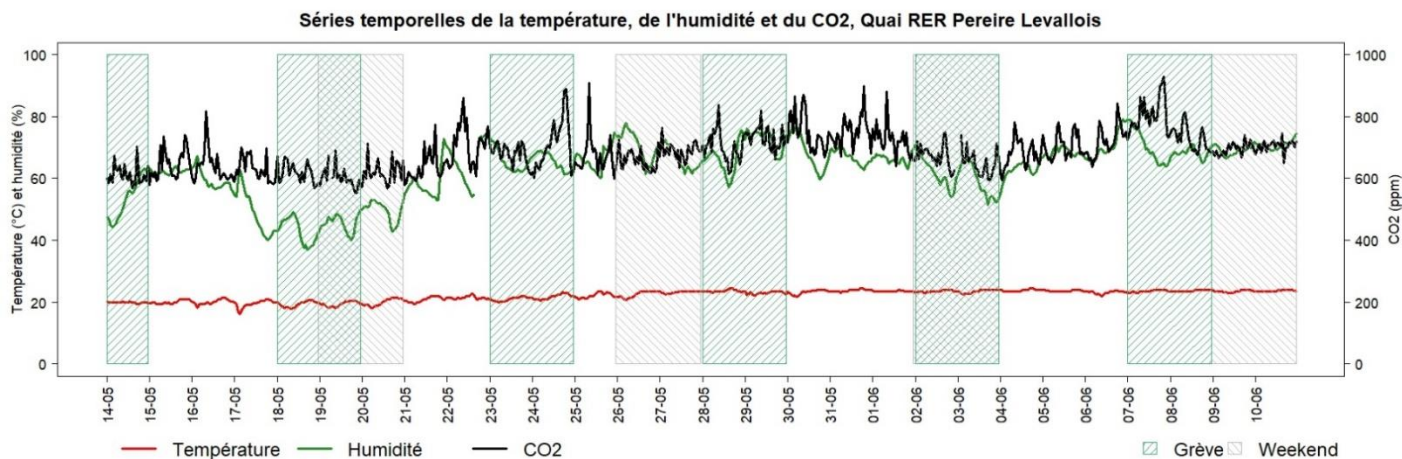


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05/2018 au 10/06/2018

Sur l'ensemble de la période (jours de grève compris), la température moyenne en gare de Pèreire-Levallois est de 22°C, les relevés horaires ayant varié entre 16 et 24°C. L'humidité relative moyenne en gare de Pèreire-Levallois est de 63 %, les relevés horaires ayant fortement varié de 37 % à 79 %. Ces relevés sont en moyenne similaires à ceux de la gare d'Avenue Foch, mais plus variables car plus influencés par les variations de l'air extérieur.

Les relevés horaires en CO₂ sont également fluctuants, comme les paramètres de température et d'humidité, ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 684 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 553 ppm et 930 ppm. Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, seuil à respecter dans des conditions normales d'occupation d'un bâtiment non résidentiel⁷.

Le profil journalier des niveaux de CO₂ (jours ouvrés hors jours de grève) en gare de Pèreire-Levallois, comparé à celui des PM₁₀, est présenté Figure 22.

