

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE NEUILLY PORTE MAILLOT

Avril/Mai 2017

Décembre 2017





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 NEUILLY PORTE MAILLOT – AVRIL/MAI 2017

Décembre 2017

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

SYNTHESE

Un programme de partenariat entre la SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif 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 **18/04/2017 au 08/05/2017** en gare de **Neuilly Porte Maillot (RER C, quai central)**. Les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}) ont été suivies, ainsi que les métaux.

Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER C en gare de Neuilly Porte Maillot au cours des mois de avril/mai 2017 étaient en moyenne de 114 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 294 µg/m³ (enregistré le matin à 10h).

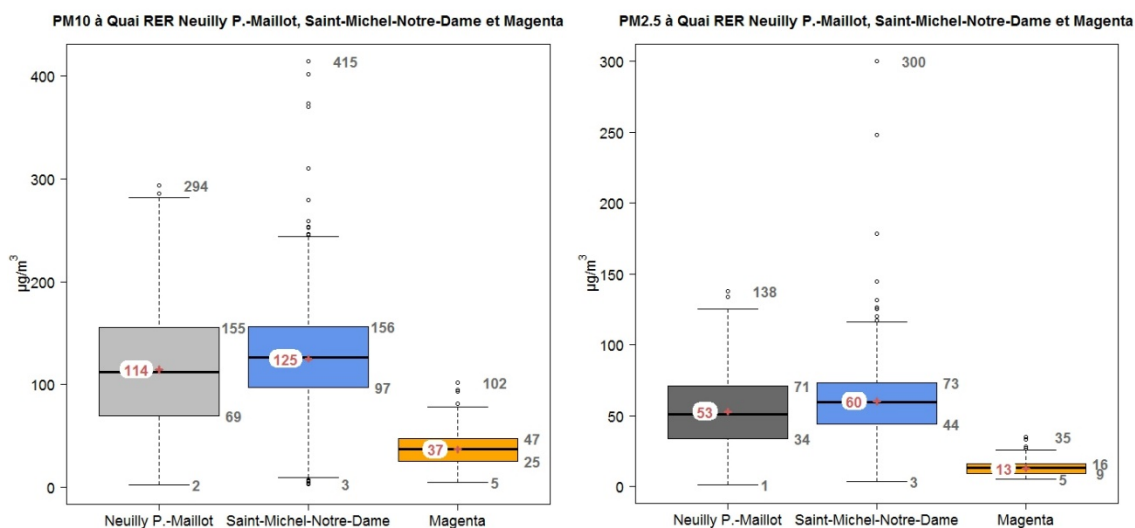
Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} atteignent 53 µg/m³, pour un maximum horaire de 138 µg/m³.



Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ?

Les niveaux moyens en PM₁₀ sont comparables à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (125 µg/m³ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de la station Magenta (37 µg/m³ enregistrés sur la même période).

Il en est de même pour les niveaux moyens en PM_{2.5} à Neuilly Porte Maillot, comparables à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (60 µg/m³) et largement supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (13 µg/m³). Ce résultat s'explique par le système de ventilation en place en gare de Magenta, paramètre favorisant l'évacuation de la pollution aux particules dans cette gare de référence.



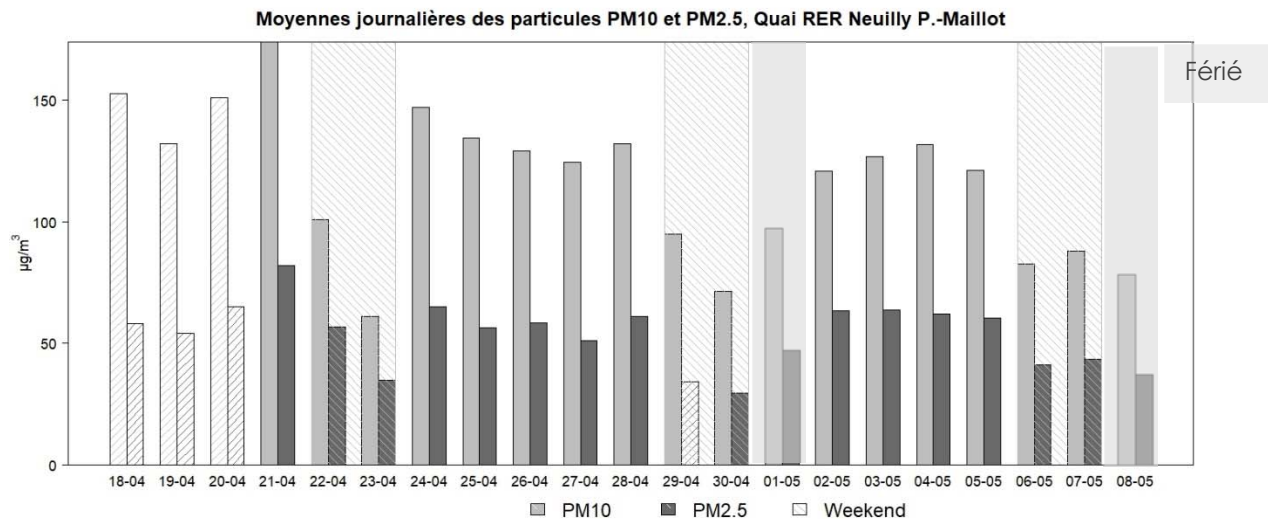
Les relevés en particules PM₁₀ à la gare de Neuilly Porte Maillot sont également plus proches de ceux de la gare Saint-Michel-Notre-Dame que de ceux de Magenta, en termes d'évolution temporelle.

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

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

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM₁₀ (- 37 %) et les PM_{2.5} (-33 %). Cette baisse

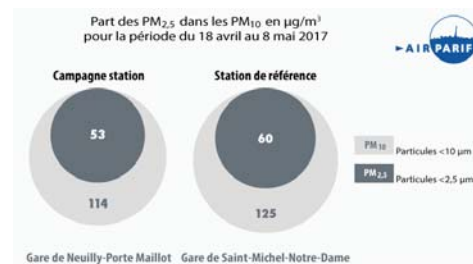
est en lien avec la diminution de fréquentation et d'activité de la gare le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).



Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Neuilly Porte Maillot, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles. Les concentrations sont maximales vers 8 - 10h le matin et 18 - 20h en soirée. Les concentrations sont alors de 210 µg/m³ en moyenne sur une heure en PM₁₀ et 85 µg/m³ en PM_{2.5}. Ces profils (variabilité temporelle et niveaux observés) sont similaires à ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM₁₀.

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

Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ en gare de Neuilly Porte Maillot est en moyenne de 0,51, intermédiaire entre celui de Magenta (0,38) et celui de Saint-Michel-Notre-Dame (0,6). A Neuilly Porte Maillot, les PM_{2.5} représentent en moyenne la moitié des concentrations massiques de PM₁₀.



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 surtout la nuit 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 Saint-Michel-Notre-Dame ?

La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 15 à 21% sur la période de disponibilité des résultats (19 au 21/04/2017) en gare de Neuilly Porte Maillot. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame a varié de 31 à 41%. Cela s'explique par des teneurs en métaux plus importantes en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, les concentrations en particules PM₁₀ étant équivalentes sur la période de mesure. La part des métaux enregistrée à Neuilly Porte Maillot est cependant faible en comparaison des résultats aux précédentes gares étudiées. Ce point sera approfondi ultérieurement.

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

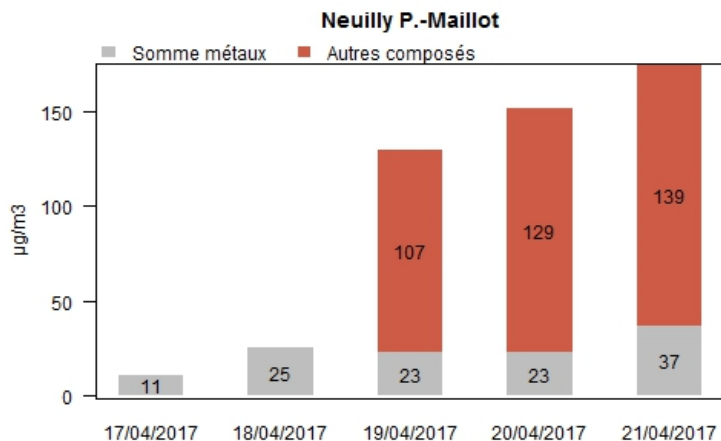
Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Neuilly Porte Maillot (97 % à Saint-Michel-Notre-Dame). Suivent ensuite le **Zinc** (1.7 % à Neuilly Porte Maillot), le **Manganèse** et le **Cuivre** (1%), suivi du **Chrome** (0.4 %) et le **Nickel** (0.1 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués. La

proportion des métaux est proche de celle enregistrée en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, le Zinc représentant 1% des métaux à la gare de référence.

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

La part de chaque métal est stable selon les 5 jours de mesure, aussi bien en gare de Neuilly Porte Maillot qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés journaliers ont varié sur la semaine de prélèvement à Neuilly Porte Maillot, alors que les valeurs sont globalement stables à Saint-Michel-Notre-Dame et malgré des teneurs journalières en particules PM₁₀ équivalentes sur les deux gares. Les résultats des mesures en métaux sont inférieurs en gare de Neuilly Porte Maillot par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame.



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	14
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	19
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	20
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.....	26
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
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES	29
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	31
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	31
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	32
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	32
4. CONCLUSION.....	35

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.

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.**

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Un programme de partenariat entre la 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.

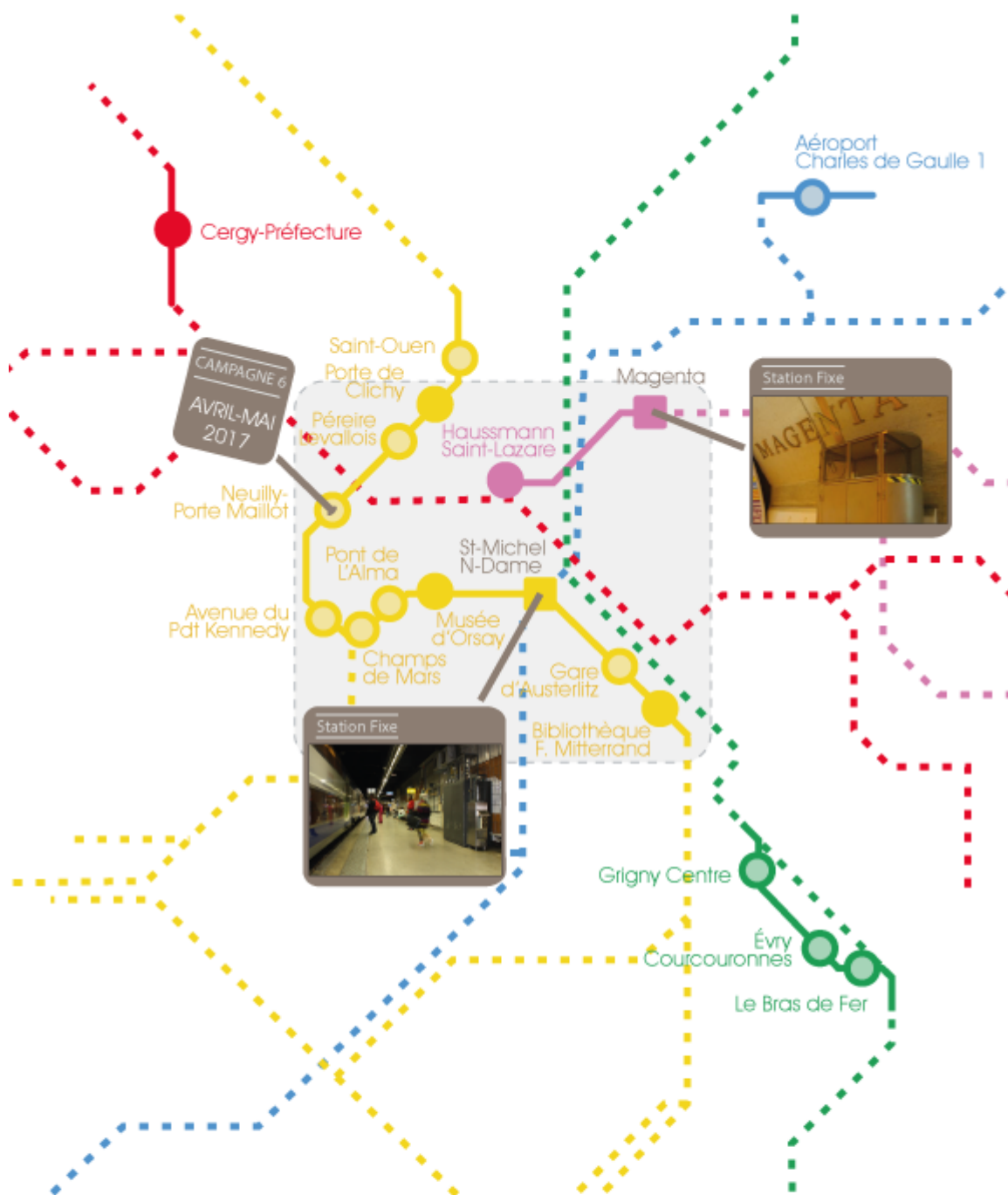
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}). La station Saint-Michel-Notre-Dame 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 de Saint-Michel-Notre-Dame 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 Neuilly Porte Maillot en avril/mai 2017, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Neuilly Porte Maillot), 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.



