

# MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME

Septembre 2016/décembre 2017

Mai 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  
SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME (STATION DE  
REFERENCE)  
RESULTATS DE SEPTEMBRE 2016 A  
DECEMBRE 2017**

**Mai 2019**

« 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 améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

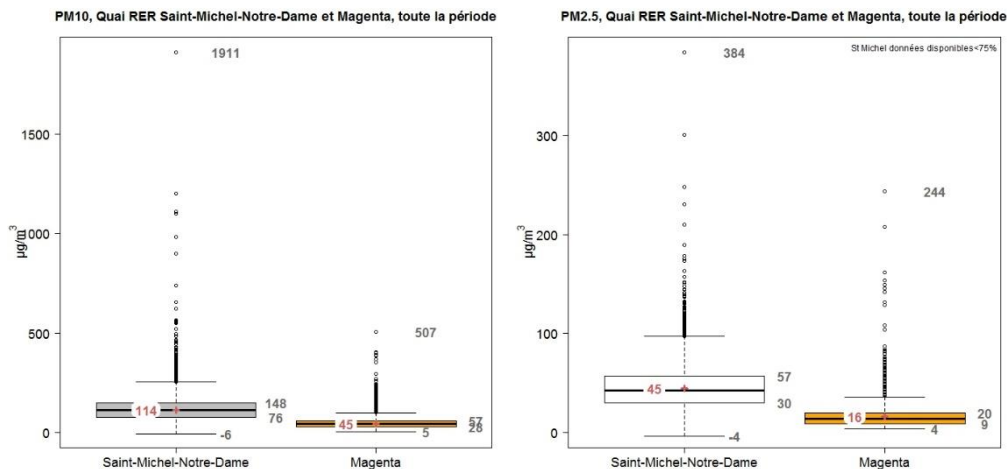
Dans ce cadre, des mesures ont été entreprises pour deux ans (septembre 2016 à août 2018) à la gare de **Saint-Michel-Notre-Dame (RER C)**, quai A, direction Gare Austerlitz). Les particules fines ( $PM_{10}$ ) et très fines ( $PM_{2.5}$ ) ont été suivies, ainsi que les métaux, les oxydes d'azote ( $NO_x$ ) et le benzène. Les mesures ont été arrêtées en janvier 2018 en lien avec les travaux nécessaires dans cette gare suite à la crue de la Seine. Ce site a été transféré en gare d'Avenue Foch (RER C), opérationnel depuis avril 2018. En parallèle, un autre site de référence est opérationnel en gare de Magenta (RER E).

## Les principaux résultats en particules

Les teneurs en particules fines  $PM_{10}$  mesurées sur les quais du RER C en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, entre septembre 2016 et décembre 2017, étaient en moyenne de  $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , le maximum horaire atteint étant de  $1911 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (enregistré lors de travaux nocturnes).



Les niveaux moyens en particules très fines  $PM_{2.5}$  atteignent  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur la même période, pour un maximum horaire de  $384 \mu\text{g}/\text{m}^3$  (atteint la nuit, pas au même moment que pour les  $PM_{10}$ ).



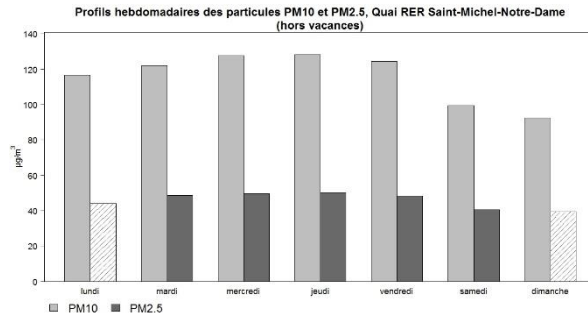
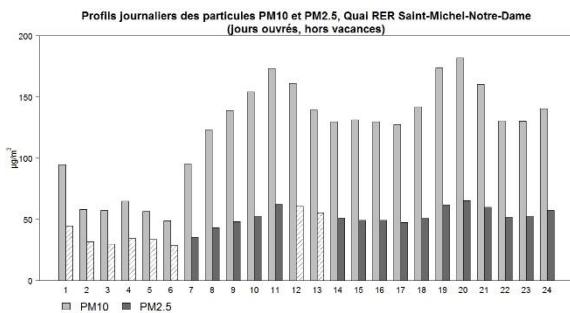
**Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Magenta ?** Les niveaux moyens en  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  sont largement supérieurs à ceux de la station de référence Magenta (respectivement de  $45$  et  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , enregistrés sur la même période).

Ce résultat s'explique essentiellement par la configuration différente des deux gares : gare récente, avec de grands volumes et un système de ventilation en place (favorisant l'évacuation de la pollution aux particules) à Magenta, la gare de Saint-Michel-Notre-Dame étant plus ancienne, plus petite et avec une ventilation naturelle.

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

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

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les  $PM_{10}$  (-23 %) et les  $PM_{2.5}$  (-17%), en lien avec la baisse de fréquentation et de trafic le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).



En hachuré, < 75% de données

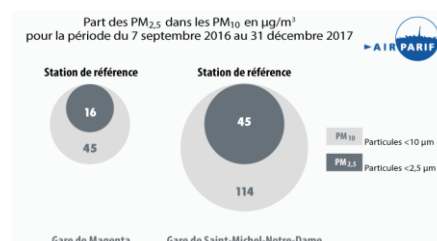
Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes sont les plus faibles, avec en moyenne  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ . Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales le matin vers 10-12h et le soir (19-21h). Les concentrations dépassent alors  $165 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne en  $\text{PM}_{10}$  et  $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ .

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions similaires en  $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ . Les mois d'automne présentent les niveaux moyens les plus faibles. A l'inverse, les concentrations sont plus élevées en été.

Enfin, les concentrations sont plus importantes en service commercial que sur une journée de 24h, de l'ordre de 9% pour les  $\text{PM}_{10}$  et 4% pour les  $\text{PM}_{2.5}$ .

### Ratio $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio  $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$  en gare de Saint-Michel-Notre-Dame est en moyenne de 0,44, comparable à celui enregistré à Magenta (0,39). Les ratios varient peu à l'échelle mensuelle ou hebdomadaire. Le profil journalier montre des ratios stables en journée (0,38 entre 7h et 24h), et en hausse la nuit (autour de 0,6), conformément avec l'émission de particules plus grossière liée au mouvement des trains.



### Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ?

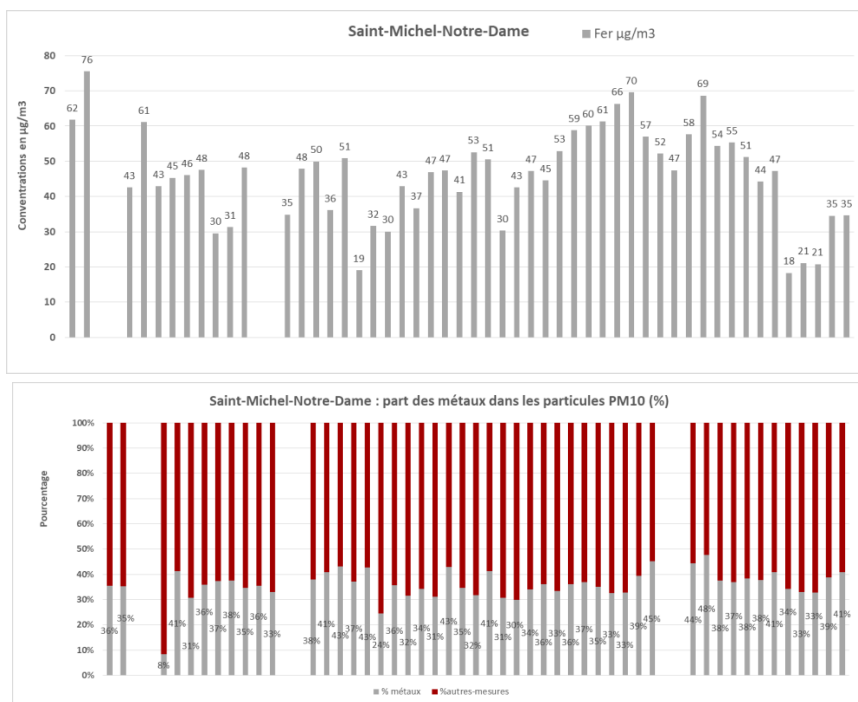
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules  $\text{PM}_{10}$  varie de 8 à 48 % sur les 51 journées de mesure réalisées entre septembre 2016 et décembre 2017. Elle est en moyenne de 36%.

### Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite le **Cuivre** (1.8 %), le **Zinc** (0.9 %), le **Manganèse** (0.8 %), le **Chrome** (0.3 %) et le **Nickel** (0.1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

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

Les relevés journaliers des métaux sont variables selon les jours de mesures, en lien avec les niveaux de particules en gare. Deux périodes ont toutefois présenté des teneurs plus importantes : autour du 20/06/2016 (en lien avec des teneurs maximales en particules) et 13/09/2017. Ces périodes ont précédé et suivi les travaux Castor et le passage de trains travaux, pouvant être à l'origine des teneurs plus élevées en métaux. La part des métaux atteint sur ces périodes 45 à 48 % des particules.



### Cas de la silice cristalline ?

Des relevés journaliers (35 jours) ont été effectués en gare de Saint-Michel-Notre-Dame et en parallèle dans huit gares franciliennes, entre septembre 2016 et juin 2017.

Le **tridymite** n'a jamais été détecté.

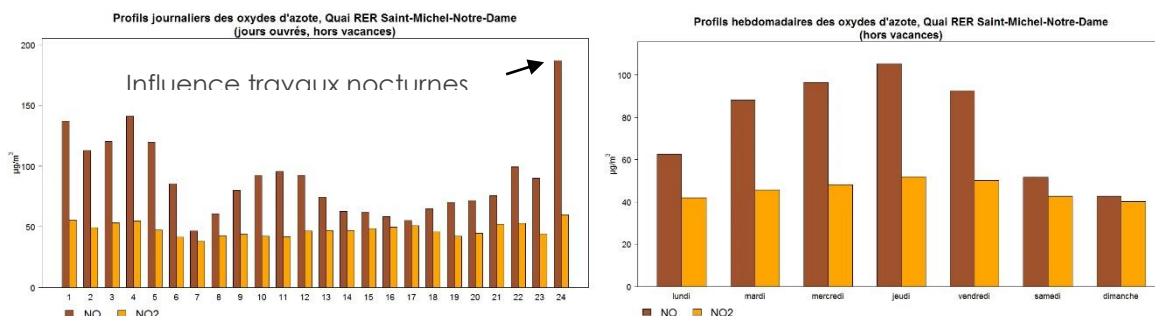
Le **quartz** est l'élément le plus présent, il représente en moyenne 1.8 % des teneurs en particules PM<sub>10</sub>. La part de la **crystalobalite** est mineure, représentant en moyenne 0.17 % des teneurs en PM<sub>10</sub>.

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

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C à Saint-Michel-Notre-Dame est de 76 µg/m<sup>3</sup> en NO (entre septembre 2016 et décembre 2017) et 45 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>.

Contrairement aux particules, les variations temporelles en NO<sub>x</sub> ne sont pas liées à la circulation des trains commerciaux, mais aux travaux nocturnes et à la circulation des trains spécifiquement associés.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, de l'ordre de 50 % pour le NO et de façon plus limitée pour le NO<sub>2</sub> (- 13%), en partie en lien avec l'absence de travaux le week-end.



Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes sont les plus forts, avec en moyenne 136 µg/m<sup>3</sup> en NO et 51 µg/m<sup>3</sup> en NO<sub>2</sub>. Cela correspond à la période des travaux de maintenance réalisés sur le réseau souterrain, voire uniquement à des passages de trains à locomotive diesel. Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée : en moyenne la teneur en NO entre 6 et 23h est de 74 µg/m<sup>3</sup> et celle de NO<sub>2</sub> avoisine 46 µg/m<sup>3</sup>. Un impact des niveaux extérieurs est observable en matinée, lors de la « pointe du matin » liée au trafic routier, essentiellement sur les teneurs en NO.

A l'échelle mensuelle, il existe également des fluctuations, dans des proportions plus importantes en NO qu'en NO<sub>2</sub>. Le mois présentant les teneurs en NO<sub>2</sub> les plus faibles est le mois d'octobre 2017.

Sur l'ensemble des relevés hebdomadaires disponibles (55 semaines) entre septembre 2016 et décembre 2017, la concentration moyenne de **benzène** est de 2.3 µg/m<sup>3</sup>, la valeur hebdomadaire minimale étant de 1.3 µg/m<sup>3</sup>, la maximale de 4.3 µg/m<sup>3</sup>. Ces résultats sont comparables aux mesures déjà réalisées dans différentes enceintes souterraines françaises.

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

- **Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules sur le quai**, aussi bien en particules fines PM<sub>10</sub> que très fines PM<sub>2,5</sub>, d'où des maxima observables aux heures de pointe en semaine.
- Les niveaux en CO<sub>2</sub>, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.
- L'impact de l'air extérieur sur les niveaux de particules et en oxydes d'azote sur les quais de la gare a été mis en avant, notamment lors de fortes concentrations en air extérieur. Il existe une atténuation en termes de niveaux. Toutefois, à l'échelle mensuelle, le résultat est moins visible, l'autre source prédominante de pollution intérieure, à savoir la circulation ferroviaire reste prépondérante.
- L'impact de la ventilation n'a pas pu être étudié en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, car elle n'est pas en place. La comparaison avec les résultats en gare de Magenta montre toutefois que c'est un paramètre important sur les concentrations observées sur les quais. L'existence d'un système de ventilation dans la gare permet de réduire les niveaux de particules en gare.