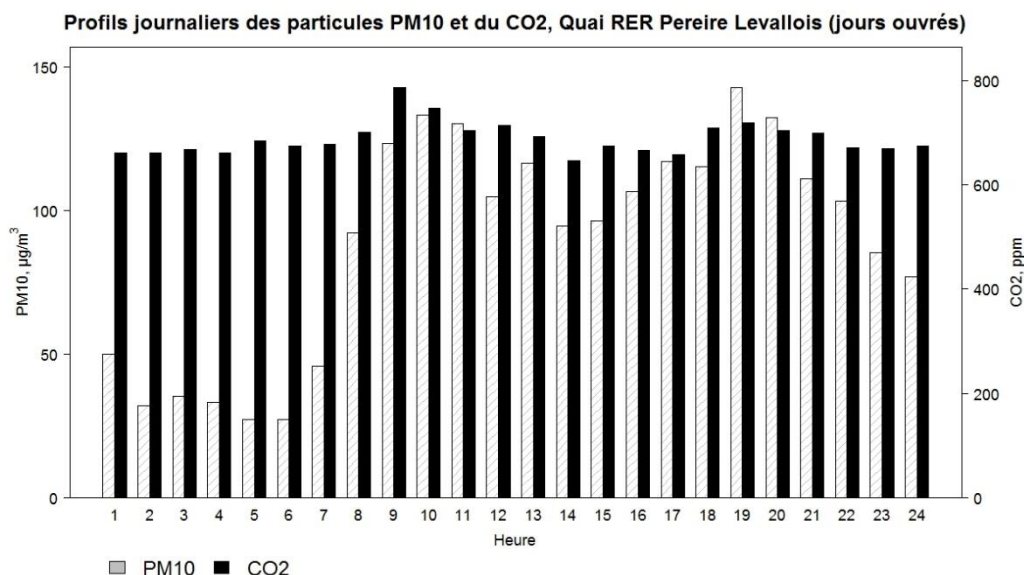


Figure 22 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018 – jours ouvrés hors grèves.

Comparées aux fluctuations des concentrations de PM₁₀, les variations horaires des concentrations de CO₂ sont en moyenne faibles dans la gare de Pèreire-Levallois. La comparaison des

⁷ Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.

concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés montre que les teneurs maximales en particules sont observées avec un décalage par rapport aux teneurs maximales de CO₂ d'une heure le matin, et en même temps le soir.

3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

Certains paramètres techniques de la gare, tels que la fréquence des trains, la ventilation de la gare ou encore des perturbations du trafic, doivent être pris en compte en tant que potentiel explicatif des niveaux de particules.

La gare de Pèreire-Levallois ne bénéficie pas de système de ventilation mécanique, les entrées et sorties d'air sont « naturelles ». L'étude de l'influence des paramètres de ventilation sur les niveaux de particules dans la gare n'est donc pas possible.

Il existe une différence du nombre de voyageurs entre les gares, mais cette variable n'explique peut-être pas à elle-seule les niveaux observés en gare : la gare de Pèreire-Levallois est plus fréquentée que celle d'Avenue Foch (9 719 voyageurs par jour montant contre 1 823 à Avenue Foch, source interne SNCF : carte des montants 2016) et pourtant les concentrations en particules y sont plus faibles. Pareillement, la gare de Magenta est très largement plus fréquentée que celle de Pèreire-Levallois (78 212 voyageurs par jour montant à Magenta), mais les teneurs en particules y sont moindres.

Le nombre de trains circulant en gare de Pèreire-Levallois (et aux stations de référence) pendant la campagne de mesure a été transmis par la SNCF Gares d'Ile-de-France, selon différentes périodes : JOB (jours ouvrés du mardi au jeudi) d'une part, et samedi et dimanche, d'autre part (trafic normal, donc hors jour de grève).

En moyenne, les jours ouvrés, 169 trains circulent en gare de Pèreire-Levallois (contre 170 en gare d'Avenue Foch et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 143 trains qui circulent en moyenne en gare de Pèreire-Levallois (143 à Avenue Foch et 407 à Magenta) et 143 trains le dimanche (145 à Avenue Foch et 407 à Magenta). Le nombre de trains en circulation en gare de Pèreire-Levallois est ainsi très proche de celui de la gare d'Avenue Foch (gares sur la même branche du RER C). Les chiffres, pour la gare de Pèreire-Levallois, sont présentés en Figure 23 à l'échelle horaire.