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 Saint-Michel-Notre-Dame depuis septembre 2016).

1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

1.1 DESCRIPTION DE LA GARE 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) est concernée par le programme de partenariat. Elle est située Boulevard Pereire, à Paris (XVII^{ème}), 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 RER est souterraine (comme les tunnels de part et d'autre de la station), de faible profondeur (niveau -1), avec un quai central. **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 11 924 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Neuilly Porte Maillot (2 sens confondus) est de 201 les jours ouvrés (jours JOB), 180 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).



Site de mesure

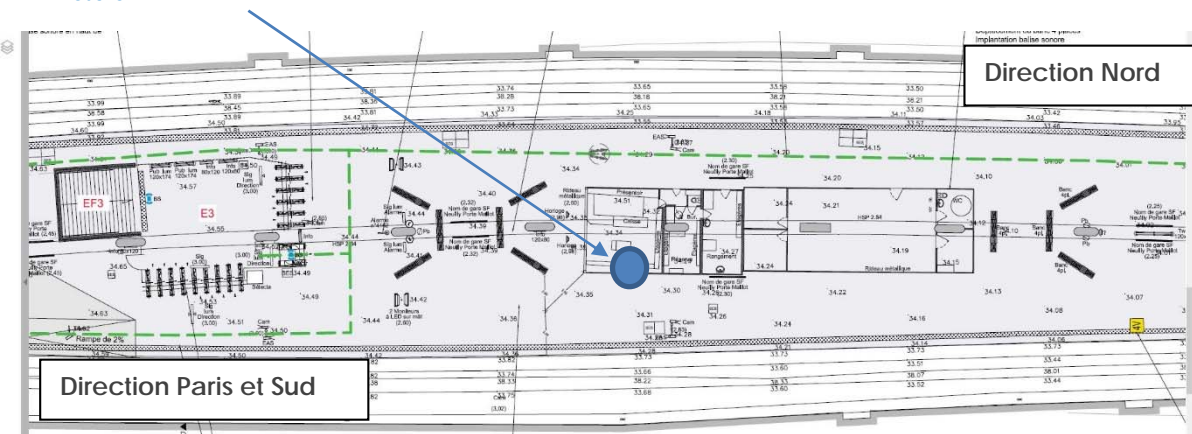


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Neuilly Porte Maillot, ligne RER C, quai central), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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 Neuilly Porte Maillot ont été réalisées pendant 3 semaines, du **18/04/2017 au 08/05/2017**. Cette durée 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.

Au cours de cette période, les deux jours fériés (lundi 1^{er} mai et lundi 8 mai) ont été traités comme des dimanches.

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 Neuilly Porte Maillot sont comparés aux observations des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame), 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 Neuilly Porte Maillot et les gares de référence, sur la même période.

Statistiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ (particules fines)			PM _{2.5} (particules très fines)		
	Gare Neuilly Porte Maillot	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Neuilly Porte Maillot	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	2	3	5	1	3	5
Percentile 25 (P25)	69	97	25	34	44	9
Médiane ou Percentile 50	112	126	37	51	59	13
Moyenne	114	125	37	53	60	13
Percentile 75 (P75)	155	156	47	71	73	16
Maximum horaire	294	415	102	138	300	35
% de données horaires valides	93	97	98	87	97	98

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et aux deux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 18/04/2017 au 08/05/2017.

Le niveau moyen en PM₁₀ relevé en gare de Neuilly Porte Maillot est légèrement inférieur à celui de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et largement supérieur à celui de la gare de Magenta. Alors que les minima en PM₁₀ sont du même ordre de grandeur sur les trois gares (tous inférieurs à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), le maximum horaire pendant la campagne a été enregistré à Saint-Michel-Notre-Dame, il dépasse largement celui observé à Neuilly Porte Maillot. Le percentile 75 enregistré à Neuilly Porte Maillot est équivalent à celui de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les résultats pour les PM_{2.5} à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot présentent des éléments comparables aux PM₁₀ :

- Le niveau moyen en PM_{2.5} relevé en gare de Neuilly Porte Maillot est légèrement inférieur à celui de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et largement supérieur à celui relevé en gare de Magenta.
- Les minima en PM_{2.5} sont du même ordre de grandeur sur les trois gares (tous inférieurs à 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Le maximum horaire le plus élevé pendant la campagne de mesure a été enregistré à Saint-Michel-Notre-Dame, il est largement supérieur à celui de Neuilly Porte Maillot.

- Le percentile 75 enregistré à Neuilly Porte Maillot est équivalent à celui de Saint-Michel-Notre-Dame.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, est présentée à la

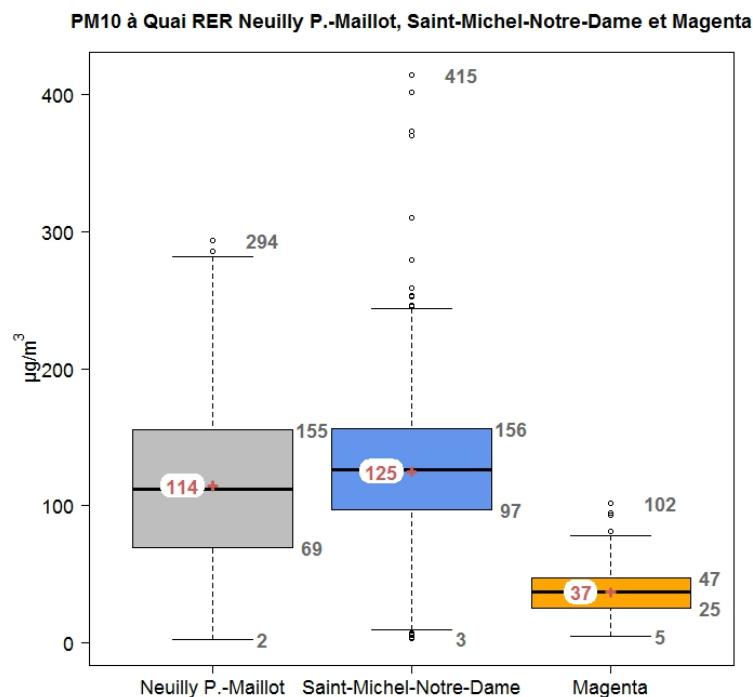


Figure 3.

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 Neuilly Porte Maillot montre une répartition « équilibrée » des mesures³. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot sont comprises entre 69 et 155 µg/m³, pour une moyenne de 114 µg/m³ et une médiane à 112 µg/m³. Le maximum atteint à Neuilly Porte Maillot est de 294 µg/m³ le 03/05/17 à 10h (heure de pointe du matin).

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.

PM10 à Quai RER Neully P.-Maillot, Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta

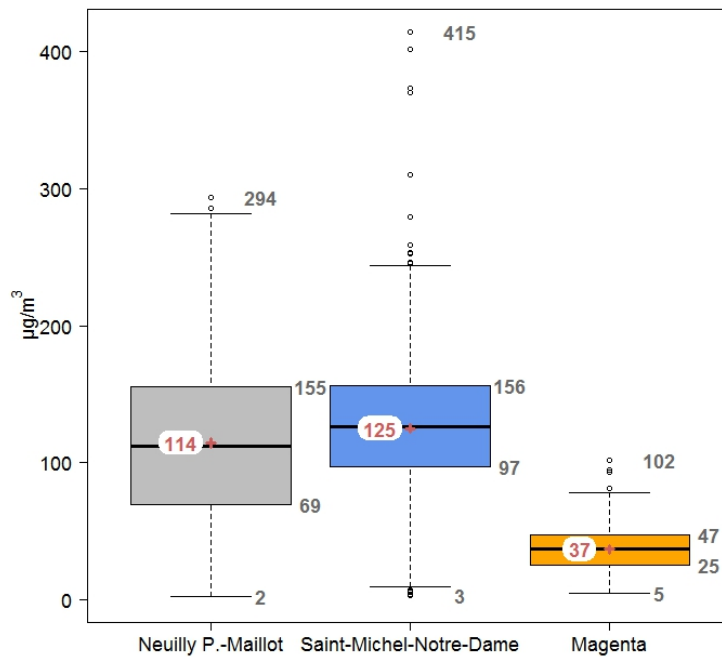


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER C de Neully Porte Maillot et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 18/04/2017 au 08/05/2017.

La concentration moyenne pendant la campagne de mesure à Neully Porte Maillot est légèrement inférieure à celle de Saint-Michel-Notre-Dame (125 µg/m³).

Neully Porte Maillot et Saint-Michel-Notre-Dame présentent des niveaux équivalents de minimum horaire et de percentile 75. Les autres paramètres statistiques (percentile 25, médiane, maximum horaire) sont plus élevés à Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Neully Porte Maillot.

Cette représentation des résultats met en avant une dispersion plus grande des concentrations sur le site de Neully Porte Maillot que sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame (50 % des données se trouvent dans la fourchette de 69 - 155 µg/m³ à Neully Porte Maillot, contre 97 - 156 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame) : cela s'explique en partie par des concentrations moins élevées en gare de Neully Porte Maillot qu'à Saint-Michel-Notre-Dame en soirée et pendant la nuit (cf. paragraphe 2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE).

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de Neully Porte Maillot, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules PM₁₀ est de 37 µg/m³ à Magenta, contre 114 µg/m³ à Neully Porte Maillot. Cette différence peut s'expliquer en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare de Neully Porte Maillot et Saint-Michel-Notre-Dame, mécanique à Magenta. De plus, la gare de Magenta est également plus grande (d'où un volume de dilution des polluants plus important).

Ces paramètres semblent plus influents que le nombre de trains en circulation : le nombre de trains circulant en gare de Neully Porte Maillot est de 2 à 3 fois moins important qu'en gare de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame. C'est également vrai pour le nombre de voyageurs : 11 920 voyageurs par jour montant en gare de Neully Porte Maillot, contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78 212 à Magenta (source interne SNCF : carte des montants 2016).

2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

La boîte à moustaches des concentrations de PM_{2.5} relevées à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot est présentée Figure 4, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame.