Ce rapport concerne les résultats de l'ensemble des mesures réalisées en gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame. Un rapport similaire présentera les résultats de mesure de 2018 en gare RER C d'Avenue Foch. Un rapport complet sera réalisé pour présenter l'ensemble des résultats de mesure du programme de partenariat entre Airparif et la SNCF Gares d'Ile-de-France.

# SOMMAIRE

SYNTHESE .....	4
SOMMAIRE .....	8
GLOSSAIRE .....	9
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	10
1. DESCRIPTION DE LA STATION DE REFERENCE SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME ...	12
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	12
1.2 PERIODE DE MESURE.....	13
2. NIVEAUX DE POLLANTS RENCONTRES DANS LA GARE .....	14
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI : PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> ET NO <sub>x</sub> (MESURES AUTOMATIQUES) .....	14
2.1.1. PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	15
2.1.2. PARTICULES PM <sub>2.5</sub> .....	16
2.1.3. OXYDES D'AZOTE (NO <sub>x</sub> ) .....	17
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : PM <sub>10</sub> , PM <sub>2.5</sub> ET NO <sub>x</sub> .....	19
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE .....	19
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	22
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE .....	27
2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE .....	30
2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL .....	33
2.3 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2.5</sub> .....	36
2.3.1. NIVEAUX MOYENS .....	36
2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	36
2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE .....	38
2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE .....	39
2.4 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES .....	41
2.4.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	41
2.4.2. REPARTITION DES METAUX .....	42
2.4.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	44
2.5 TENEURS EN SILICE CRISTALLINE DANS LES PARTICULES.....	46
2.6 TENEURS EN BENZENE.....	49
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	51
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR.....	51
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT.....	56
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.....	57
4. CONCLUSION.....	60



# GLOSSAIRE

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

**ng/m<sup>3</sup>** nano gramme par mètre cube

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

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

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

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

**NO** Monoxyde d'azote

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

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

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

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

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

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

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

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

- **Surveiller** par une combinaison technologique (modélisation, stations, émissions) permettant de renseigner 7 millions de points toutes les heures en Ile-de-France ;
- **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 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'environnement<sup>1</sup>, afin de mieux documenter les niveaux et comprendre les facteurs d'influence. Aucun décret d'application spécifique aux enceintes souterraines ferroviaires n'est paru à ce jour et il n'existe pas de normes en vigueur dans ces espaces.

**L'objectif de ce programme est de documenter finement les niveaux de particules dans les gares franciliennes souterraines exploitées par la SNCF**, afin de faciliter la construction de plans d'amélioration et la priorisation des travaux afférents. 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 ont été, à tour de rôle, équipées d'une station de mesure de la qualité de l'air. Dans chaque gare ont été mesurées en continu pendant 3 semaines les particules PM<sub>10</sub> et les particules fines PM<sub>2,5</sub>. 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 (CO<sub>2</sub>, Humidité et Température) ont été suivis. Les mesures ont été réalisées sur le quai de la gare.

Dans le cadre du partenariat, les mesures dans 16 gares ont été assurées par Airparif, les 7 autres gares étant étudiées par AEF<sup>2</sup>.

En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E)<sup>3</sup>, 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 (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2,5</sub>). 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.

Par ailleurs, la station Saint-Michel-Notre-Dame mesure également les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) et le benzène. Il s'agit de polluants issus principalement de l'air extérieur, pour lesquels les niveaux sont problématiques en Ile-de-France, et qui peuvent contaminer les enceintes ferroviaires souterraines, comme tous les bâtiments ayant des ouvertures sur l'extérieur. Des mesures en silice ont également été réalisées.

Suite à la crue de la Seine début 2018, il a été décidé d'arrêter définitivement les mesures en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (gare fermée au public) au 23/01/2018. Cette station de référence a été déplacée au printemps à la gare RER C de l'Avenue Foch et gérée par Airparif.

---

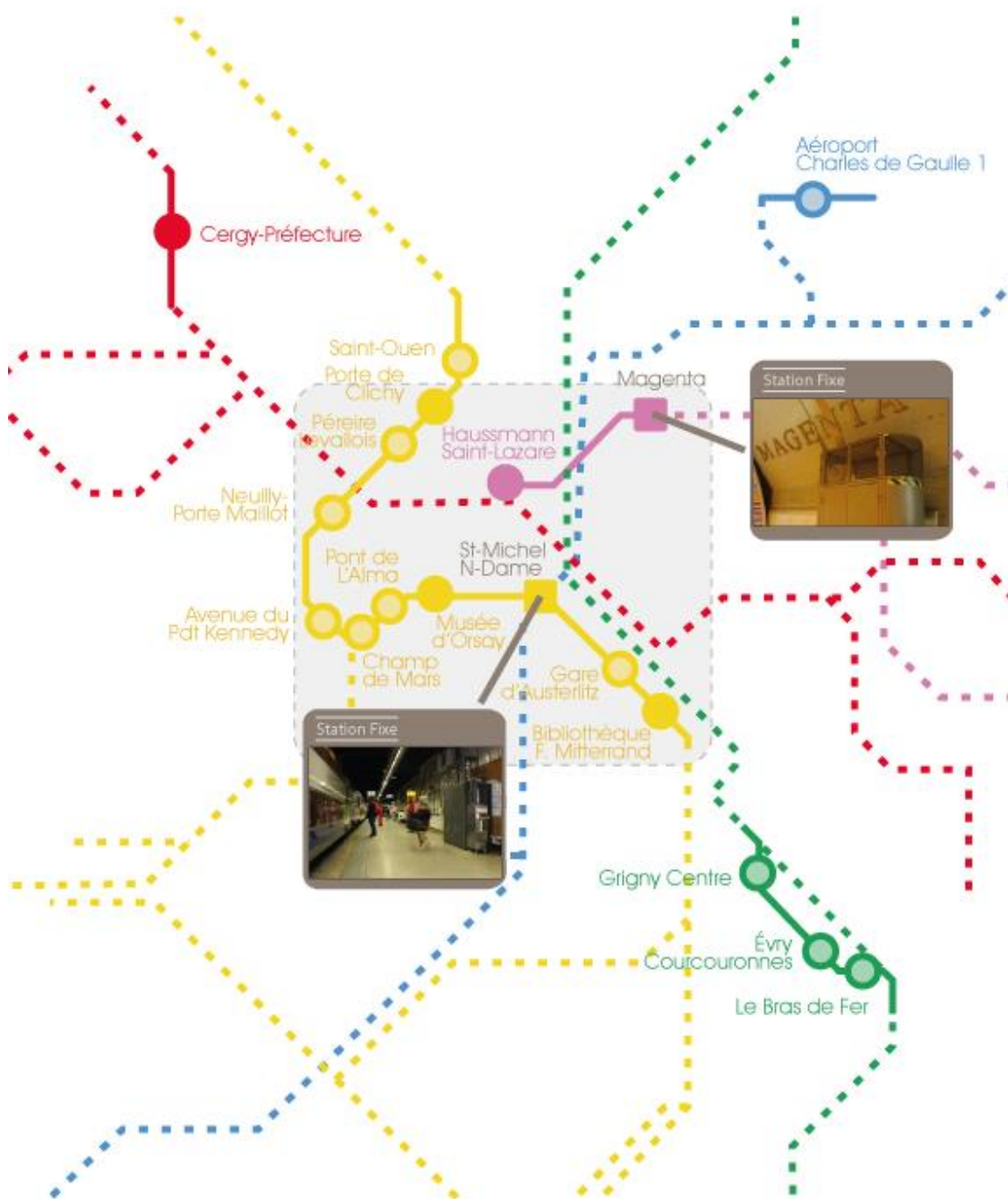
<sup>1</sup> Article 180 de la loi 2010-788 du 12/07/2010 qui impose une surveillance de la qualité de l'air intérieur pour le propriétaire ou l'exploitant des Etablissements Recevant du Public (ERP) déterminé par décret en conseil d'Etat. A ce jour, seuls les ERP recevant des personnes dites sensibles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

<sup>2</sup>AEF : Agence d'Essais Ferroviaires, Laboratoire d'Essais de la SNCF.

<sup>3</sup> Détails sur la station de Magenta : <http://www.iseo.fr/sncf/rapports/DOC047931-00.signed.pdf>.

Ce rapport présente les résultats à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pendant toute la durée des mesures (septembre 2016 – décembre 2017).

La figure suivante illustre la localisation des deux stations permanentes.



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

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

Paris intra muros ■



Figure 1 - Localisation des deux stations fixes (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame).

# 1. DESCRIPTION DE LA STATION DE REFERENCE SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME

## 1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur le RER C (Pontoise/Versailles Château/Saint-Quentin-en-Yvelines – Saint-Martin d'Etampes/Dourdan la Forêt/Massy-Palaiseau) a été instrumentée de septembre 2016 à janvier 2018. Elle a servi de station de référence, à laquelle ont été comparées les gares faisant l'objet de campagnes de mesure de durée plus réduite (3 semaines).

Cette gare est de configuration complexe, c'est-à-dire avec des correspondances. Elle est connectée avec les lignes 4 et 10 du métro, et au RER B. Elle est située quai Saint-Michel, à Paris (V<sup>ème</sup>).

La gare RER est souterraine, de profondeur moyenne. Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place mais une ventilation naturelle. Le quai se trouve au niveau -2.

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

Le nombre de voyageurs montant en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C) est de 59 483 par jour (source SNCF : carte des montants 2016), c'est l'une des gares RER franciliennes les plus fréquentées.

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (2 sens confondus) est de 477 les jours ouvrés (jours JOB), 430 les samedis et 369 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la période de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai A en direction de Gare d'Austerlitz (Saint-Martin-d'Etampes / Dourdan-la-Forêt et Saint-Quentin-en-Yvelines via Massy Palaiseau).



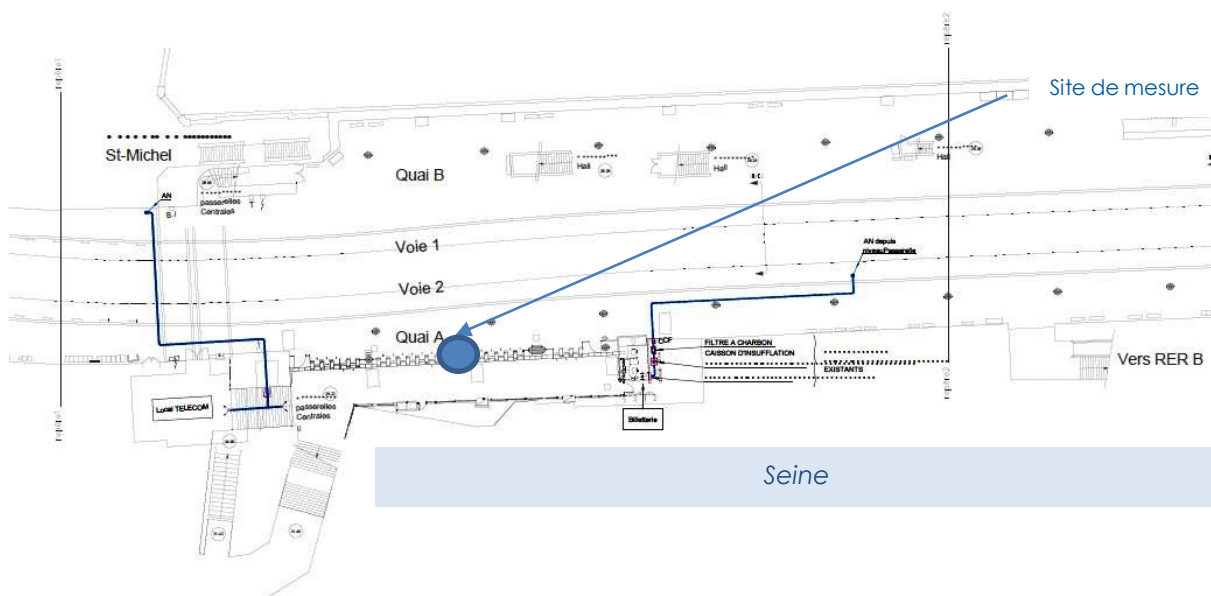


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Saint-Michel-Notre-Dame, ligne RER C, quai A) et photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare (accès Quai Saint Michel).

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

Pour rappel, des mesures en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> et en métaux, ainsi que des relevés en CO<sub>2</sub>, humidité et température ont été réalisés à cette station. Le suivi des oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) ainsi que du benzène a également été réalisé dans cette gare, ainsi que la silice sur une période plus réduite.

Des informations détaillées sur le site de Magenta, géré par AEF, sont disponibles dans les bilans annuels de cette gare<sup>3</sup>.

## 1.2 PERIODE DE MESURE

Cette gare a été choisie comme gare de référence pendant toute la durée du partenariat, aussi les mesures de pollution atmosphérique à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame ont été réalisées en continu entre **septembre 2016 et décembre 2017**. Les mesures ont été suspendues pendant les travaux Castor, qui ont lieu chaque année de mi-juillet à fin août. Elles ont définitivement été arrêtées courant janvier 2018 suite à la fermeture au public de la gare (conséquence de la crue de la Seine).

**Le présent rapport traite des relevés complets de mesure, à savoir de septembre 2016 à décembre 2017.**

## 2. NIVEAUX DE POLLANTS RENCONTRES DANS LA GARE

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

Les niveaux observés sur le quai dans la gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont comparés aux observations sur les quais de la deuxième station de référence Magenta, pendant la même période.

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

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 Saint-Michel-Notre-Dame et pour Magenta sur la même période (premiers relevés le 07/09/2016 – pour les PM<sub>10</sub> et les NO<sub>x</sub> - et le 15/09/2016 – pour les PM<sub>2.5</sub> ; arrêt des mesures en raison des travaux Castor<sup>4</sup> de l'été 2017, à savoir du 12/07/2017 au 04/09/2017).