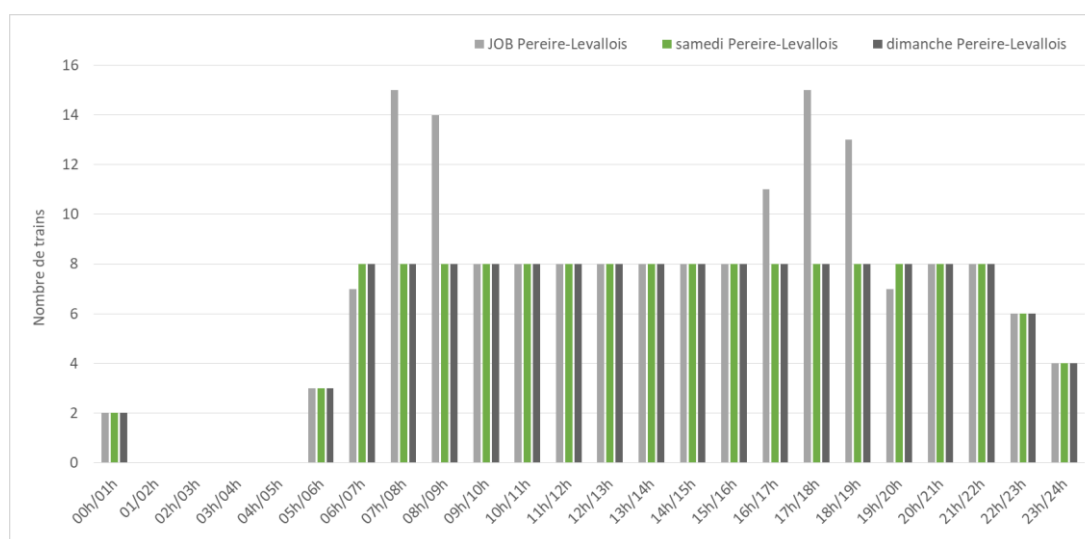


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Pèreire-Levallois (jours ouvrés hors jours de grève).

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 24, pour les jours ouvrés (hors jours de grève), pour la gare de Pèreire-Levallois. Le profil des teneurs en particules PM₁₀ est corrélé au nombre de trains en circulation, avec un décalage de 1 heure, comme habituellement observé sur les précédentes gares étudiées.

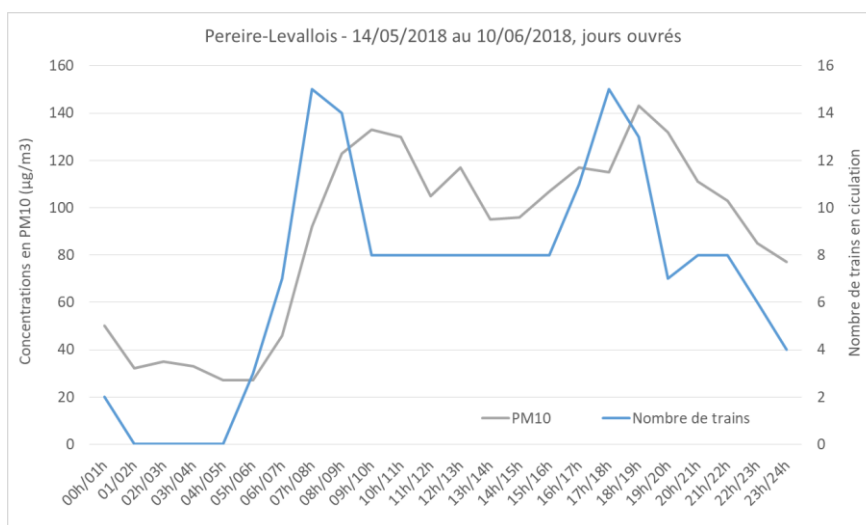


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées les jours ouvrés (hors jours de grève) et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules en fonction du type de jour (JOB, samedi ou dimanche) est présenté à la Figure 25.

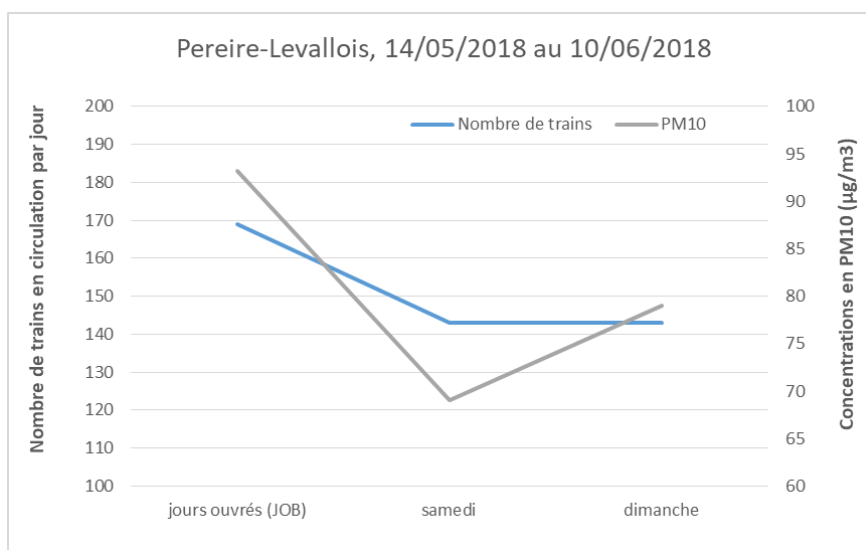


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche (hors jours de grève), à la gare RER C de Pèreire-Levallois, période du 14/05 au 10/06/2018.