La boîte à moustaches montre une moyenne en gare de Neuilly Porte Maillot légèrement inférieure à celle de Saint-Michel-Notre-Dame (53 µg/m³ en gare de Neuilly Porte Maillot et 60 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame). La dispersion des données est légèrement plus grande en gare de Neuilly Porte Maillot qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, avec 50 % des données horaires comprises entre 34 et 71 µg/m³ à Neuilly Porte Maillot, contre une fourchette de 44 à 73 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Comme pour les PM₁₀, le maximum horaire à Saint-Michel-Notre-Dame est largement supérieur à celui de Neuilly Porte Maillot (respectivement 300 et 138 µg/m³). Les maxima en PM₁₀ et PM_{2.5} en gare de Neuilly Porte Maillot n'ont pas été enregistrés au même moment : le 03/05/2017 10h pour les PM₁₀ et le 25/04/2017 22h pour les PM_{2.5}.

Les concentrations en PM_{2.5} en gare de Neuilly Porte Maillot sont largement supérieures à celles de Magenta. A titre d'illustration, la moyenne des particules PM_{2.5} à Magenta est de 13 µg/m³.

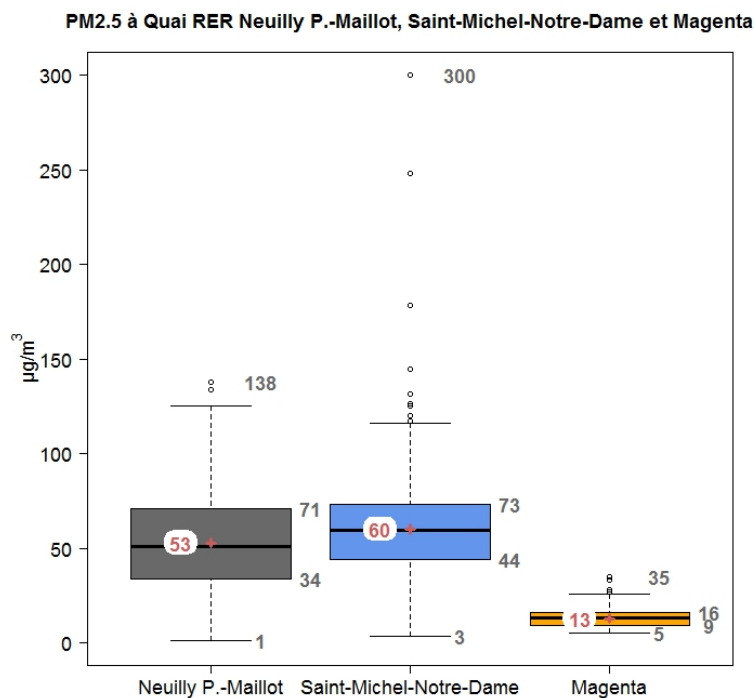


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2,5}, en µg/m³ à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 18/04/2017 au 08/05/2017.

La teneur moyenne relevée en particules PM₁₀ sur les quais de la gare RER C de Neuilly Porte Maillot pendant la campagne est de 114 µg/m³ pour les particules PM₁₀ et 53 µg/m³ pour les particules PM_{2,5}.

Les niveaux moyens en particules PM₁₀ en gare de Neuilly Porte Maillot sont comparables (légèrement inférieurs) à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (125 µg/m³ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de la station Magenta (37 µg/m³ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules PM_{2,5} en gare de Neuilly Porte Maillot sont comparables (légèrement inférieurs) à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (60 µg/m³ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de la station Magenta (13 µg/m³).

Pour les PM₁₀ comme les PM_{2,5}, les maxima horaires ont été enregistrés à Saint-Michel-Notre-Dame.

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. 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 Neuilly Porte Maillot, les teneurs dépassent 150 µg/m³ en journée, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de µg/m³. Les plus forts niveaux ont été observés à Saint-Michel-Notre-Dame, lors de travaux nocturnes au cours de la 1^{ère} semaine du mois de mai. 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.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels proches, aussi bien en termes d'évolution que de niveaux. L'évolution temporelle des relevés de Magenta est analogue à celles des gares de Neuilly Porte Maillot et Saint-Michel-Notre-Dame, mais avec des niveaux beaucoup plus faibles : les concentrations sont minimales la nuit, elles augmentent en journée en lien avec la fréquentation de la gare.

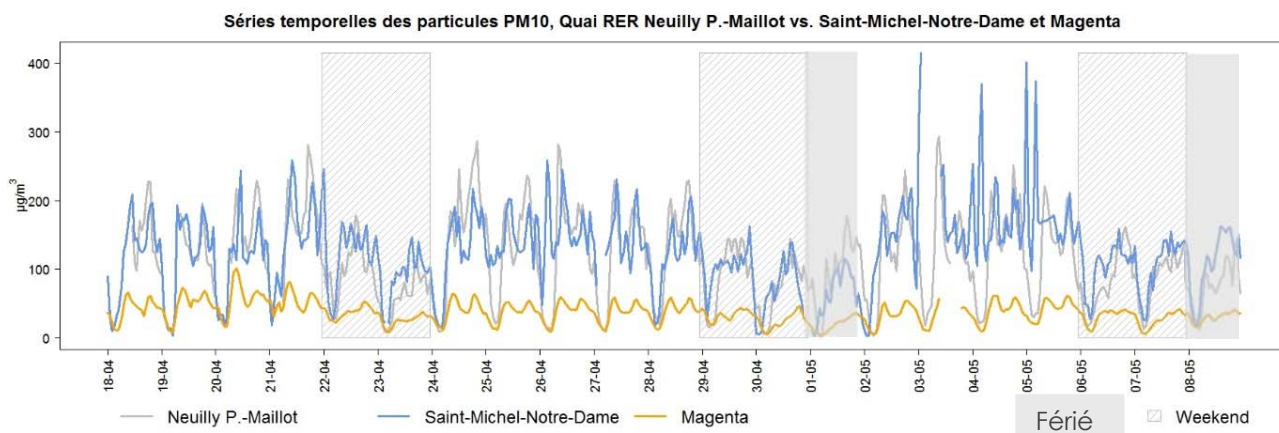


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare RER C de Neuilly Porte Maillot et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 18/04 au 08/05/2017).

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

Les relevés horaires, présentés en

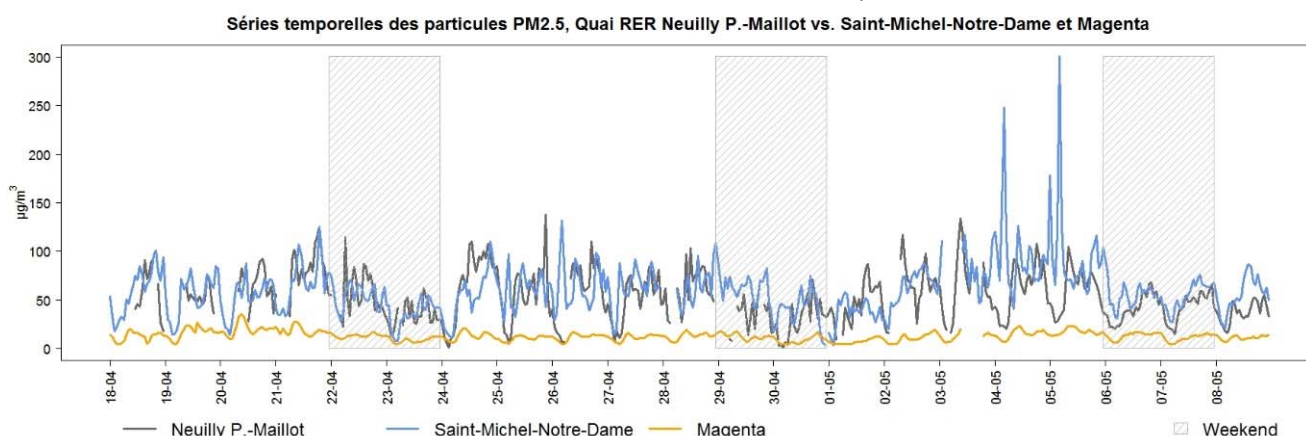


Figure 6, montrent, comme pour les PM₁₀, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par le nombre de trains en circulation : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents 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} dépassent 80 µg/m³, alors que la nuit, les niveaux sont d'une trentaine de µg/m³.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels très proches, excepté lors des quelques pics nocturnes observés à la station de référence les 4 et 5 mai : la concentration maximale à Saint-Michel-Notre-Dame est de 300 µg/m³, contre 32 µg/m³ enregistré au même moment à Neuilly Porte Maillot.

Concernant les teneurs moyennes, les niveaux en PM_{2,5} à la Gare RER C de Neuilly Porte Maillot sont proches de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame

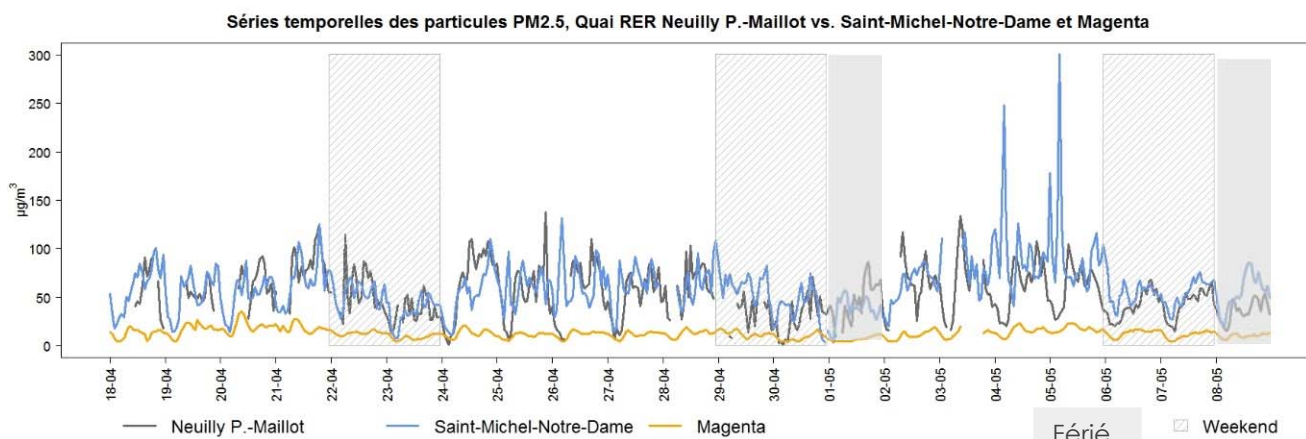


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ (gare RER C de Neuilly Porte Maillot et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 18/04 au 08/05/2017).

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Neuilly Porte Maillot sont présentés à la Figure 7 pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Neuilly Porte Maillot et aux stations de référence. Pour rappel, deux lundis (1^{er} et 8 mai) ont été fériés et associés à des dimanches pour le traitement.