	PM <sub>10</sub> (particules fines)		PM <sub>2.5</sub> (particules très fines)		NO (monoxyde d'azote)	NO <sub>2</sub> (dioxyde d'azote)
	Saint- Michel- Notre- Dame	Magenta	Saint- Michel- Notre- Dame	Magenta	Saint- Michel- Notre-Dame	Saint- Michel- Notre-Dame
<b>Statistiques (µg/m<sup>3</sup>)</b>						
<b>Minimum horaire</b>	0	5	0	4	0	1
<b>Percentile 25 (P25)</b>	76	28	30	9	23	32
<b>Médiane ou Percentile 50</b>	114	42	42	14	45	41
<b>Moyenne</b>	<b>114</b>	<b>45</b>	<b>45</b>	<b>16</b>	<b>76</b>	<b>45</b>
<b>Percentile 75 (P75)</b>	148	57	57	20	78	51
<b>Maximum horaire</b>	1911	507	384	244	2752	1153
<b>% de données horaires valides</b>	84	92	71	92	83	84

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 07/09/2016 au 31/12/2017.

Le niveau moyen en PM<sub>10</sub> relevé en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (période 07/09/2016-31/12/2017) est de 114 µg/m<sup>3</sup>. Il est très supérieur au niveau moyen relevé en gare de référence de

<sup>4</sup> Travaux Castor : Le tronçon central du RER C, long de huit kilomètres, emprunte des tunnels vieillissants. Dans certains secteurs, la voie côtoie de près la Seine, et passe sous une chaussée aujourd'hui très fréquentée avec un faible écart entre celle-ci et la voûte des tunnels. De ce fait, une fragilisation des ouvrages s'accroît avec le temps a été constatée. Pour y faire face, SNCF Réseau a engagé un vaste programme de rénovation des tunnels parisiens, appelé « Travaux Castor ».

Magenta ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur la même période). L'ensemble des paramètres statistiques en gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont supérieurs à ceux de Magenta.

Le niveau moyen en  $\text{PM}_{2.5}$  à la gare Saint-Michel-Notre-Dame ( $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est plus élevé que celui de la gare de Magenta ( $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), comme tous les autres paramètres statistiques.

Concernant les polluants gazeux, le niveau moyen en  $\text{NO}_2$  relevé en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (période 07/09/2016-31/12/2017) est de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , celui en  $\text{NO}$  est de  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A titre de comparaison, en air extérieur, en situation de fond, sur la même période, une moyenne de  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{NO}_2$  (et  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{NO}$ ) a été enregistrée à la station de Paris Centre (située place Igor Stravinsky, à Paris 4<sup>ème</sup>). A proximité du trafic routier, rue Bonaparte (Paris 6<sup>ème</sup>), la moyenne atteint  $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{NO}_2$  (et  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{NO}$ ).

## 2.1.1. PARTICULES $\text{PM}_{10}$

La variabilité des concentrations en  $\text{PM}_{10}$  à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, ainsi qu'à la station de référence Magenta, est présentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches.

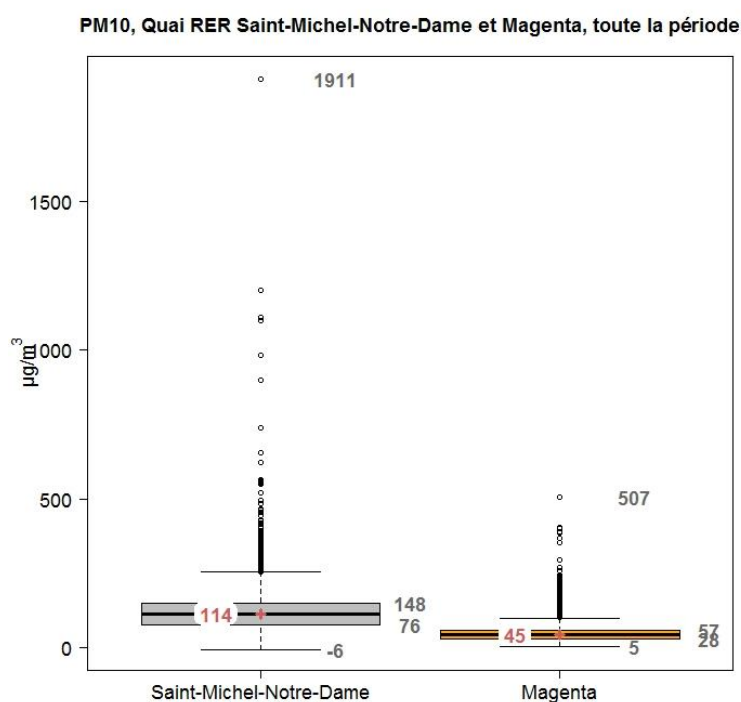


Figure 3 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en  $\text{PM}_{10}$ , en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à la station de Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

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. La boîte rectangulaire contient 50% des données. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane (50% des données sont inférieures, les 50% restantes sont supérieures), et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> en gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre une répartition « équilibrée <sup>5</sup> » des mesures, avec toutefois beaucoup de maxima horaires isolés (« valeurs atypiques ») élevés. 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 76 et 148 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 114 µg/m<sup>3</sup> (médiane équivalente). Le maximum atteint à Saint-Michel-Notre-Dame a dépassé le seuil maximum de l'appareil de mesure (1911 µg/m<sup>3</sup>), enregistré le mercredi 31 août 2017 entre 4 et 5h, lors de travaux réalisés en dehors des heures d'ouverture au public.

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de Saint-Michel-Notre-Dame, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre de comparaison, les relevés horaires en gare de Magenta, sur la même période, présentent une moyenne de 45 µg/m<sup>3</sup>. 50% des données sont comprises entre 28 et 57 µg/m<sup>3</sup> et le maximum horaire a été enregistré à 507 µg/m<sup>3</sup> pendant des travaux nocturnes (le mercredi 1<sup>er</sup> mars 2017 entre 1h et 2h).

La différence de niveaux entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, mécanique à Magenta. La gare de Magenta est également plus grande et spacieuse que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame (d'où un volume de mélange plus important).

Le nombre de trains circulant dans les deux gares est assez proche, avec en moyenne 430 trains pour jour ouvré à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 trains en circulation à Magenta, aussi ce paramètre ne peut expliquer la différence de concentrations en particules entre ces 2 gares.

Il existe par contre une différence du nombre de voyageurs entre ces gares, mais cette variable n'est pas non plus corrélée avec les concentrations puisque 78 212 voyageurs par jour montent en gare de Magenta, contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame (source interne SNCF : carte des montants 2016).

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

La boîte à moustaches des concentrations horaires en PM<sub>2.5</sub> relevées à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame est présentée Figure 4, ainsi que celle des relevés de Magenta.

---

<sup>5</sup> Répartition équilibrée : la taille des moustaches (différence entre valeur minimale et percentile 25, et entre percentile 75 et valeur maximale hors valeur(s) aberrante(s)) présente un ordre de grandeur cohérent par rapport à la « boîte » (différence entre percentile 25 et percentile 75), ou encore la moyenne et la médiane sont présentes dans la boîte.



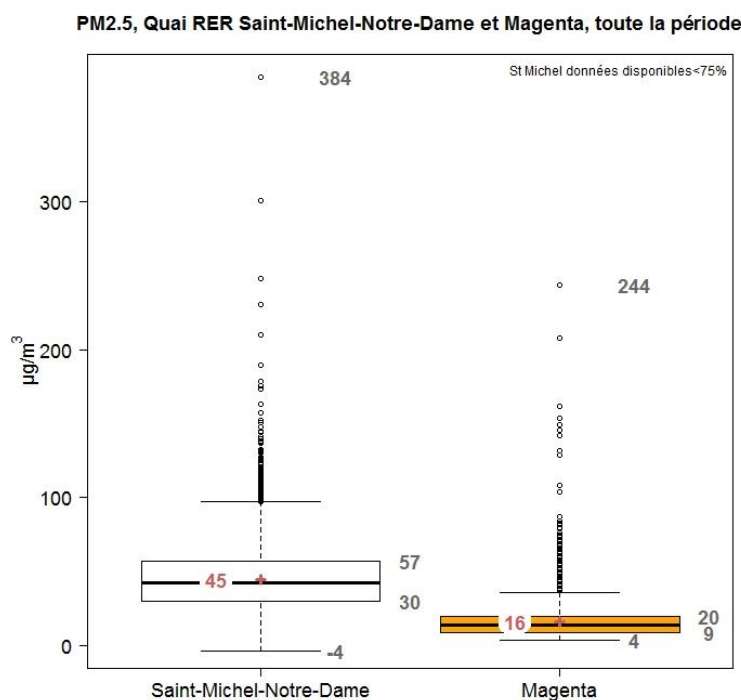


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à la station de Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

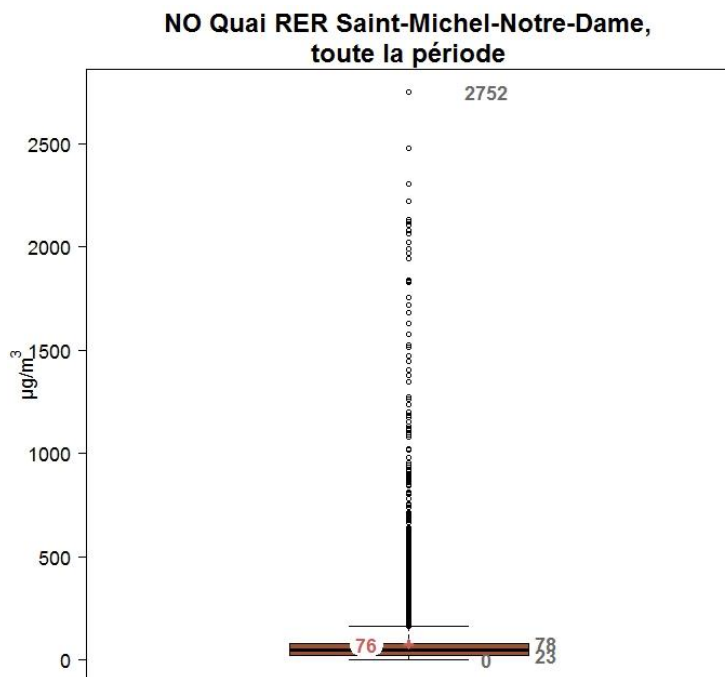
La boîte à moustaches montre une moyenne en PM<sub>2.5</sub> égale à 45 µg/m<sup>3</sup> en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, contre 16 µg/m<sup>3</sup> à Magenta. Comme pour les PM<sub>10</sub>, on note de nombreuses valeurs atypiques, mais c'est également le cas à Magenta.

50% des données sont comprises entre 30 et 57 µg/m<sup>3</sup> à Saint-Michel-Notre-Dame, entre 9 et 20 µg/m<sup>3</sup> à Magenta.

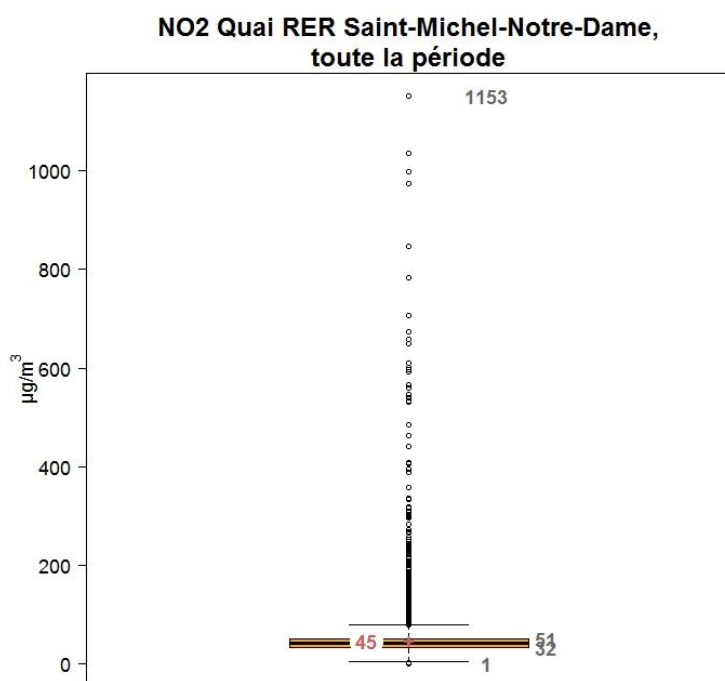
Le maximum atteint à Saint-Michel-Notre-Dame (384 µg/m<sup>3</sup>) a été enregistré le dimanche 10 avril entre 3 et 4h, lors de travaux nocturnes (pas au même moment que le maximum en PM<sub>10</sub>). A Magenta, il a atteint 244 µg/m<sup>3</sup>, le mercredi 1<sup>er</sup> mars 2017 entre 1h et 2h en même temps que le maximum en PM<sub>10</sub>.

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

Les boîtes à moustaches des concentrations horaires en NO<sub>x</sub> (NO et NO<sub>2</sub>) relevées à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame sont présentées à la Figure 5. Aucune comparaison avec d'autres relevés n'est possible, les NO<sub>x</sub> n'étant pas suivis à la station de Magenta.



(a)



(b)

Figure 5 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en (a) NO et (b) NO<sub>2</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

Les deux boîtes à moustaches montrent de nombreuses valeurs atypiques élevées, en lien avec les sources (circulation de trains diesel nocturnes). 50 % des données horaires relevées en NO sont comprises entre 23 et 78 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 76 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 45 µg/m<sup>3</sup>. 50 % des données horaires relevées en NO<sub>2</sub> sont comprises entre 32 et 51 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 45 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 41 µg/m<sup>3</sup>.