En gare de Pèreire-Levallois, la diminution du nombre de trains en circulation le week-end se traduit par une baisse des teneurs en particules : baisse de 15 % du nombre de trains et diminution de 18 % des niveaux de PM₁₀.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur ou les paramètres techniques de la gare de Pèreire-Levallois a été étudiée.

- **Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules** sur le quai, d'où des maxima observés aux heures de pointe en semaine. L'influence du nombre de trains est visible au niveau journalier et au niveau hebdomadaire (semaine/weekend) : les concentrations sont plus faibles le weekend lorsque moins de trains circulent.
- L'influence de l'air extérieur sur les niveaux sur le quai de Pèreire-Levallois n'est pas facilement quantifiable. Elle semble variée selon la période considérée.

La gare ne dispose pas de ventilation mécanique, celle-ci n'a donc pas pu être étudiée.

4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Pèreire-Levallois, pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5} :

- La teneur en particules fines PM₁₀ mesurée sur les quais du RER C en gare de Pèreire-Levallois au cours des mois de mai/juin 2018 (hors jours de grève) était en moyenne de 87 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 187 µg/m³ (enregistré lors de la pointe du soir le 5 juin).
- Le niveau moyen en particules très fines PM_{2,5} atteint 39 µg/m³, pour un maximum horaire de 84 µg/m³ (enregistré lors de la pointe du soir le 31 mai).

Les concentrations moyennes en particules PM₁₀ à la gare de Pèreire-Levallois sont 40 % inférieures à celles enregistrées sur la même période (toute la période de mesure) à la station de référence d'Avenue Foch (RER C, station non ventilée). Elles sont par ailleurs supérieures de 24 % à celles mesurées en gare de Magenta.

Comme pour les PM₁₀, les concentrations moyennes en PM_{2,5} en gare Pèreire-Levallois sont inférieures de 40 % à celles enregistrées sur la même période à la station de référence d'Avenue Foch (RER C, station non ventilée). Elles sont par ailleurs supérieures d'environ 40 % à celles mesurées en gare de Magenta.

Comme pour les autres gares étudiées, l'analyse des teneurs en métaux des particules PM₁₀ confirme la présence majoritaire du Fer (environ 96 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion l'Aluminium (1 %), le Zinc (0,9 %), le Manganèse (0,8 %), le Cuivre (0,6 %) et le Chrome (0,4 %). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare d'Avenue Foch.

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation. Les différences de niveaux entre gares s'expliquent aussi par le système de ventilation, le volume de la gare et sa configuration, et les activités environnantes. En effet, le système de ventilation en place en gare de Magenta et la structure naturellement aérée de la gare Pèreire-Levallois (voies aériennes en sortie de gare) sont des paramètres favorisant l'évacuation de la pollution aux particules.

En complément des mesures présentées dans ce rapport, des mesures spécifiques dans les microenvironnements de la gare sont réalisées avec un appareil portable, afin de caractériser la variabilité des niveaux de particules au cours de la journée de travail et dans les microenvironnements fréquentés.

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE PEREIRE-LEVALLOIS

Configuration de la gare :

Pas de portes palières, 2 voies, 2 quais, pas de correspondance.

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 9719 (source : SNCF, carte des montants 2016)

Caractéristiques du matériel roulant (source : STIF / OMNIL) :

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 : électricité (caténaire)

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

Un mouvement social a perturbé la circulation des trains entre avril et juin 2018. Les jours de grève (alternance de 2 jours de grève et de 3 jours de circulation normale) pendant la campagne de mesure ont été les suivants :

14, 18,19, 23, 24, 28, 29 mai et 2, 3, 7, 8 juin



ANNEXE 2 :

DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

Indicateurs de la pollution retenus

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

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

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

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

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

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, ceci en cohérence avec la nécessité de disposer de données temporelles fines de pollution pour l'interprétation des résultats.

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

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



Les concentrations en particules (PM₁₀)⁸ et particules fines (PM_{2,5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x sur le site de l'Avenue Foch.