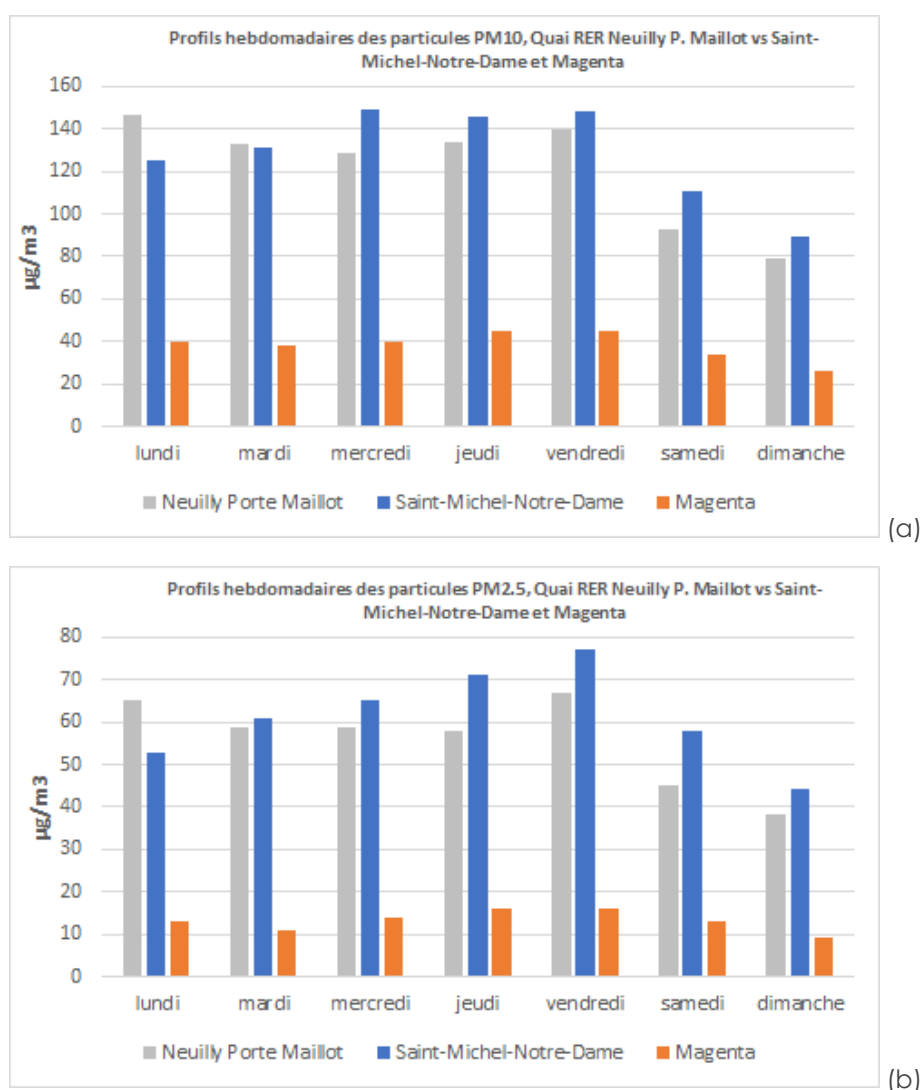


Figure 7 – Evolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot, période du 18/04 au 08/05/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta.

Les niveaux moyens en particules PM₁₀ avoisinent 135 µg/m³ sur une journée ouvrée et ceux en PM_{2.5} s'élèvent à 60 µg/m³. Ils diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 37 % par rapport aux jours ouvrés pour les PM₁₀ et de 33 % pour les PM_{2.5}. A Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta, la baisse sur les teneurs en PM₁₀ le week-end par rapport aux jours ouvrés est de l'ordre de 28 %. Pour les PM_{2.5}, la diminution est d'environ 20 % aux stations de référence.

La baisse des teneurs le week-end aux deux gares est en lien direct avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end, facteur ayant donc davantage d'influence sur les PM₁₀ que sur les PM_{2.5} (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

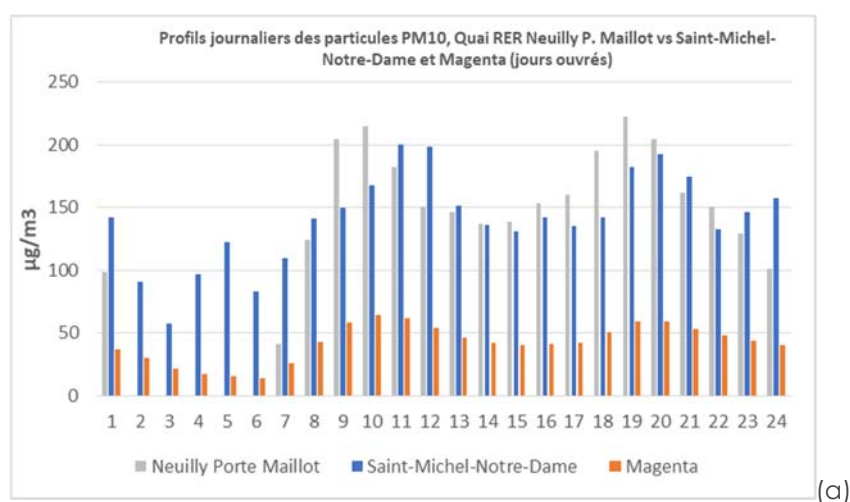
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 8, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés. Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules le matin (9h-10h) et le soir (18h - 20h). Sur ces plages horaires, les niveaux sont en moyenne de 208 µg/m³ pour les PM₁₀ et 84 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare de Neuilly Porte Maillot.

L'heure des niveaux maximaux intervient ainsi plus tôt qu'à Notre-Dame-Saint-Michel, aussi bien le matin que le soir (observés entre 11 et 12h, et entre 19 et 21h à Saint-Michel-Notre-Dame).

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). Ce constat, observable à la gare de Neuilly Porte Maillot, l'est également aux gares de référence.

Le profil journalier en PM_{2.5} présente des variations horaires moindres (en valeur absolue) que celui de PM₁₀, différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent d'avantage 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).



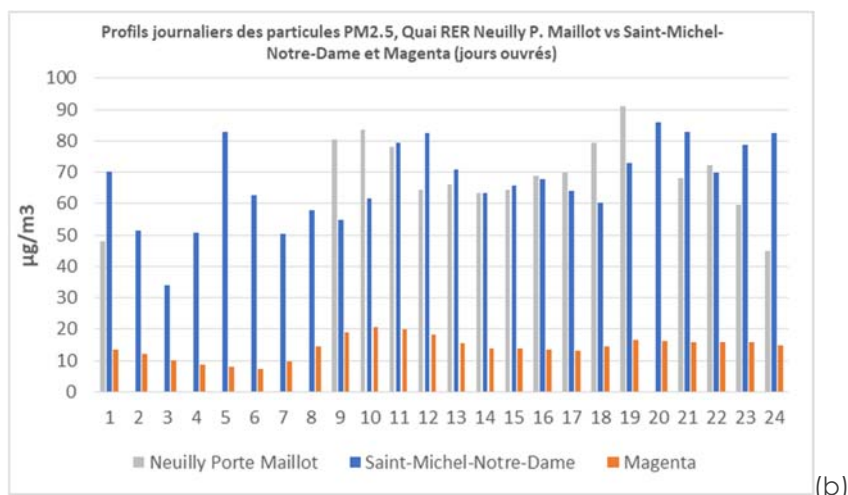


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot, période du 18/04 au 08/05/201 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence.

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 trois 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 Neuilly Porte Maillot qu'aux stations de référence. 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 8-10h et 18-21h) et les niveaux plus faibles les samedis et dimanches (et jours fériés).

Les niveaux moyens ont été stables les jours ouvrés, sauf les lundis à la gare de Neuilly Porte Maillot qui présentent des niveaux en PM₁₀ plus élevés.

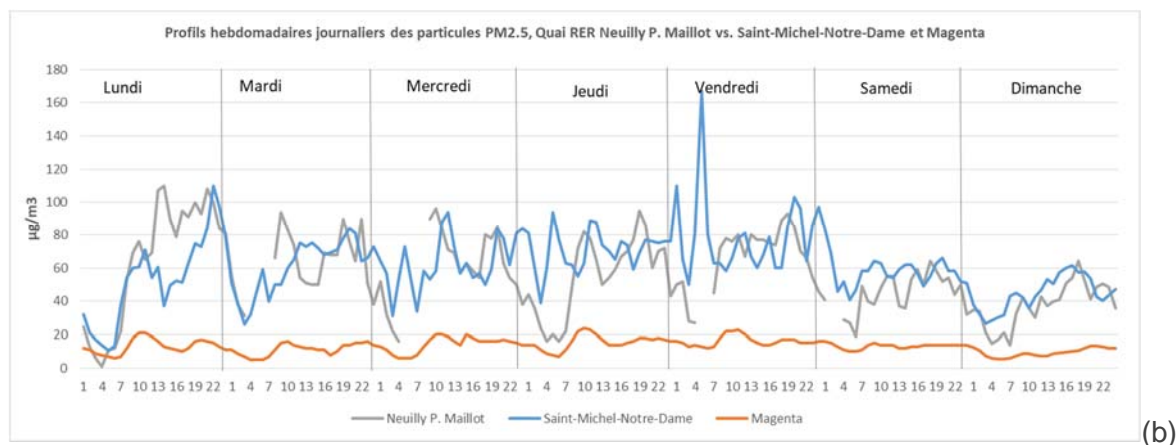
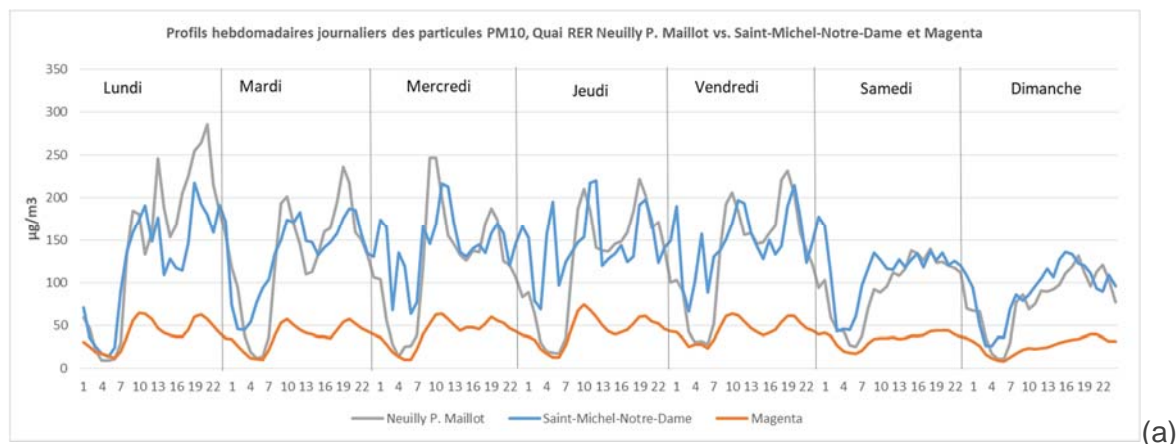


Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 18/04 au 08/05/2017.

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).

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM₁₀ (-37 % en gare de Neuilly Porte Maillot) et les PM_{2.5} (-33 % en gare de Neuilly Porte Maillot), en lien avec la baisse de trafic et de fréquentation le week-end. Cette observation est aussi bien valable en gare de Neuilly Porte Maillot qu'aux stations de référence, mais dans des proportions moindres.

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 10h le matin et entre 18h et 20h le soir en gare de Neuilly Porte Maillot. Lors de ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent 208 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 84 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

2.3 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 composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes souterraines, notamment des systèmes de freinage⁴, 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 Neuilly Porte Maillot chaque jour ouvré pendant une semaine (du 17 au 21 avril). 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 de Saint-Michel-Notre-Dame ont été réalisées en parallèle, selon le même protocole.

Les métaux suivants ont été étudiés : Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature⁴.

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 Neuilly Porte Maillot et de Saint-Michel-Notre-Dame. Les données de particules PM₁₀ en gare de Neuilly Porte Maillot pour les 17 et 18 avril ne sont pas disponibles suite à un problème technique.

En gare de Neuilly Porte Maillot, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 11 µg/m³ (le 17/04/17, jour férié - Lundi de Pâques) à 37 µg/m³ (le 21/04/17). En comparaison avec la concentration en particules PM₁₀ enregistrée du mercredi au vendredi, la part des métaux varie de 15 à 21%. Cette proportion est plus faible que celle généralement observée dans les gares.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la somme des métaux était plus élevée qu'à la gare de Neuilly Porte Maillot, variant entre 43 µg/m³ (le 19/04/17) à 54 µg/m³ (le

⁴ 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.

20/04/17). La part de métaux a varié de 31 à 43 % sur toute la semaine et dans des proportions similaires du mercredi au vendredi (31 à 41 %).