Faute de mesure dans une autre gare souterraine et étant donné la source principale du NO<sub>2</sub> dans ces espaces (principalement l'air extérieur, en dehors des travaux nocturnes réalisés en gare), les niveaux en air extérieur en situation de fond sont fournis à titre de comparaison. A la station urbaine de fond Paris Centre (située place Igor Stravinsky, à Paris 4<sup>ème</sup> et à environ 1.2 km de la gare Saint-

Michel-Notre-Dame), les niveaux moyens en  $\text{NO}_2$  sur la même période sont de  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . A proximité du trafic routier, rue Bonaparte (Paris 6<sup>ème</sup>, situé à environ 1 km de la gare Saint-Michel-Notre-Dame), la moyenne atteint  $52 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{NO}_2$  (cf. Figure 6).

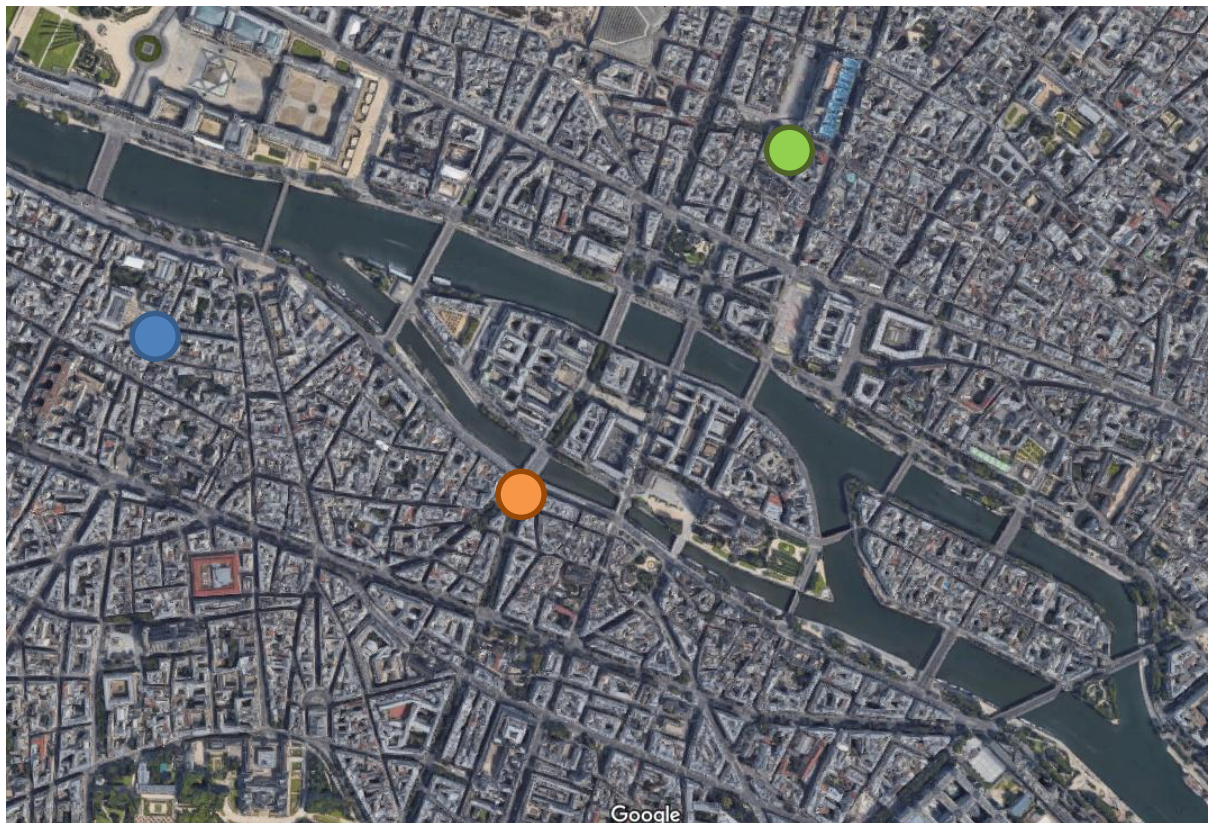


Figure 6 – Localisation de la station de référence Saint-michel-Notre-Dame (en orange), et des deux stations de mesures d'Airparif situées à proximité : Paris Centre (en vert) et Rue Bonaparte (en bleu).

**La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C à Saint-Michel-Notre-Dame est de  $114 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en particules  $\text{PM}_{10}$  (entre septembre 2016 et décembre 2017) et  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les particules  $\text{PM}_{2.5}$ .**

Les niveaux moyens en particules ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ ) sont très supérieurs à ceux de la station de référence Magenta (niveaux moyens respectivement de  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et  $16 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ )

**La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C à Saint-Michel-Notre-Dame est de  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{NO}$  (entre septembre 2016 et décembre 2017) et  $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le  $\text{NO}_2$ .**

## 2.2 VARIABILITE TEMPORELLE : $\text{PM}_{10}$ , $\text{PM}_{2.5}$ et $\text{NO}_x$

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

#### 2.2.1.1. PARTICULES $\text{PM}_{10}$

Les relevés horaires en particules  $\text{PM}_{10}$  aux stations Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta sont présentés à la Figure 7.

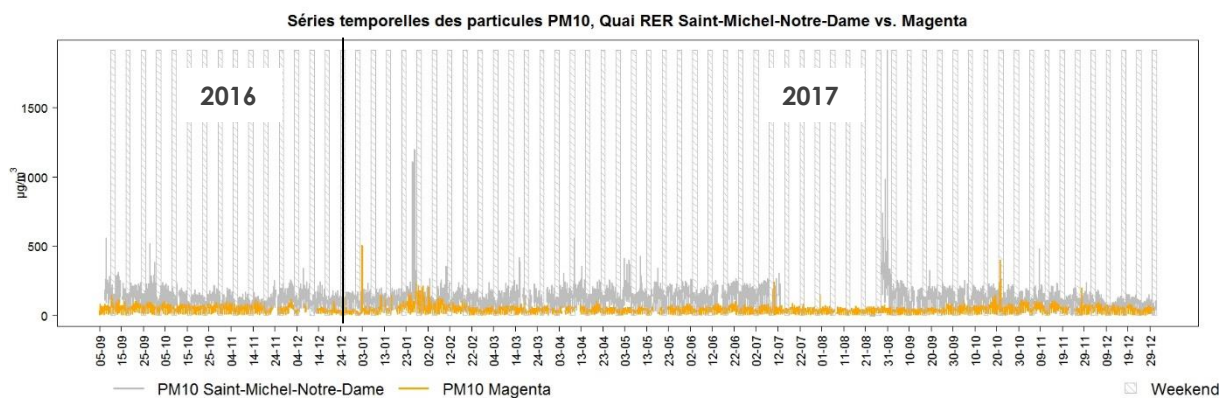


Figure 7 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et gare de Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017).

Le graphique montre des teneurs maximales horaires journalières relativement homogènes sur la période, excepté certains pics. Des niveaux importants ont été enregistrés début septembre 2017, en lien avec la fin des travaux Castor, qui impliquent des travaux nocturnes jusqu'à fin août. De fortes teneurs nocturnes ont également été observées fin janvier 2017, toujours en lien avec des travaux (changement des chemins de câbles dans la station). Les maxima journaliers horaires étaient majoritairement de l'ordre de 200 µg/m<sup>3</sup>. Seules 31 heures (soit moins de 0.3 % des relevés disponibles) sont supérieures à 400 µg/m<sup>3</sup>. Elles sont toutes dues à des travaux nocturnes, excepté quelques heures fin août en matinée (fin des travaux Castor ; potentiellement une fin tardive de travaux). De la même façon, les teneurs maximales horaires à Magenta sont stables sur l'année, le maxima horaire (507 µg/m<sup>3</sup> enregistré le mardi 3 janvier 2017 entre 1h et 2h) est atypique.

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

Les relevés horaires en PM<sub>2.5</sub> aux stations Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta sont présentés à la Figure 8.

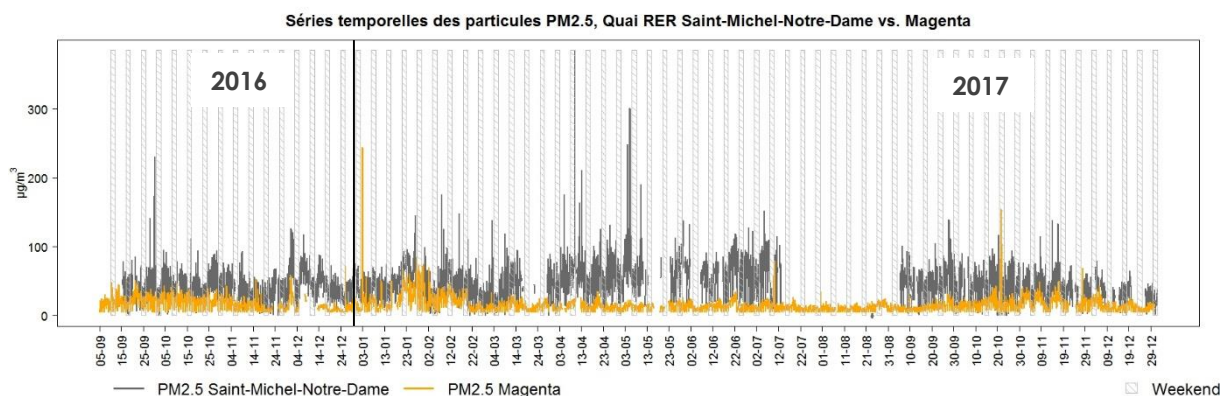


Figure 8 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et gare de Magenta, période du 05/09/2016 au 12/07/2017).

Le graphique montre des teneurs maximales horaires journalières variables sur l'année, avec des maxima plus élevés entre avril et juillet 2017. Le maximum horaire à Saint-Michel-Notre-Dame a été enregistré pendant cette période (384 µg/m<sup>3</sup> le 10 avril 2017 entre 3h et 4h).

Les maxima journaliers horaires sont majoritairement de l'ordre de 100 µg/m<sup>3</sup>. Seules les données pour 5 heures (soit moins de 0.06% des relevés disponibles) sont supérieures à 200 µg/m<sup>3</sup>. Elles sont toutes dues à des travaux nocturnes.

A Magenta, les teneurs maximales horaires sont stables sur l'année, à l'exception d'une hausse des teneurs en janvier / février 2017. Le maxima horaire (244 µg/m<sup>3</sup> enregistré le mardi 3 janvier 2017 entre 1h et 2h, soit en même temps que le maximum horaire en PM<sub>10</sub>) est atypique. Les maxima en

PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> ont été enregistrés à la même heure en gare de Magenta, contrairement à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame avec celle des relevés de la station de Magenta montre des profils temporels similaires, les concentrations étant beaucoup plus faibles à Magenta.

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

Les relevés horaires en NO<sub>x</sub>, présentés en Figure 9, montrent des fluctuations importantes selon les jours. Les fluctuations sont simultanées pour le NO et le NO<sub>2</sub>, cela s'expliquant par l'équilibre chimique existant entre les deux composés.

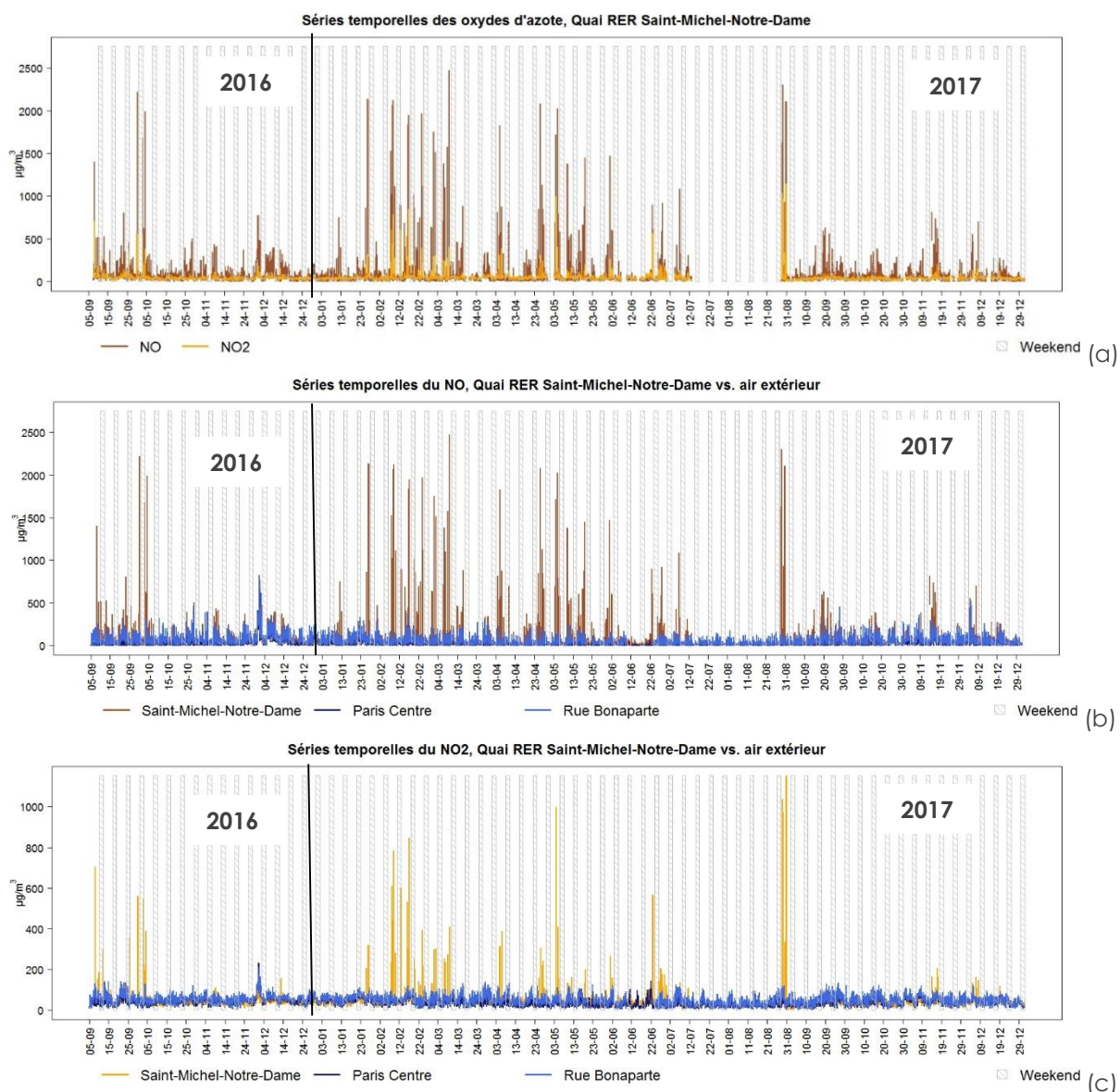


Figure 9 – Evolution des relevés horaires en NO<sub>x</sub>, en µg/m<sup>3</sup>, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (a), comparaison avec les teneurs observées en air extérieur en NO (b) et NO<sub>2</sub> (c), période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