PRELEVEMENTS MANUELS

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

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant⁹.

Afin d'être conforme aux pratiques existantes dans les enceintes souterraines, les prélèvements de métaux sont réalisés pendant 5 jours ouvrés, 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'ANSES⁵ dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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

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



VALIDATION DES MESURES

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

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

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

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

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

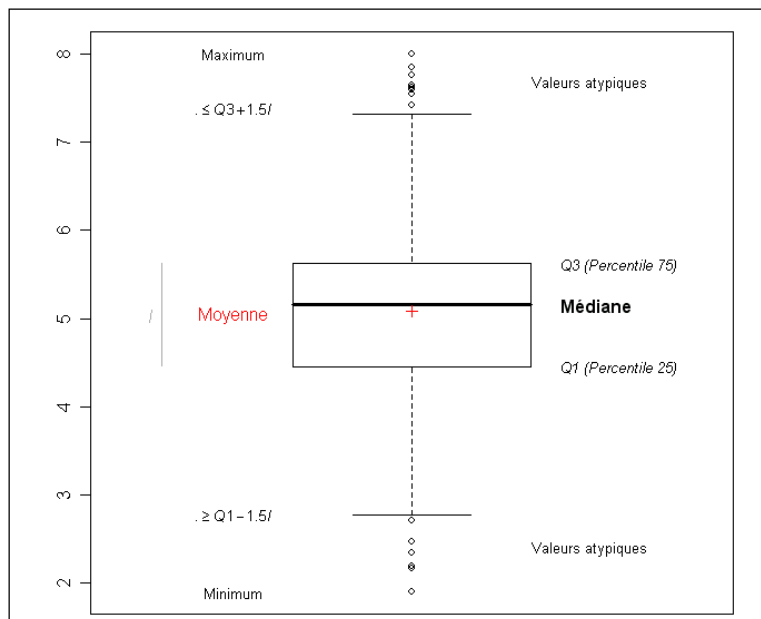
⁸ Mesures des PM₁₀ et PM_{2,5} selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2,5} par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