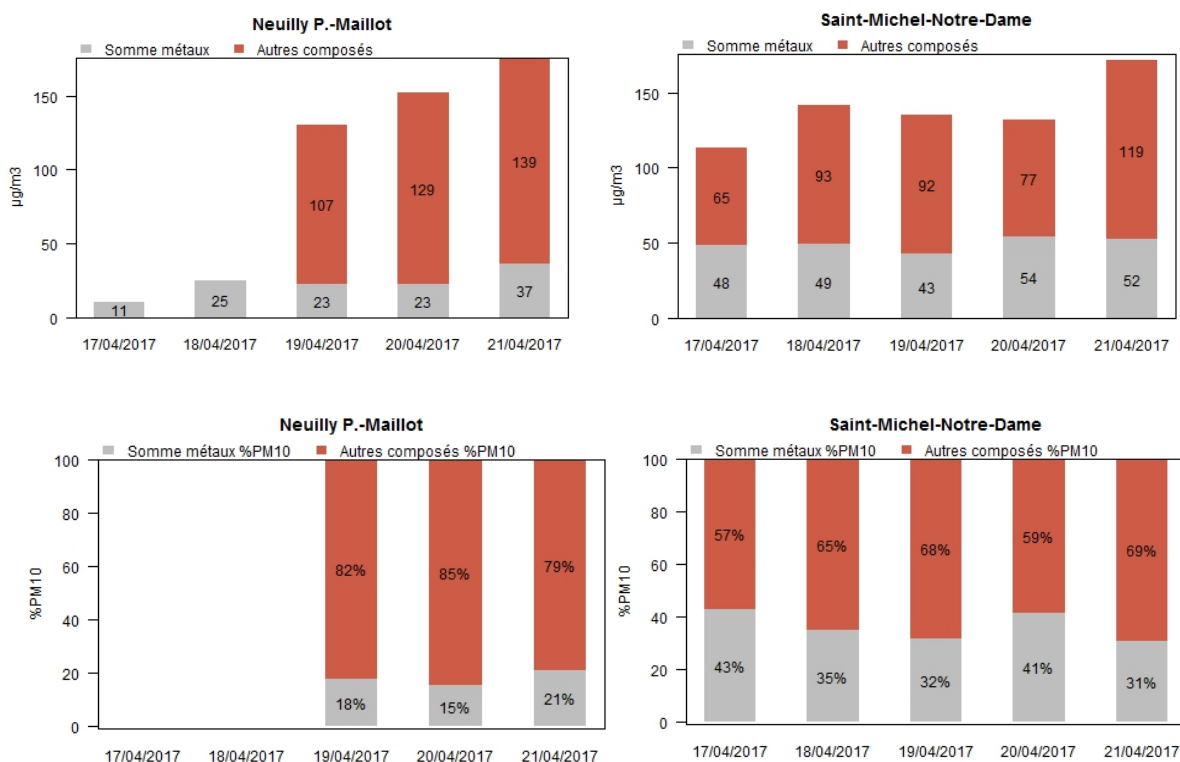


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement (en concentration et en % de particules PM₁₀), à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et à Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 17 au 21/04/2017.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante représente la répartition moyenne des composés mesurés entre le 17 et le 21/04/2017, aussi bien en gare de Neuilly Porte Maillot qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4. Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure à chaque gare, et une répartition moyenne proche entre les deux gares de Neuilly Porte Maillot et de Saint-Michel-Notre-Dame.

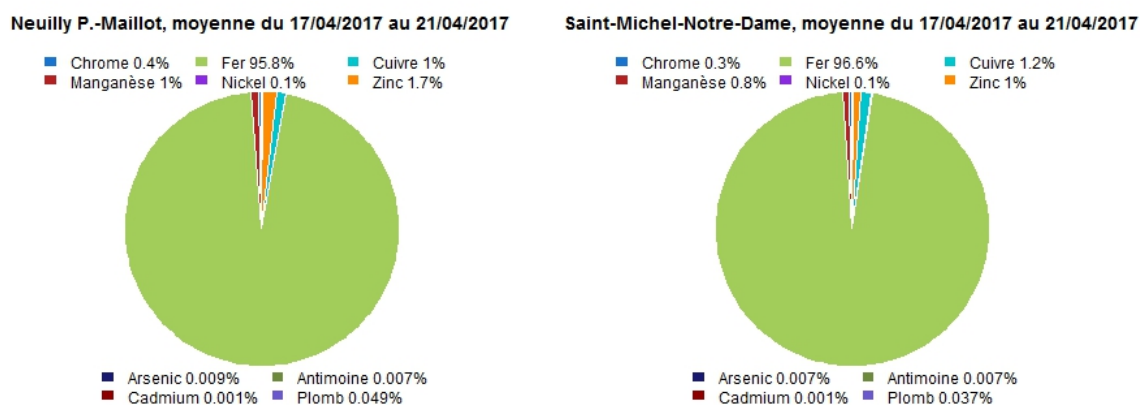


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 17 au 21/04/2017, en gare de Neuilly Porte Maillot et à la station RER C Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente 96 % des métaux mesurés en gare de Neuilly Porte Maillot et 97 % à Saint-Michel-Notre-Dame (chiffre stable depuis le début des relevés en septembre 2016).

En dehors du Fer, les trois métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont le Zinc, puis le Manganèse et le Cuivre, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1.7 % pour le **Zinc** en gare de Neuilly Porte Maillot (1 % à Saint-Michel-Notre-Dame), 1 % pour le **Manganèse** (0.8 % à Saint-Michel-Notre-Dame) et 1 % pour le **Cuivre** (1.2 % à Saint-Michel-Notre-Dame).

Le **Chrome** représente 0.4% des métaux mesurés (proportion équivalente sur les deux sites). Le **Nickel** ne représente que 0.1% des métaux (proportion équivalente sur les deux sites).

Les proportions en **Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb** sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Neuilly Porte Maillot ou à Saint-Michel-Notre-Dame.

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Neuilly Porte Maillot et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium. **La part relative du Manganèse, du Cuivre et du Zinc dans les métaux peut varier sensiblement à Neuilly Porte Maillot sur les cinq jours de mesure** (hausse des teneurs le 18/04/17 par rapport aux autres jours), les résultats étant stables en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

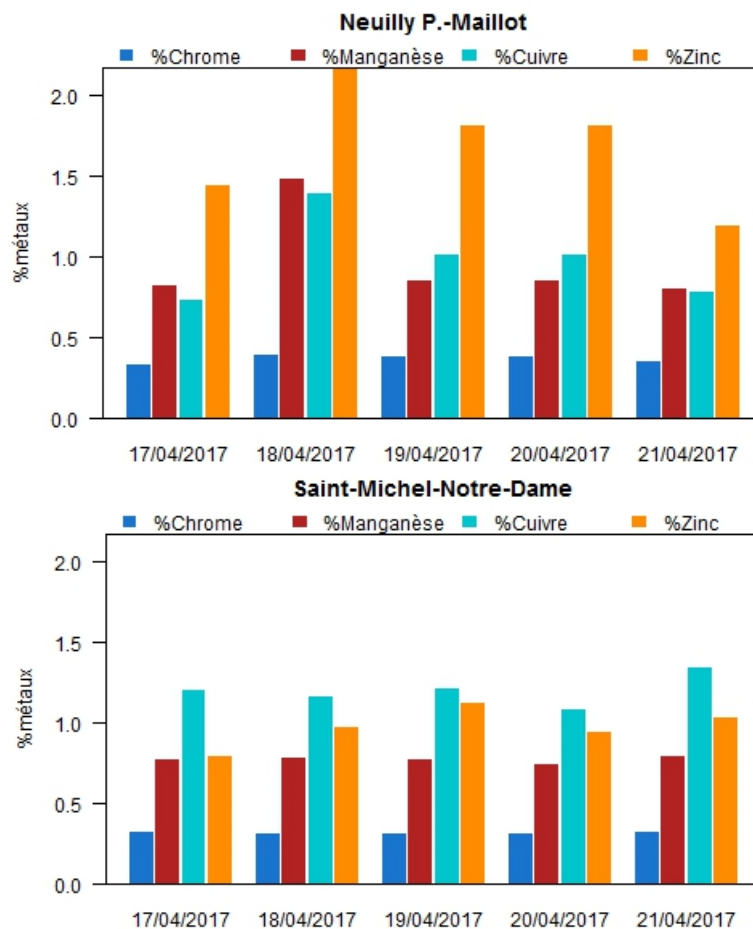


Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 17/04 au 21/04/2017.

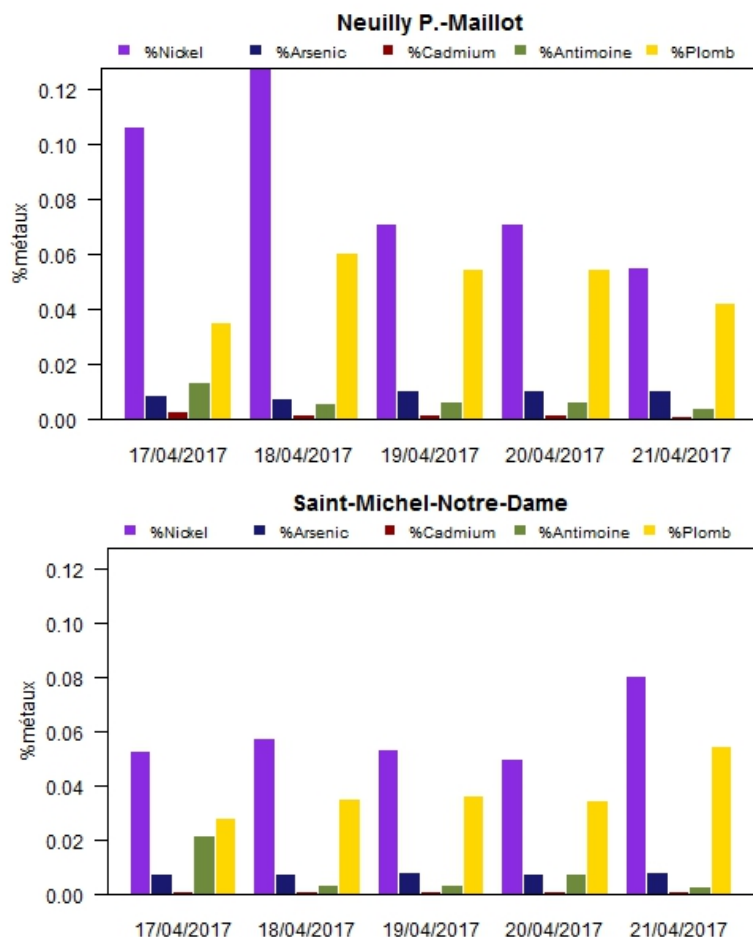


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et à Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 17/04 au 21/04/2017.

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, 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.

Les métaux présents 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, 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 mesurées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Neuilly Porte Maillot et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame. Les teneurs en **Fer** sont plus élevées à Saint-Michel-Notre-Dame qu'en gare de Neuilly Porte Maillot : les moyennes journalières ont varié entre 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (17/04/2017) et 35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (21/04/2017) en gare de Neuilly Porte Maillot et entre 41 et 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Sur les trois journées disponibles (19 au 21/04/2017), les niveaux en Fer diffèrent en gare de Neuilly Porte Maillot et Saint-Michel-Notre-Dame, alors que les teneurs en PM_{10} sont proches sur les deux sites.