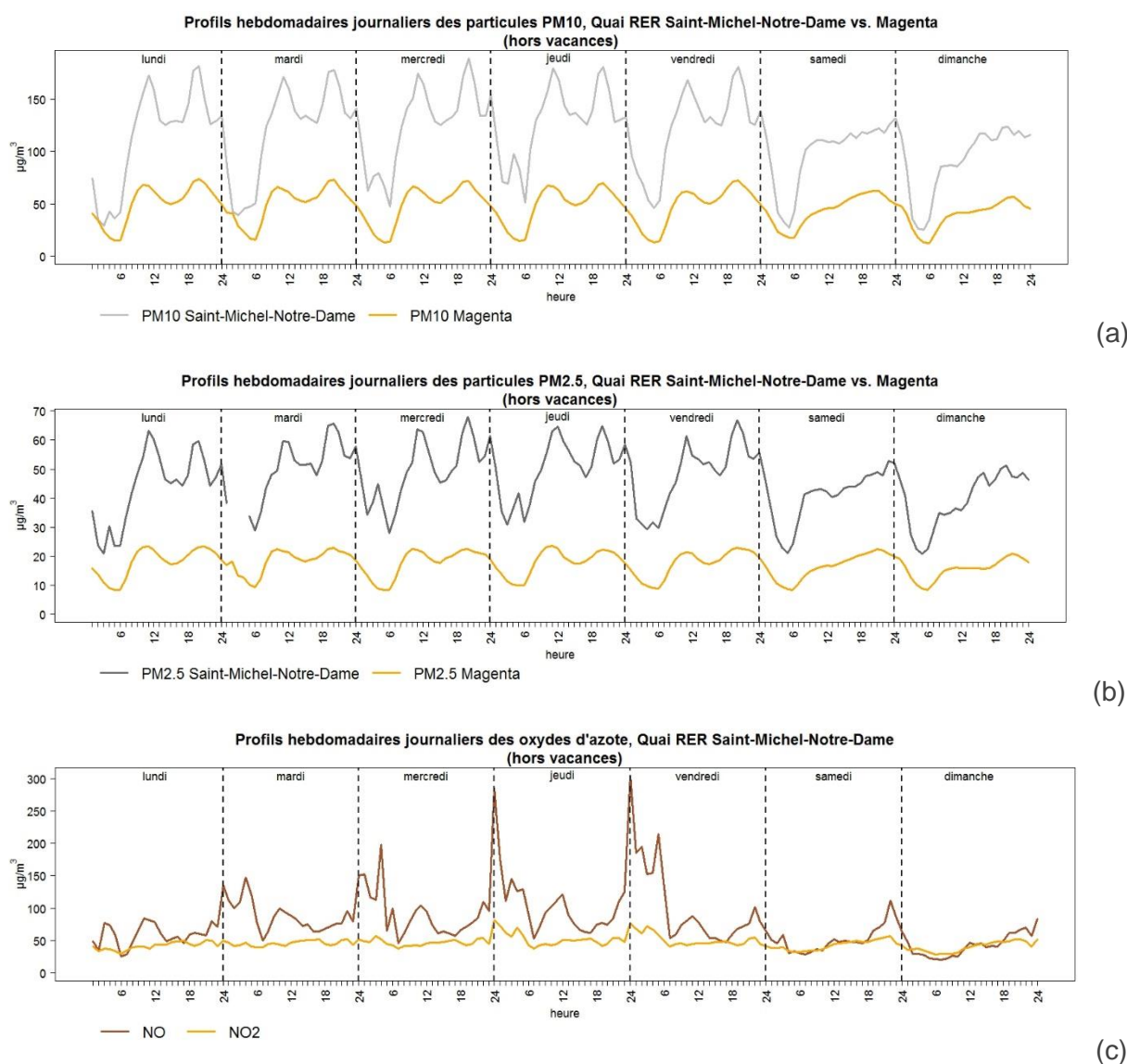
Les maxima sont plus élevés pour le NO (comparativement au NO<sub>2</sub>) car il s'agit d'un polluant primaire, émis directement par les sources de pollution (essentiellement le trafic routier sur l'agglomération parisienne). Les niveaux de NO sont ainsi systématiquement plus importants que ceux de NO<sub>2</sub>. 0.5% des relevés horaires de NO dépassent 1000 µg/m<sup>3</sup>, valeurs enregistrées entre 24h et 6h.

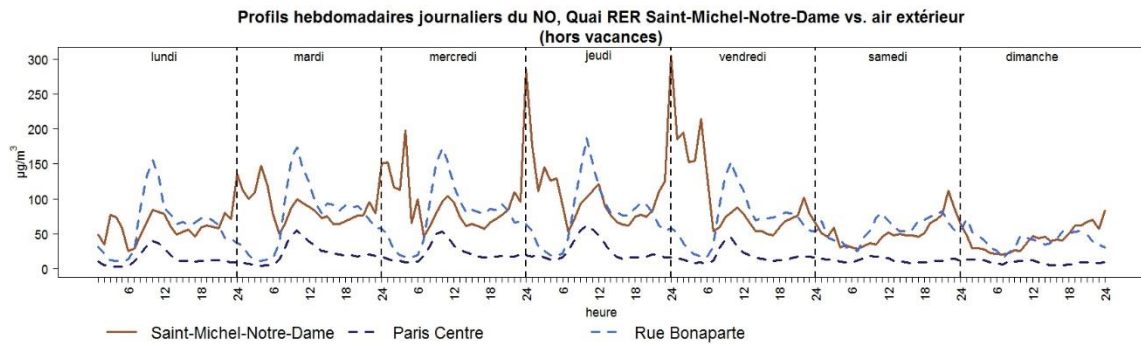
Les pics horaires sont liés à des passages de trains de travaux, ayant généralement lieu la nuit. Ainsi les périodes de forts niveaux sont en lien avec le planning des travaux sur la ligne du RER C : septembre et octobre 2016, et à partir de mars 2017 et à la fin des travaux Castor (fin août 2017). La comparaison avec les niveaux extérieurs (pas de comparaison possible avec d'autres gares faute de mesures disponibles) confirme l'impact des trains travaux la nuit.

## 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

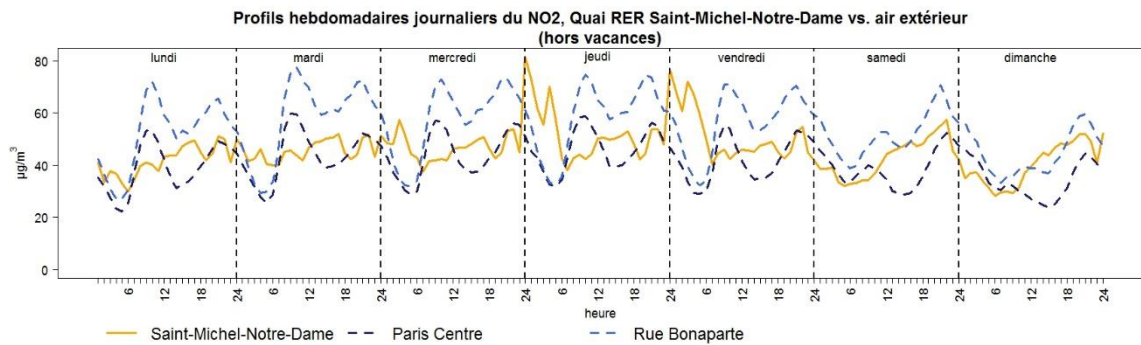
### 2.2.2.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne de l'ensemble des mesures, hors vacances scolaires de l'Île-de-France sur toute la période) est présenté en Figure 10.





(d)



(e)

Figure 10 – Évolution des profils horaires en  $PM_{2.5}$  et  $PM_{10}$  à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta, évolution des profils horaires en NO et  $NO_2$  à Saint-Michel-Notre-Dame et en air extérieur, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

Ces graphiques a et b traitent des résultats pour les  $PM_{10}$  et les  $PM_{2.5}$ , aussi en bien en gare de Saint-Michel-Notre-Dame que de Magenta. Les variations montrent d'une part les fluctuations les jours ouvrés (niveaux plus faibles la nuit, puis hausse des teneurs en journée avec les maxima aux heures de pointe), et d'autre part les niveaux plus faibles les samedis et dimanches, avec notamment la disparition des heures de pointe observées les jours ouvrés. De plus, du lundi au jeudi, une remontée nocturne des concentrations horaires est observée, avec un pic (sans commune mesure avec ceux des heures de pointe) avant 6h, en lien avec des travaux nocturnes.

Les jours ouvrés comme les weekends, la nuit comme le jour, les niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame sont systématiquement plus élevés qu'à Magenta.

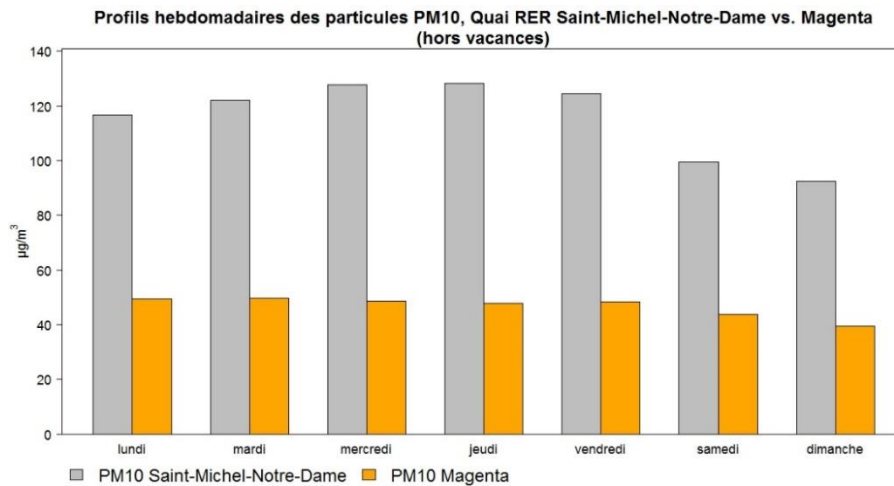
Le profil des  $NO_x$  (c) est complètement différent de celui des particules : les niveaux les plus faibles sont enregistrés en journée, ainsi que les weekends. Les maxima sont observés la nuit, entre minuit et 6h, plus particulièrement les nuits entre mardi/mercredi, mercredi/jeudi et jeudi/vendredi. Encore une fois, ceci est en lien avec le planning des travaux nocturnes, travaux n'ayant pas lieu les vendredis soir, samedis et dimanches.

La comparaison avec les teneurs en extérieur confirme le profil différent atypique pour les  $NO_x$  en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, mais cela est en lien avec les sources d'émissions, à savoir la circulation des trains de travaux (qui sont des engins diesel), notamment nocturnes. Cette comparaison met toutefois en avant un impact de l'air extérieur, le matin en heure de pointe, sur les concentrations en NO. En effet, les hausses de NO observables les jours ouvrés en matinée dans l'air ambiant extérieur (principalement à proximité du trafic routier, et de façon plus atténuée en situation de fond) se retrouvent également sur les teneurs en NO sur le quai de la gare Saint-Michel-Notre-Dame. Cela n'est par contre pas observable sur les teneurs en  $NO_2$ .

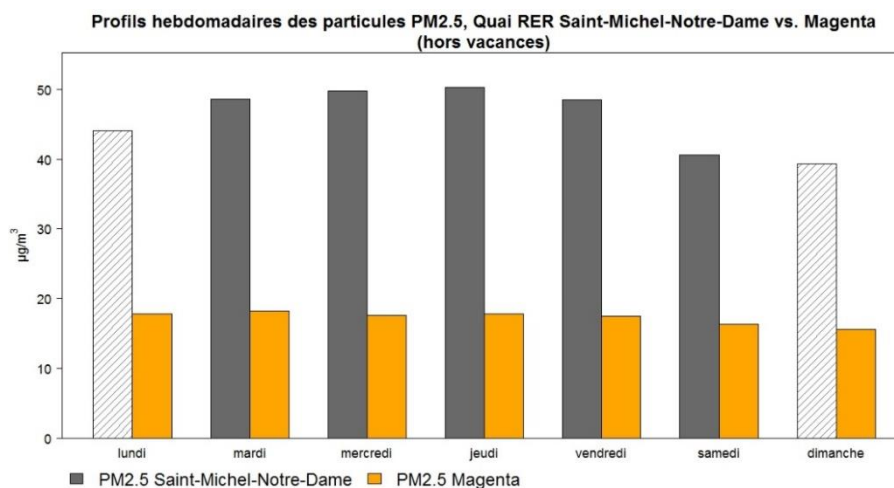
## 2.2.2.2. ZOOM SUR LES VARIATIONS JOURNALIÈRES SUR UNE SEMAINE

Les profils hebdomadaires à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont présentés à la Figure 11 pour les PM<sub>10</sub> (a), les PM<sub>2.5</sub> (b) et les NO<sub>x</sub> (c). Pour les particules, les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à ceux de la gare de Magenta.