⁹ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 : BOITE A MOUSTACHE

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

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

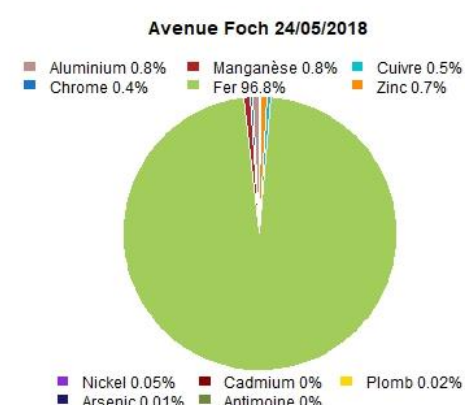
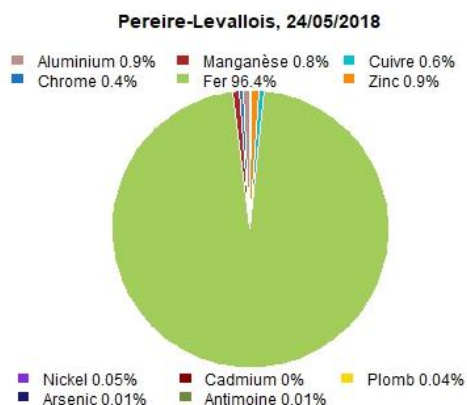
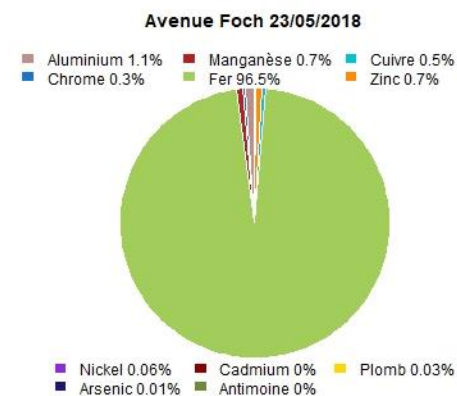
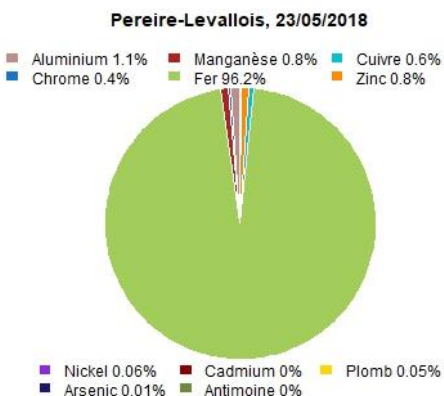
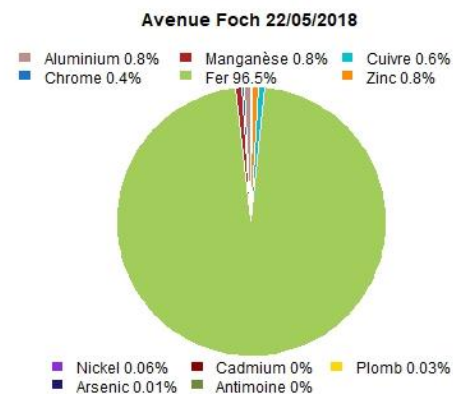
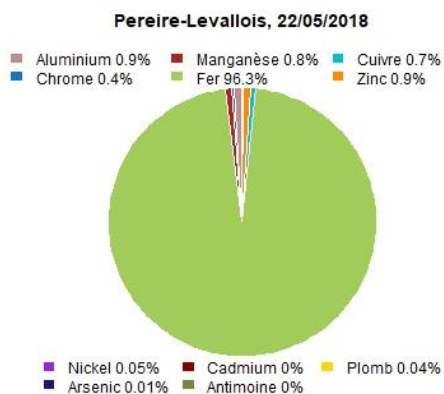
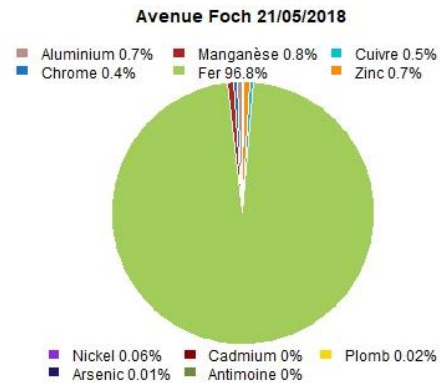
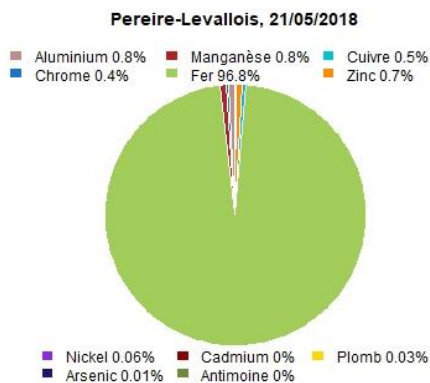


La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des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

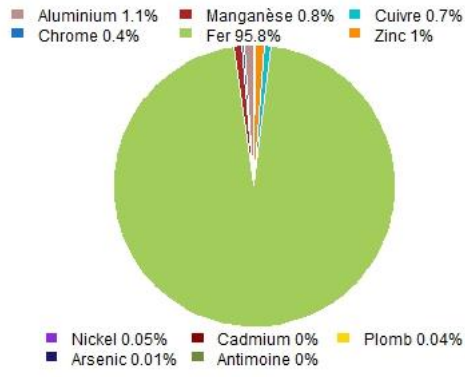
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

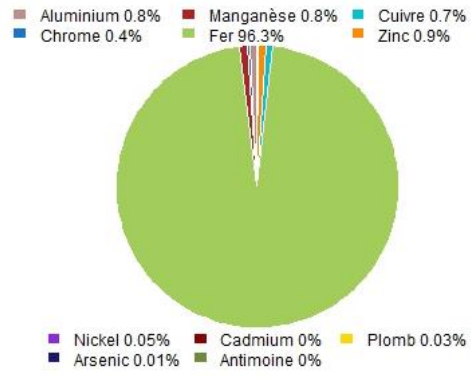
REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



Pereire-Levallois, 25/05/2018



Avenue Foch 25/05/2018



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS D'ALUMINIUM, CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE

RER C DE PEREIRE-LEVALLOIS ET AVENUE FOCH, PERIODE DU 14/05/2018 AU 10/06/2018.