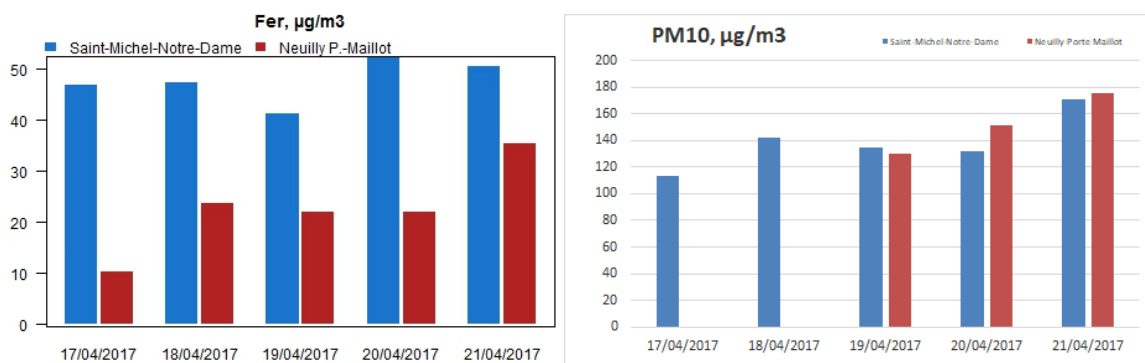


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM_{10} à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 17/04 au 21/04/2017.

Pour l'ensemble des métaux en gare de Neuilly Porte Maillot, les teneurs du lundi 17/04 (jour férié, Lundi de Pâques) sont les plus faibles, en lien avec une activité réduite dans la gare par rapport à un jour ouvré. Une variation des teneurs a été observée sur les 4 jours ouvrés de la semaine, variable selon les composés (maximum observé le mardi ou le vendredi). Les teneurs ont été plus stables à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Plomb, le Nickel et l'Antimoine qui ont présenté plus de variabilité dans les valeurs journalières.

Concernant les quatre métaux présentant des teneurs les plus importantes après le fer, les niveaux journaliers en **Chrome, du Manganèse, du Cuivre et du Zinc** sont de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de ng/m^3 . Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières en **Zinc** ont varié de 416 à 544 ng/m^3 en gare de Neuilly Porte Maillot (mise à part la moyenne journalière du 17/07/2017 à 154 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), teneurs comparables à celles de Saint-Michel-Notre-Dame (476 à 539 ng/m^3 sur la même période)⁵.

Les teneurs journalières en **Manganèse** ont varié entre 196 à 371 ng/m^3 à Neuilly Porte Maillot. Ces niveaux sont en moyenne inférieurs aux teneurs journalières enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux entre 329 et 412 ng/m^3)⁵.

Concernant le **Cuivre**, les concentrations journalières ont varié entre 233 et 350 ng/m^3 à Neuilly Porte Maillot, ces teneurs étant inférieures aux relevés de Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux journaliers entre 519 à 700 ng/m^3)⁵.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 88 et 130 ng/m^3 en gare de Neuilly Porte Maillot, soit les 2/3 des teneurs journalières enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux entre 134 et 167 ng/m^3)⁵.

⁵ Teneurs journalières hors lundi de pâques (17/04/2017)

Pour les cinq autres métaux, en gare de Neuilly Porte Maillot, les niveaux journaliers varient⁵ :

- Entre 16 et 31 ng/m³ pour le Nickel (valeur minimale quantifiable = 1,3 ng/m³),
- Entre 12 et 15 ng/m³ pour le Plomb,
- Entre 1,7 et 3,6 ng/m³ pour l'Arsenic (valeur minimale quantifiable = 0,27 ng/m³).

- Pour l'Antimoine, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1,4 ng/m³ (valeur minimale de quantification = 1,4 ng/m³),
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 0,27 ng/m³ (valeur minimale de quantification). C'est également le cas pour les teneurs enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare de Neuilly Porte Maillot, disponible du mercredi au vendredi, varie de 15 à 21% sur la semaine de mesure. A Saint-Michel-Notre-Dame, sur ces trois jours de mesure, la part des métaux dans les particules PM₁₀ a également varié, de 31 à 41%. La part des métaux mesurée en gare de Neuilly Porte Maillot est plus faible que dans les gares étudiées jusqu'à présent. Ainsi, les concentrations en métaux sont inférieures en gare de Neuilly Porte Maillot par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame, malgré des concentrations en PM₁₀ équivalentes sur les deux gares.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Neuilly Porte Maillot (97% à Saint-Michel-Notre-Dame). Suivent ensuite le **Zinc** (1.7 % à Neuilly Porte Maillot), le **Manganèse** et le **Cuivre** (1%), suivi du **Chrome** (0.4%) et le **Nickel** (0.1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La part des différents composés varie peu pendant les 4 jours ouvrés de mesure pour les quatre métaux principalement rencontrés (hors Fer), généralement de moins de 1%.

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

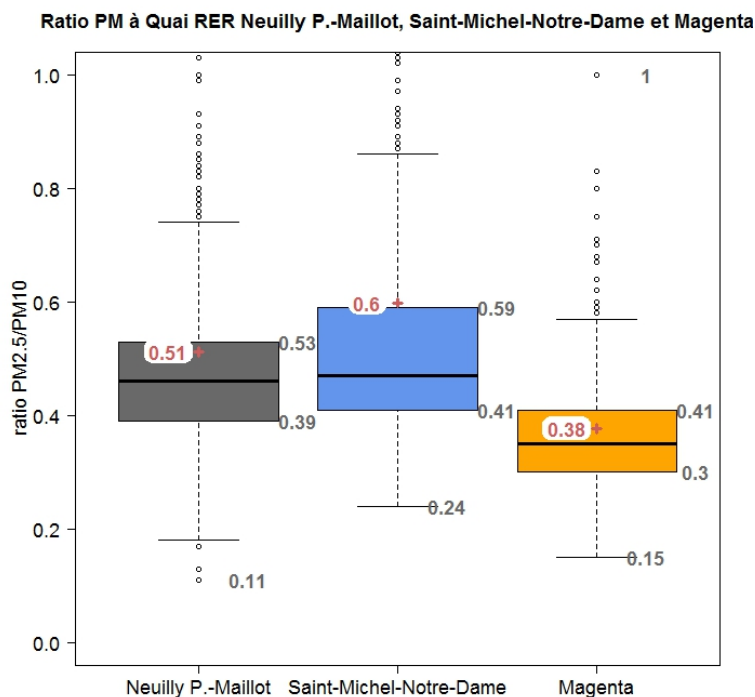


Figure 15. En moyenne, en gare de Neully Porte Maillot, le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ est de 0,51. Il y a autant de PM_{2.5} que de particules plus grossières (entre 2,5 et 10 µm). A titre de comparaison, ce ratio est de 0,6 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7.

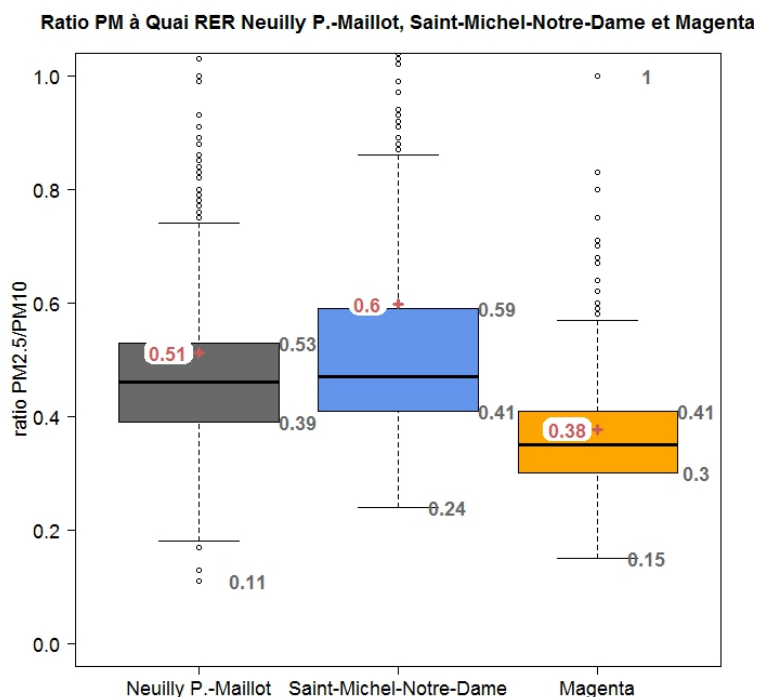


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM_{2.5}/PM₁₀, à la Gare RER C de Neully Porte Maillot et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 18/04/2017 au 09/05/2017.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de PM_{2.5}/PM₁₀, présentées à la Figure 16, montrent une stabilité des valeurs toute la semaine, y compris les samedis/dimanches, aussi bien en

gare de Neuilly Porte Maillot qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Cette stabilité des ratios s'explique par des sources stables en $PM_{2.5}$ et PM_{10} , quelle que soit la journée.

Une tendance à la hausse du ratio en gare de Saint-Michel-Notre-Dame est observée le mardi, en lien avec des pics nocturnes (cf. paragraphe suivant).

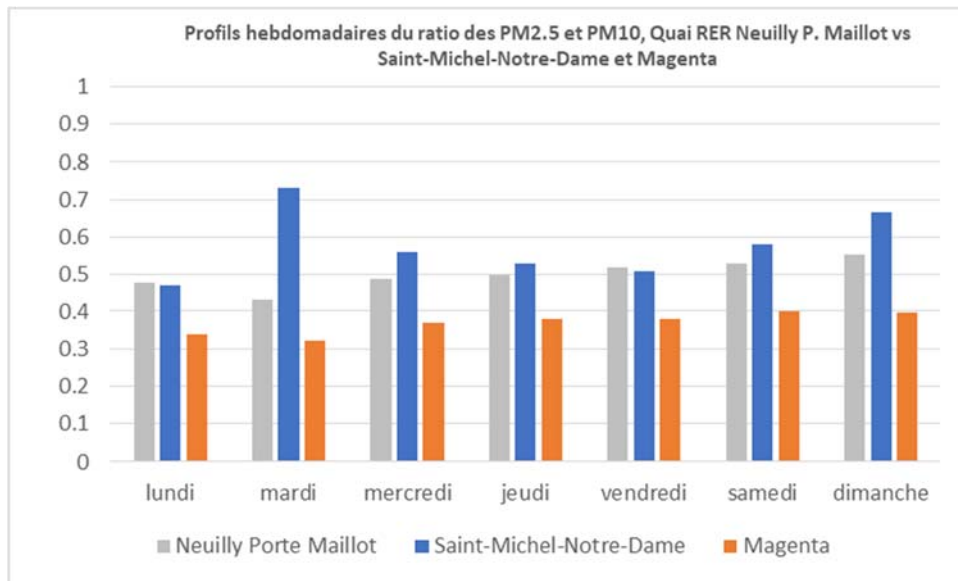


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame période du 18/04 au 08/05/2017.

2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les profils hebdomadaires du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17.

Les profils sont proches à Neuilly Porte Maillot et à Saint-Michel-Notre-Dame en termes de niveaux, mis à part les pics liés à des niveaux nocturnes forts en gare de Saint-Michel-Notre-Dame les nuits des mardis et mercredis. Les ratios de ces deux gares sont supérieurs à ceux de la station de référence Magenta.