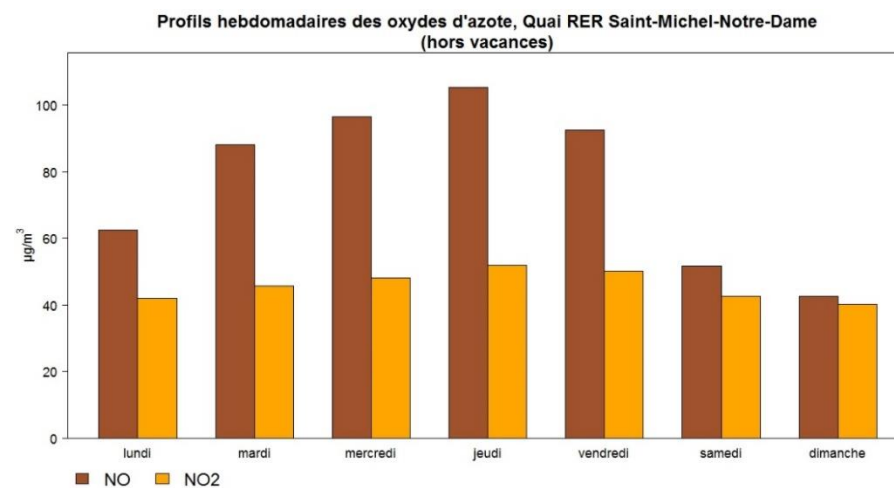
Une comparaison entre les résultats en période commerciale et en période nocturne est présentée au paragraphe 2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL.



(a)



(b)



(c)

Figure 11 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) et à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et de Magenta, évolution des profils hebdomadaires en NO et NO<sub>2</sub> (c) à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

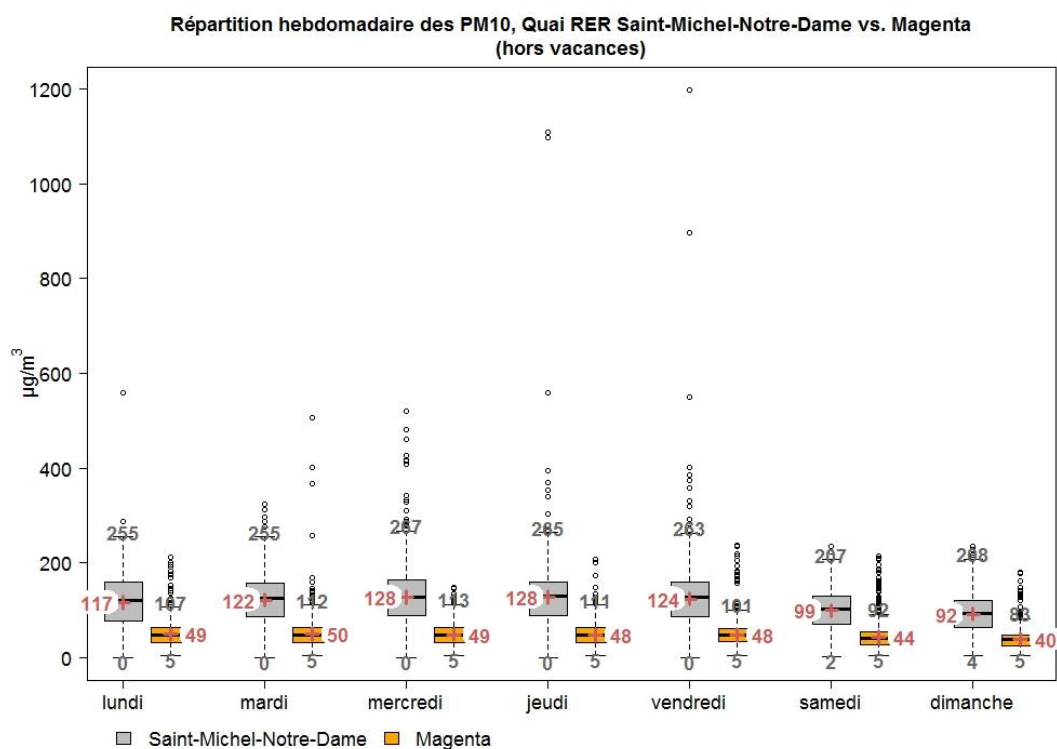


**Les niveaux moyens en particules** sont relativement stables les jours ouvrés : autour de 125  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une journée pour les  $\text{PM}_{10}$  et 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne pour les  $\text{PM}_{2,5}$ .

Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés, de l'ordre de 23 % pour les  $\text{PM}_{10}$  et de 17 % pour les  $\text{PM}_{2,5}$ . Cette différence s'explique par la diminution du trafic de trains le week-end par rapport à la semaine, facteur d'influence sur les  $\text{PM}_{10}$  comme, dans une moindre mesure, sur les  $\text{PM}_{2,5}$  (cf. 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

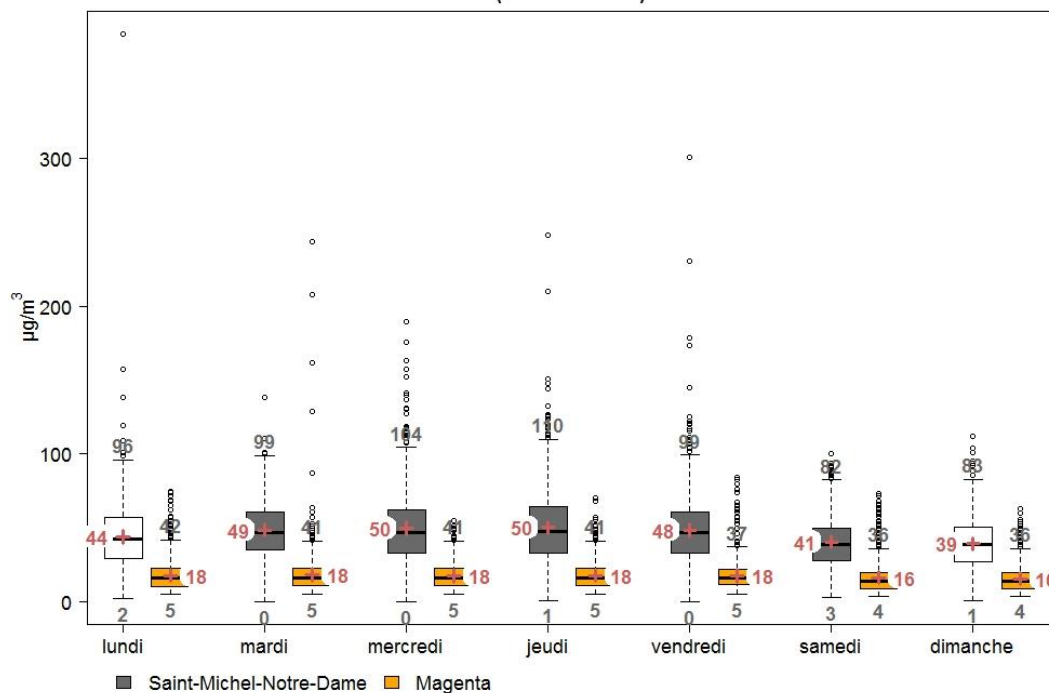
Des résultats similaires sont observés en gare de Magenta, mais dans des proportions moindres : la diminution des teneurs en  $\text{PM}_{10}$  le week-end par rapport à la semaine est de l'ordre de 14 % et d'environ 10 % pour les  $\text{PM}_{2,5}$ .

La Figure 12 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en particules fines  $\text{PM}_{10}$  et très fines  $\text{PM}_{2,5}$ , aussi bien en gare de Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Magenta. Pour chacun des polluants et chacune des gares, les dispersions des niveaux horaires pour les jours ouvrés sont relativement stables. L'impact des travaux nocturnes en semaine se retrouve sur les teneurs maximales (maximum horaire, mais également valeur de la moustache haute), en augmentation entre le lundi et le jeudi.



(a)

Répartition hebdomadaire des PM<sub>2.5</sub>, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame vs. Magenta  
(hors vacances)

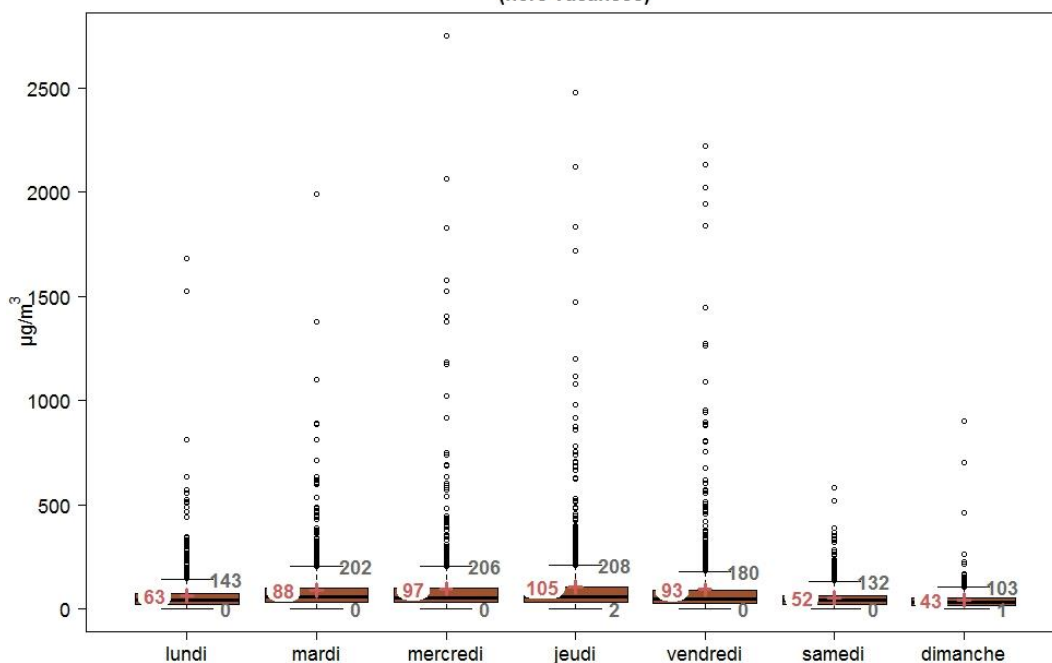


(b)

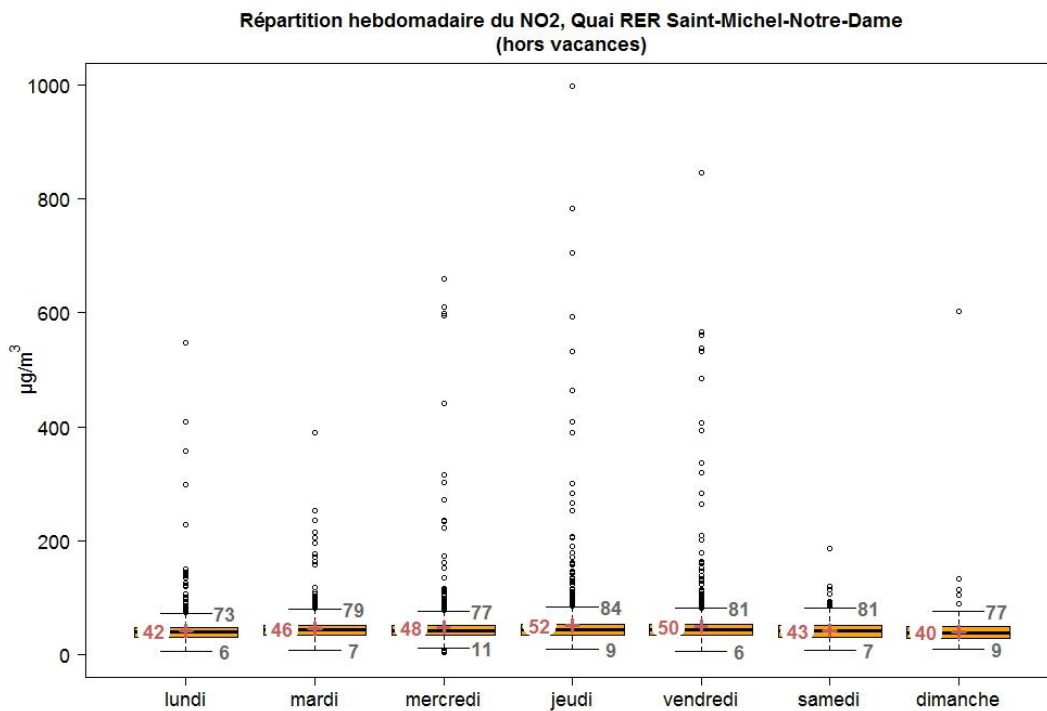
Figure 12 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et de Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 (hors vacances scolaires).

**Concernant les NO<sub>x</sub>**, la Figure 13 présente les boîtes à moustaches des niveaux horaires de chaque jour, en NO et en NO<sub>2</sub>, en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Répartition hebdomadaire du NO, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame  
(hors vacances)



(a)



(b)

Figure 13 – Boîtes à moustaches des relevés horaires selon les jours en NO (a) et NO<sub>2</sub> (b) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 (hors vacances scolaires).

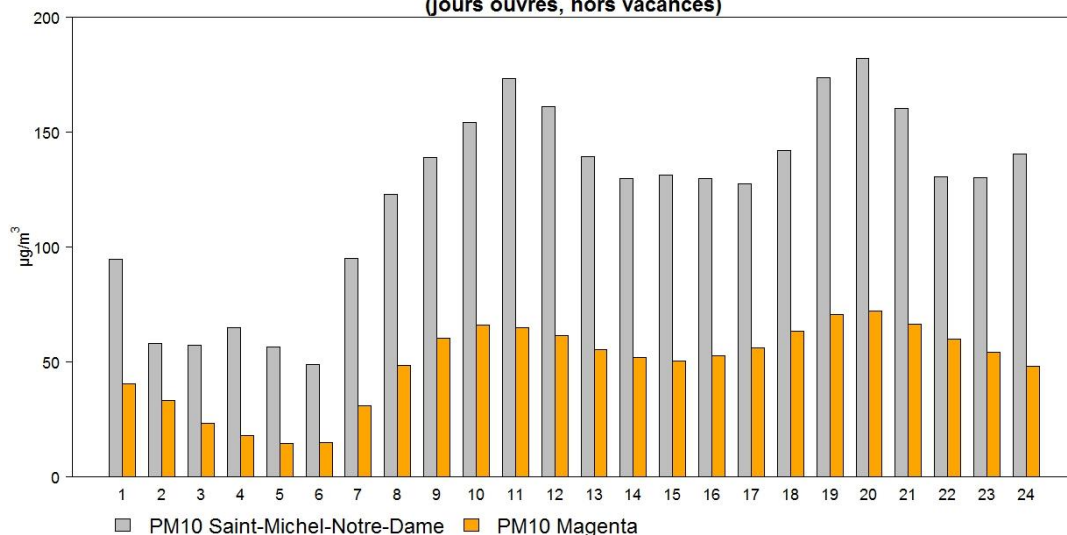
Les teneurs moyennes en semaine sont également supérieures aux concentrations relevées les weekends, les travaux nocturnes ayant lieu en semaine. Ainsi les niveaux moyens en NO baissent de moitié les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés. Pour le NO<sub>2</sub>, polluant secondaire et par conséquent moins impacté par la pollution directe émise par les trains de travaux, la baisse des teneurs les week-ends par rapport à la semaine est moins importante : de l'ordre de 13 %.

Pour chacun des polluants et chacune des gares, les dispersions des niveaux horaires pour les jours ouvrés sont relativement stables. L'impact des travaux nocturnes en semaine se retrouve sur les teneurs maximales (maximum horaire, mais également valeur de la moustache haute), en augmentation entre le lundi et le jeudi.

### 2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

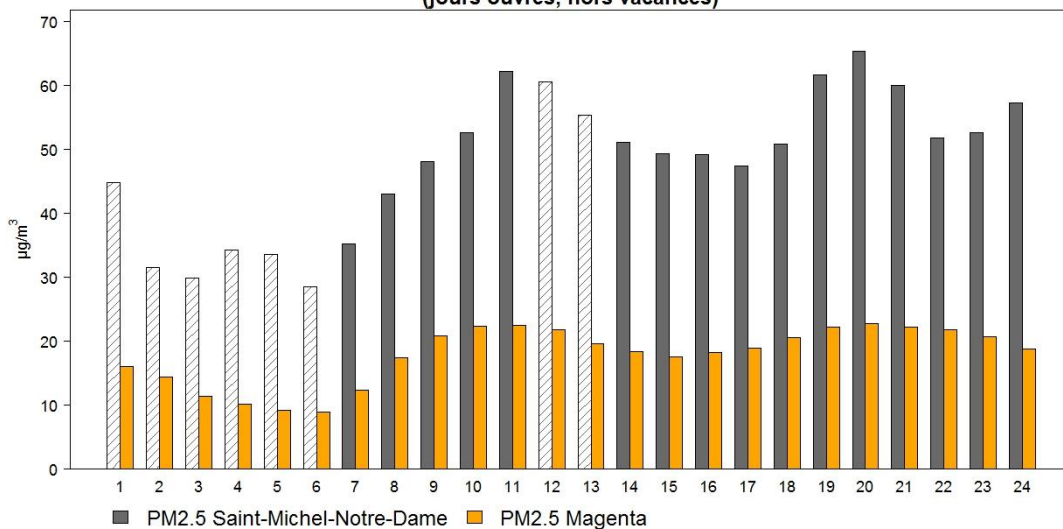
Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 14, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés** (hors vacances scolaires).

**Profils journaliers des particules PM10, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame vs. Magenta  
(jours ouvrés, hors vacances)**



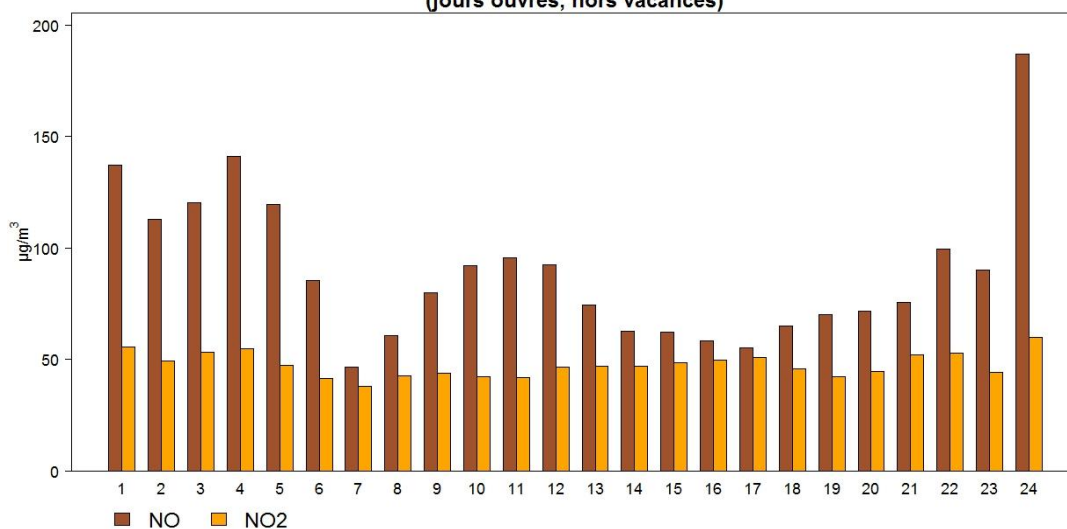
(a)

**Profils journaliers des particules PM2.5, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame vs. Magenta  
(jours ouvrés, hors vacances)**

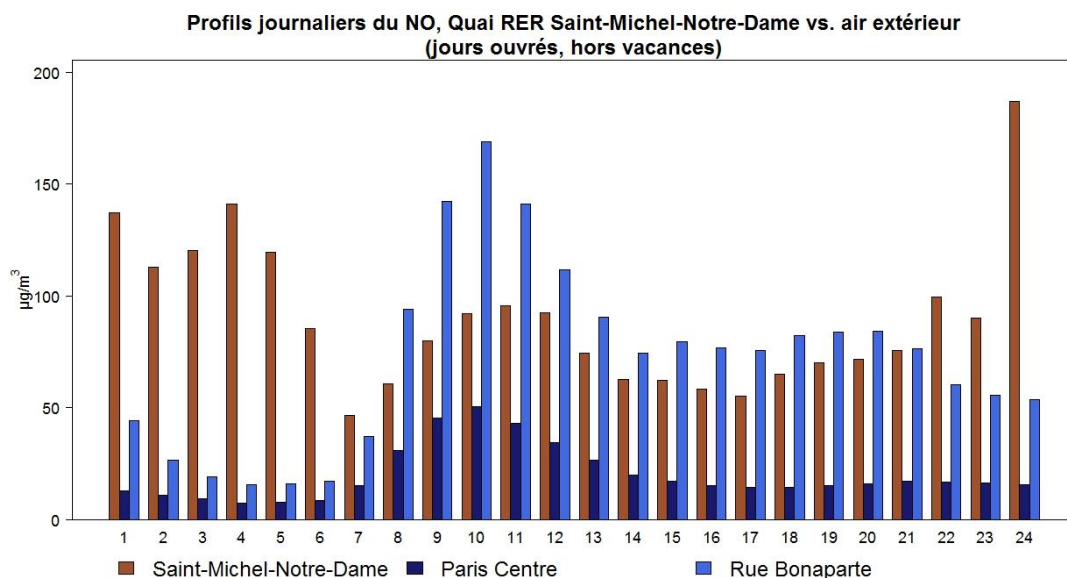


(b)

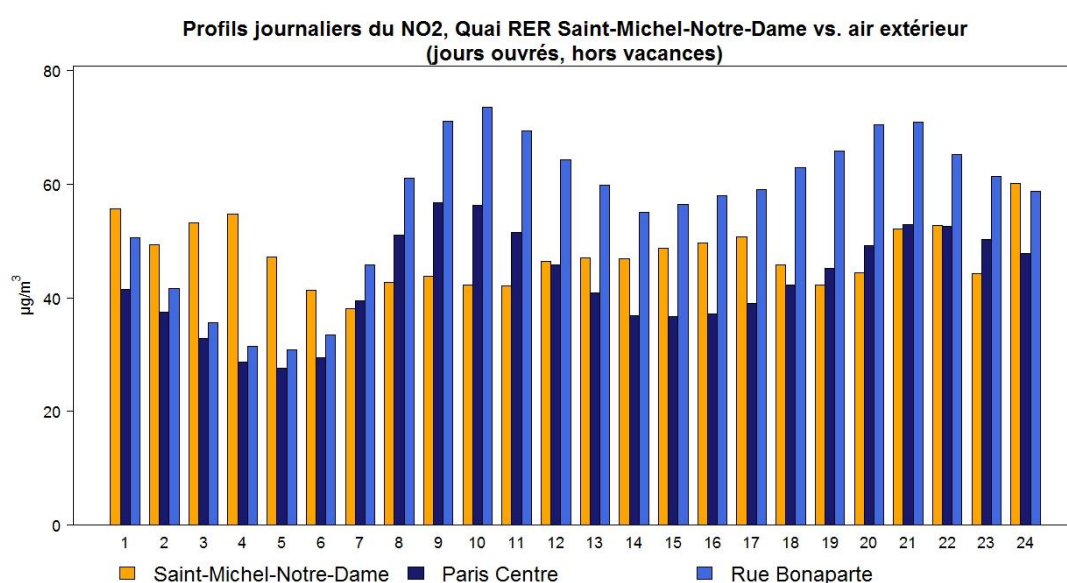
**Profils journaliers des oxydes d'azote, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame  
(jours ouvrés, hors vacances)**



(c)



(d)



(e)

Figure 14 – Évolution des profils journaliers en  $PM_{10}$  (a) et  $PM_{2,5}$  (b) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta, évolution des profils en  $NO_x$  (c) à Saint-Michel-Notre-Dame et comparaison avec l'air extérieur, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

**Les particules**  $PM_{10}$  et les particules  $PM_{2,5}$  ont des profils journaliers proches. Les maxima horaires sont enregistrés lors des heures de pointe pour les deux types de particules : le matin (10-12h) et le soir (18h-21h). Les niveaux sont en moyenne sur ces périodes de  $167 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{10}$  et  $61 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{2,5}$  en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les heures de pointe sont observées à la même période en gare de Magenta, les niveaux y étant 2.5 fois moins élevés :  $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne pour les  $PM_{10}$  et  $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour 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 :  $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne pour les  $PM_{10}$ , et  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{2,5}$ . Les minima sont enregistrés à 6h, au début de la reprise du trafic après l'arrêt nocturne, qui a permis un dépôt des particules au sol :  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne pour les  $PM_{10}$ , et  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{2,5}$ .

Ces profils journaliers en particules ( $PM_{10}$  et  $PM_{2,5}$ ) fluctuent en partie en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est également maximale (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ce

constat est observable aussi bien en gare de Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Magenta, mais si dans cette dernière, les teneurs nocturnes sont plus faibles<sup>6</sup>.

Le profil journalier en PM<sub>2,5</sub> présente des variations horaires moindres (écart type de 9 µg/m<sup>3</sup> sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM<sub>10</sub> (écart type de 31 µg/m<sup>3</sup>), différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent 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).

Etant donné les plus faibles valeurs enregistrées en gare de Magenta, l'écart type y est plus faible qu'à Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM<sub>10</sub> (14 µg/m<sup>3</sup>) comme pour les PM<sub>2,5</sub> (4 µg/m<sup>3</sup>).

**Les oxydes d'azote** (NO<sub>x</sub>) ont des profils journaliers différents entre eux et également différents de ceux des particules.

Pour le NO, les maxima horaires sont enregistrés la nuit entre 23h et 5h, en lien avec la source que représentent les trains travaux. Sur cette période, les niveaux sont en moyenne de 136 µg/m<sup>3</sup> en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Des niveaux intermédiaires sont observés en matinée (8-13h) lors de laquelle l'influence de l'air extérieur est clairement observable (cf. Figure 14 (d)), et en fin de journée (à partir de 19h), certainement en lien avec le passage de trains travaux qui se rendent sur les chantiers mais également en lien avec une influence de l'air extérieur (pointe du soir due au trafic routier). Les niveaux les plus faibles sont observés en début de matinée (7h) et dans l'après-midi (16-17h).