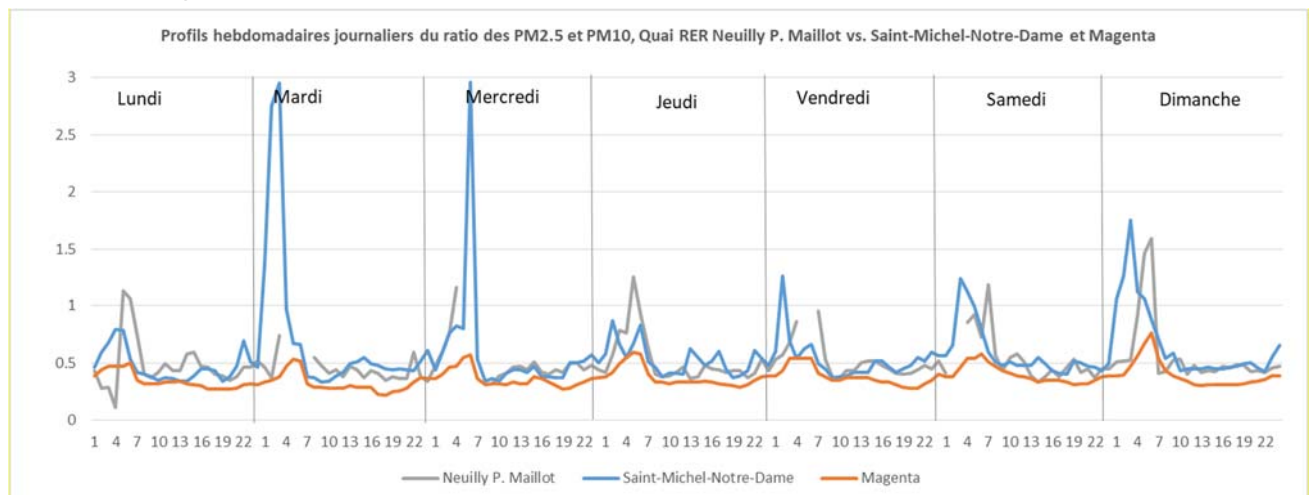


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et aux stations de référence, période du 18/04 au 08/05/2017.

Les profils moyens journaliers du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ sont présentés à la Figure 18. Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 7h à 24h), aussi bien en gare de Neuilly Porte Maillot qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, autour de 0,4. Les ratios augmentent la nuit (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public) aux stations de référence (données non disponibles en gare de Neuilly Porte Maillot), l'augmentation étant fortement en gare de Saint-michel-Notre-Dame (liés aux pics

nocturnes dus aux travaux). Cette hausse nocturne est liée à la dépose des particules PM_{10} au sol, d'où une diminution importante des concentrations en PM_{10} .

Un pic quotidien des ratios est observé en début d'ouverture de la gare (décalage temporel à Neuilly-Porte Maillot par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame).

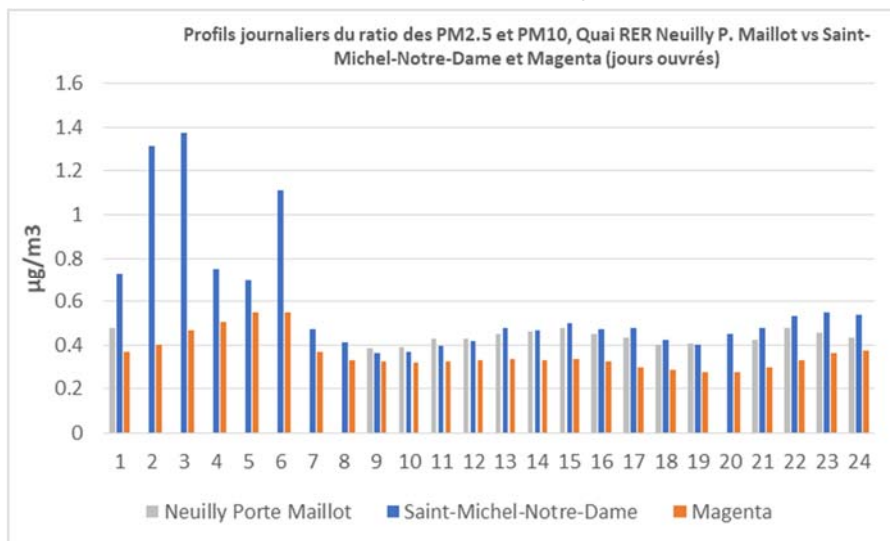


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 18/04 au 08/15/2017 – [jours ouvrés](#).

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ moyen est de 0,51 à Neuilly Porte Maillot, contre 0,6 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est relativement stable, à **l'échelle hebdomadaire**, en gare de Neuilly Porte Maillot, comme pour les deux stations de référence.

A l'échelle journalière, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,4 en journée, ratio qui augmente la nuit, lorsque les particules PM_{10} se déposent au sol et que leurs concentrations diminuent fortement du fait de l'arrêt de l'activité en gare, ou en lien avec des pics nocturnes dus à des travaux (à Saint-Michel-Notre-Dame).

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 mitigées pour la saison : des températures fraîches pour la saison mais peu de précipitations. Ces conditions météorologiques dégradées se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁶, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible pendant 75% du temps de la campagne de mesure (16 jours, soit 76% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 5 jours (24% du temps).

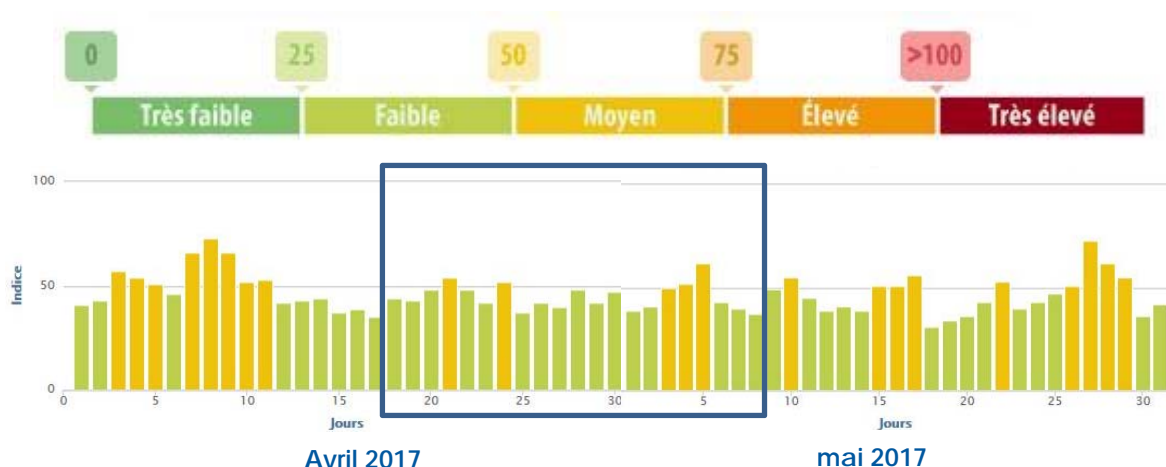
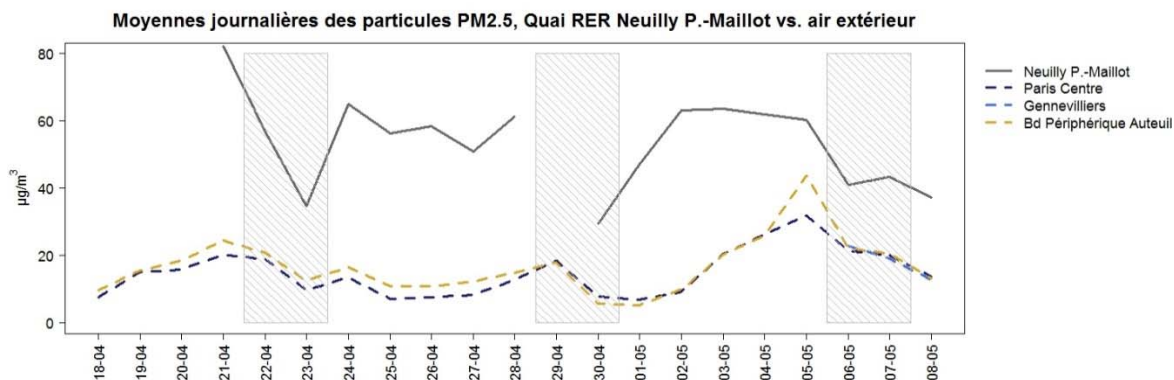


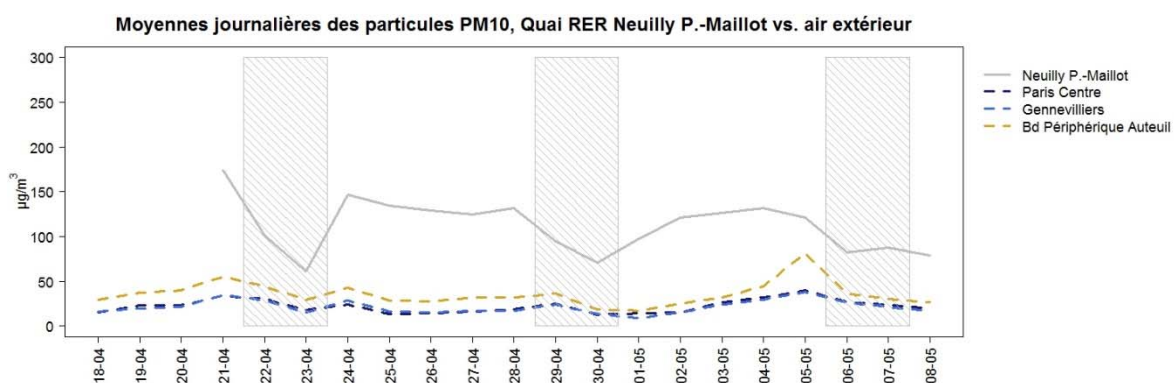
Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois d'avril et mai 2017.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Neuilly Porte Maillot avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée à la Figure 20, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}. Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Neuilly Porte Maillot suivent, comme en air extérieur, des variations comparables, à savoir une hausse des teneurs les jours ouvrés et baisse des niveaux les week-ends.

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.



(a)



(b)

Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en $PM_{2.5}$ (a) et en PM_{10} (b) en gare de Neuilly Porte Maillot 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 18/04 au 08/09/2017.

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare devait être suivi via les teneurs en CO_2 , qui permettent d'évaluer le renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources de CO_2 (combustion, respiration humaine). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) devaient également être suivis pendant les campagnes.

Toutefois, un problème technique sur l'appareil de mesure ne nous permet pas de disposer de relevés sur toute la période de mesure en gare de Neuilly porte Maillot.

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 facteurs explicatifs potentiels des niveaux de particules.

Le nombre de trains circulant en gare de Neuilly Porte Maillot (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.

En moyenne, les jours ouvrés, 201 circulent en gare de Neuilly Porte Maillot (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 180 trains qui circulent en moyenne en gare de Neuilly Porte Maillot (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta),

comme le dimanche (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres, pour la gare de Neuilly Porte Maillot, sont présentés en Figure 21 à l'échelle horaire.

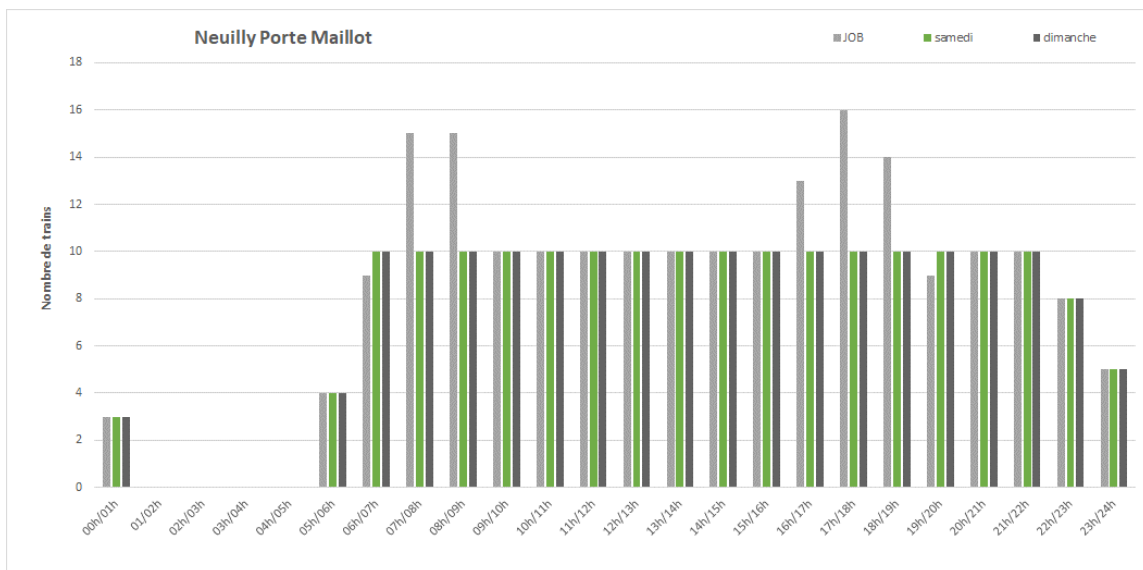


Figure 21 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 22, pour les jours ouvrés, pour la gare de Neuilly Porte Maillot. Le profil des teneurs en particules PM₁₀ est corrélé au nombre de trains en circulation, avec un décalage de 1 heure.

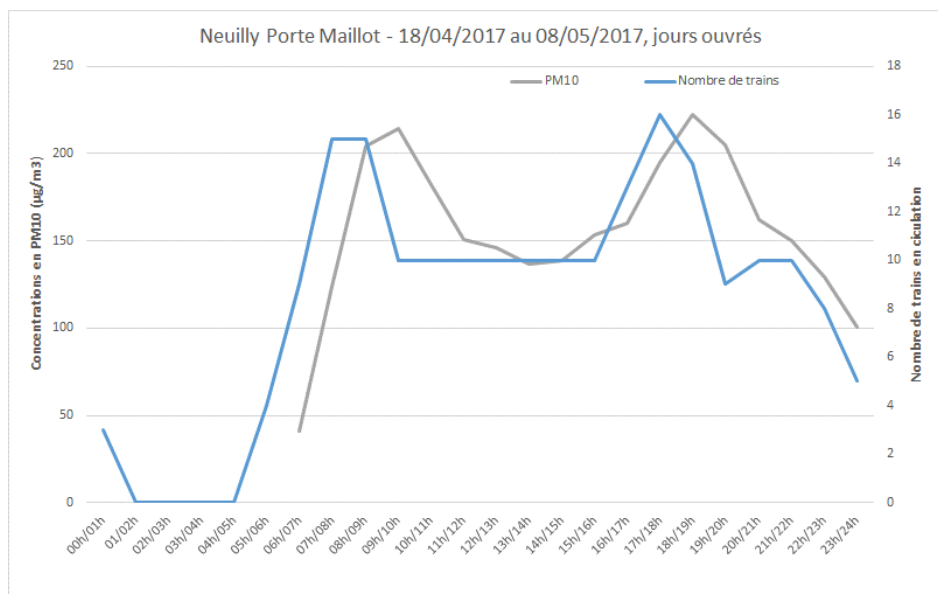


Figure 22 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot, période du 18/04 au 08/05/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules en fonction du jour de la semaine est présenté à la Figure 23.

En gare de Neuilly Porte Maillot, la diminution du nombre de trains en circulation le week-end par rapport aux jours ouvrés se traduit clairement par une baisse des teneurs : baisse du 10 % du nombre de trains et diminution de 37% des niveaux de PM₁₀.

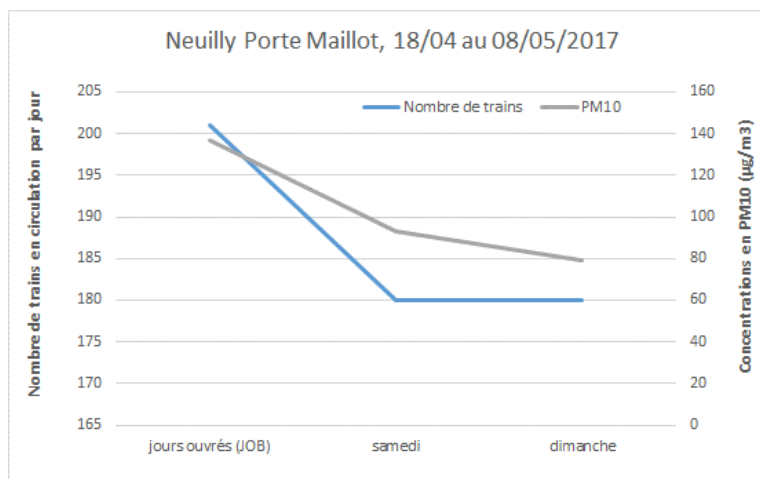


Figure 23 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Neuilly Porte Maillot, période du 18/04 au 08/05/2017.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, la ventilation ou encore les paramètres techniques de la gare de Neuilly Porte Maillot 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.
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de Neuilly Porte Maillot, comme les niveaux mesurés en air extérieur, sont plus faibles les week-ends par rapport aux jours ouvrés.
- La gare ne dispose pas de ventilation mécanique, celle-ci ne peut donc avoir d'influence sur les teneurs observées sur le quai.

4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Neuilly Porte Maillot, pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} :

- La teneur en particules fines PM₁₀ mesurée sur les quais du RER C en gare de Neuilly Porte Maillot au cours des mois de avril/mai 2017 était en moyenne de 114 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 294 µg/m³ (enregistré lors de pointe du matin le 3 mai).
- Le niveau moyen en particules très fines PM_{2.5} atteint 53 µg/m³, pour un maximum horaire de 138 µg/m³ enregistré le 25 avril à 22h.

Ces concentrations en particules PM₁₀ à la gare de Neuilly Porte Maillot (RER C, gare non ventilée) sont comparables (légèrement inférieures) à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée), aussi bien en termes de niveaux que d'évolution temporelle. Elles sont largement supérieures à celles de Magenta (RER E, station ventilée).

Ces concentrations en PM_{2.5} en gare de Neuilly Porte Maillot sont comparables (légèrement inférieures) à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame, avec une dispersion plus grande en gare de Neuilly Porte Maillot. Les teneurs à Neuilly Porte Maillot sont largement supérieures à celles de Magenta (RER E, station ventilée).

L'analyse complémentaire sur les particules PM₁₀ montre que la concentration totale de tous les métaux mesurés à Neuilly Porte Maillot est largement inférieure à celle mesurée à Saint-Michel-Notre-Dame, malgré des niveaux comparables en particules PM₁₀. Ces éléments se traduisent par une part des métaux dans les particules PM₁₀ plus faible à Neuilly Porte Maillot par rapport à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Ce résultat est plus faible que celui observé dans les gares étudiées jusqu'à présent. L'analyse confirme la présence majoritaire du Fer (96 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Zinc (1.7 %), suivi du Manganèse et du Cuivre, dans des proportions nettement moins importantes que le Fer (1 %).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation.

Ce rapport concerne les résultats de la sixième campagne de mesure Gare, après celle réalisée en gares d'Austerlitz, d'Hausmann-Saint-Lazare, Bras-de-Fer, Cergy-Préfecture et Saint-Ouen.

En complément des mesures présentées dans ce rapport, des mesures spécifiques dans les microenvironnements de la gare sont réalisés avec un appareil portable, mis à la disposition de la SNCF dans une logique d'exposition des travailleurs.

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE NEUILLY PORTE MAILLOT

Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs montants /jour :

11 920 (source SNCF, carte des montants 2016)

Caractéristiques du matériel roulant :

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

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

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

Aucune perturbation (situation dégradée, mouvements sociaux, arrêts, travaux) signalée par la SNCF.



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)⁷ et particules fines (PM_{2,5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame.

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 Micropolluant⁸.

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES⁴ 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) et Chrome (Cr).

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 évènement 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.

⁷ 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.

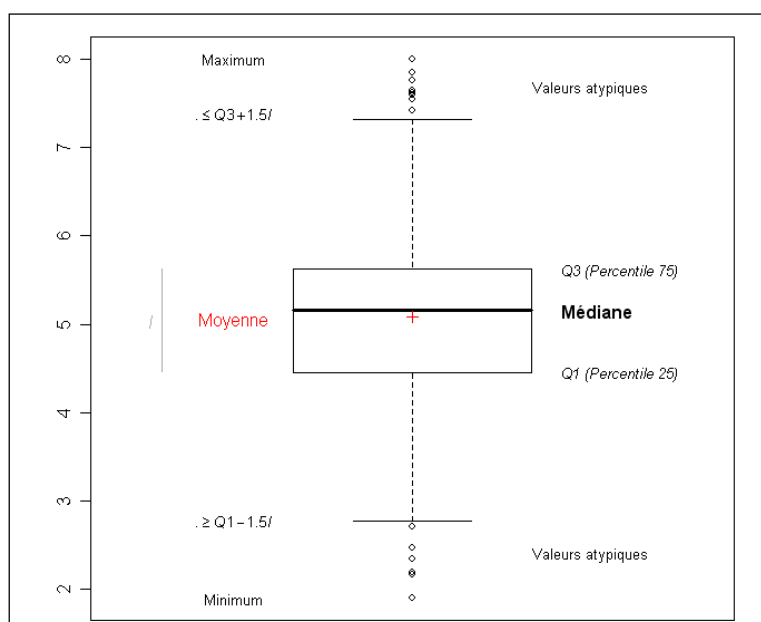
⁸ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

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.

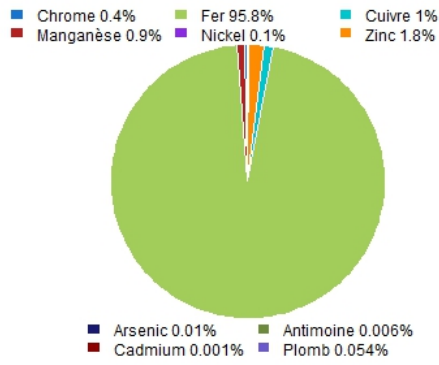
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

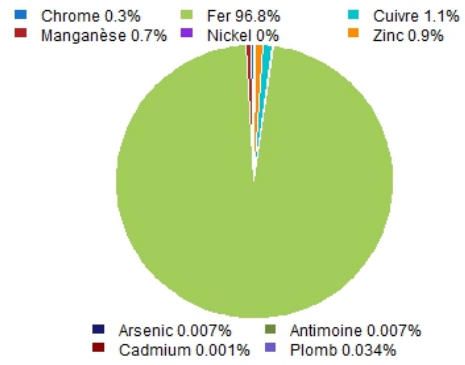
REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



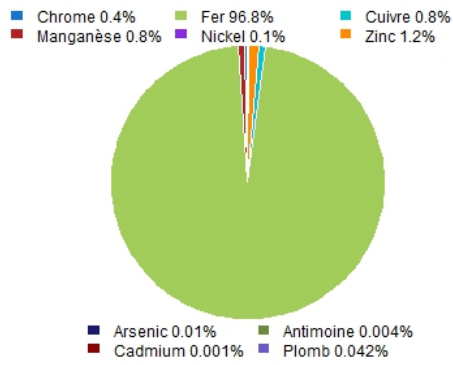
Neuilly P.-Maillot, 20/04/2017



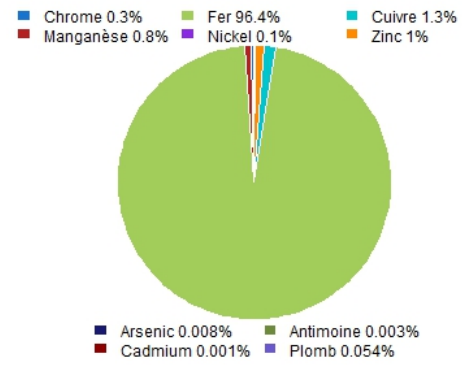
Saint-Michel-Notre-Dame, 20/04/2017



Neuilly P.-Maillot, 21/04/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, 21/04/2017



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE RER C DE NEUILLY PORTE MAILLOT ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 17/04/2017 AU 21/04/2017.