Pour le NO<sub>2</sub>, les variations horaires sur un jour ouvré sont plus limitées. La variation entre les niveaux nocturnes (1-5h) et ceux en période d'ouverture de la gare au public (6-24h) n'est que de 8%. En lien avec des teneurs en NO plus élevés sur la période 23-5h, les concentrations en NO<sub>2</sub> sont maximales sur cette tranche horaire (51 µg/m<sup>3</sup> en moyenne). Le minimum horaire en NO<sub>2</sub> est simultané à celui du NO (38 µg/m<sup>3</sup> relevé entre 6 et 7h).

Les profils journaliers en NO<sub>x</sub> sont clairement indépendants de la circulation ferroviaire commerciale, les concentrations maximales étant enregistrées la nuit, en lien avec les travaux nocturnes (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Une influence de l'air extérieur est nettement observable lors de la période d'ouverture de la gare au public, essentiellement sur les teneurs en NO.

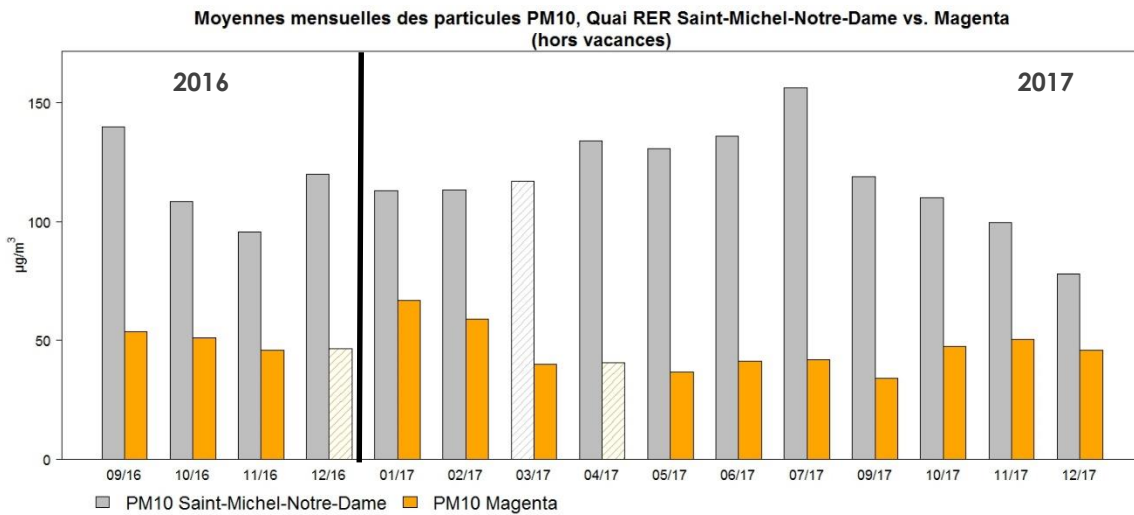
## 2.2.4. VARIABILITE MENSUELLE

Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 15, résume les niveaux moyens observés chaque mois entre septembre 2016 et décembre 2017 (hors mois d'août, fermeture de la gare suite aux travaux Castor).

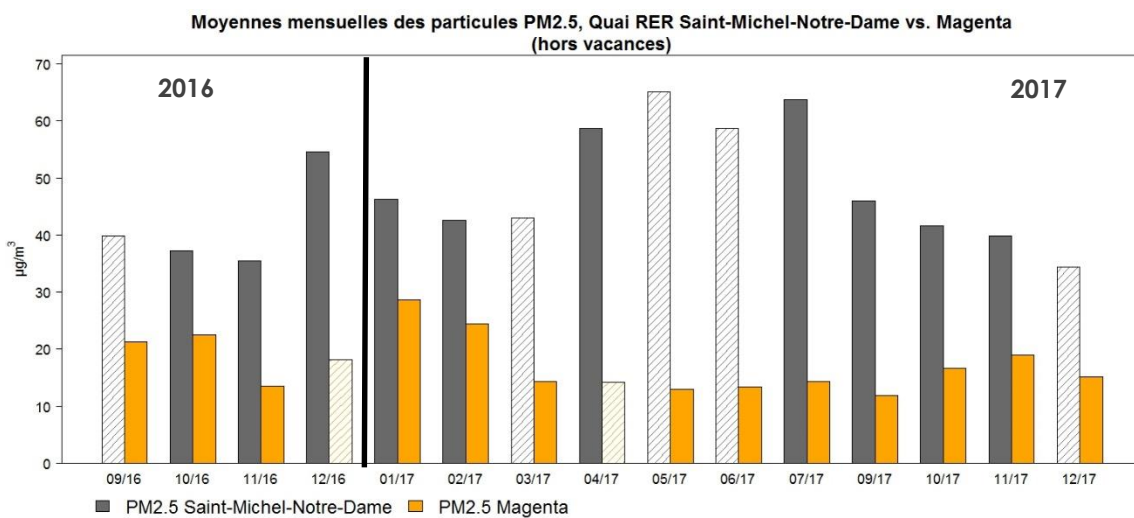
Les détails des statistiques mensuelles, pour les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>, sont disponibles à l'ANNEXE 4.

---

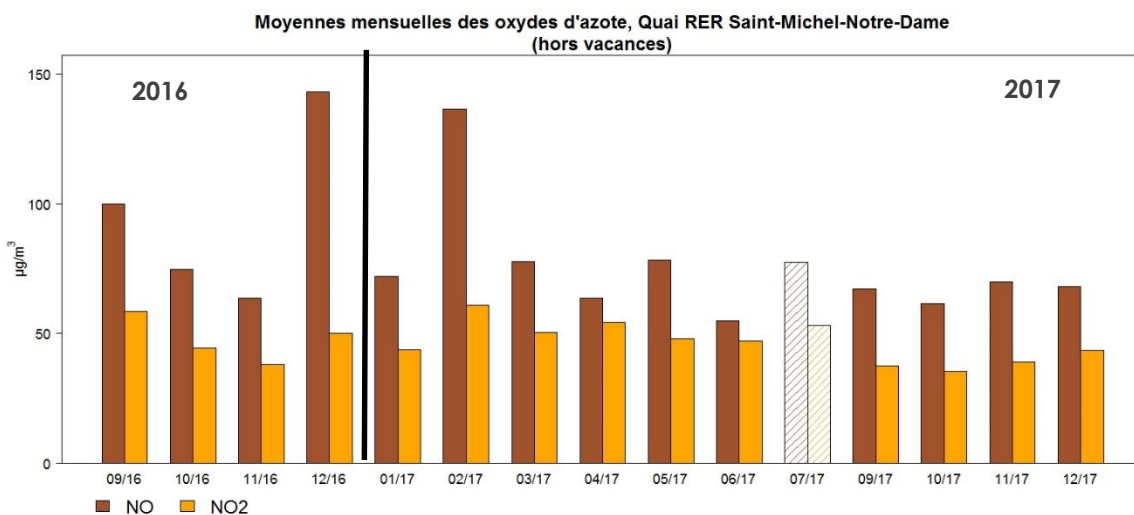
<sup>6</sup> Rapport : site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2016), accessible sous <http://www.iseo.fr/sncf/index.html>.



(a)



(b)



(c)

Figure 15 – Évolution des profils mensuels en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta, évolution des profils en NO<sub>x</sub> (c) à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 – [jours ouvrés hors vacances scolaires](#). En hachuré, données disponibles < 75%

**Les particules PM<sub>10</sub> et les particules PM<sub>2.5</sub>** présentent des variations mensuelles comparables (variations jusqu'à 50% entre les mois), à savoir une baisse des niveaux en automne (octobre et novembre) et une tendance à la hausse l'été. Le mois de décembre 2017 présente les moyennes mensuelles les plus faibles en PM<sub>10</sub> et en PM<sub>2.5</sub> (respectivement 78 µg/m<sup>3</sup> et 34 µg/m<sup>3</sup>). Les maxima

ont été enregistrés en juillet pour les PM<sub>10</sub> et entre avril et juillet pour les PM<sub>2,5</sub>, avec respectivement 156 µg/m<sup>3</sup> et 64 µg/m<sup>3</sup> (maxima mensuel). Cette tendance à la hausse en juillet pour les PM<sub>10</sub> est en lien avec les pics nocturnes plus nombreux à cette période, potentiellement en lien aux travaux Castor.

La variation des teneurs mensuelles en PM<sub>10</sub> au cours d'un mois est proche, avec des teneurs en PM<sub>10</sub> qui fluctuent d'une dizaine de µg/m<sup>3</sup> (valeurs des moustaches supérieures, excepté en juillet 2017) à des niveaux de l'ordre de 220-290 µg/m<sup>3</sup> (valeurs des moustaches supérieures, excepté les mois présentant des concentrations moins élevées, à savoir novembre 2016 et décembre 2017).

La variation des teneurs horaires en PM<sub>2,5</sub> sur un même mois varie plus que pour les PM<sub>10</sub>, la différence ayant essentiellement lieu sur les valeurs des moustaches supérieures (de l'ordre de 75 µg/m<sup>3</sup> entre septembre et novembre 2016 et en novembre / décembre 2017, contre pratiquement 120 µg/m<sup>3</sup> en mai, juin et juillet 2017).

Les variations mensuelles en NO et NO<sub>2</sub> sont liées, du fait de sources de pollution identiques. Par contre, la nature des deux composés (l'un est un polluant primaire, l'autre secondaire, cf. ANNEXE 0 fait que les variations sont plus importantes sur le NO que sur le NO<sub>2</sub>. Le mois présentant la plus faible valeur mensuelle en NO est le mois de juin 2017 (55 µg/m<sup>3</sup>) et le mois d'octobre 2017 pour le NO<sub>2</sub>. Le maximum mensuel en NO a été le mois de décembre 2016 (143 µg/m<sup>3</sup>) et celui de février pour le NO<sub>2</sub> (différent cette fois des particules).



## 2.2.5. NIVEAUX EN SERVICE COMMERCIAL

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

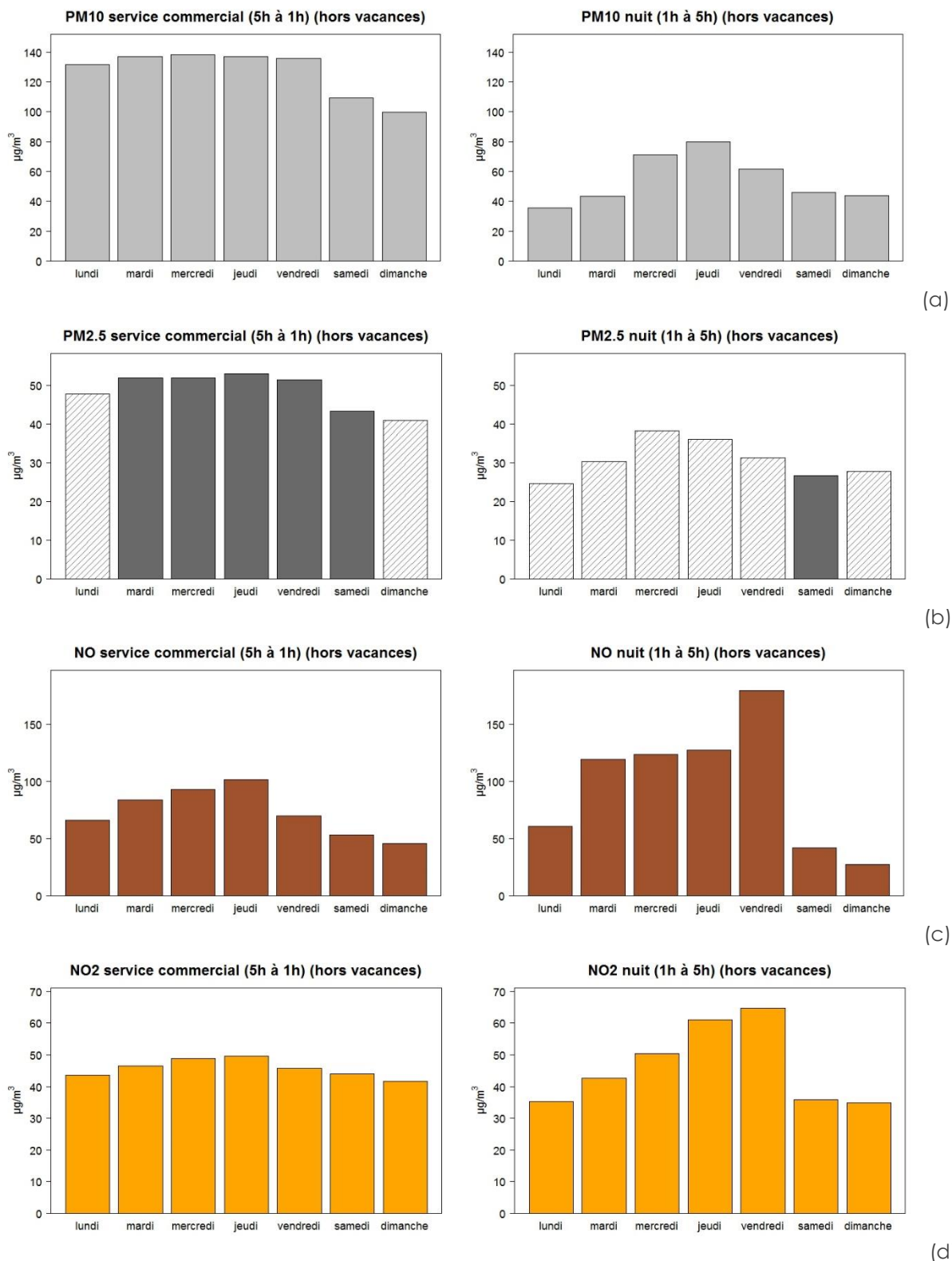


Figure 16 – Évolution des profils hebdomadaires en  $PM_{10}$  (a),  $PM_{2.5}$  (b), NO (c) et  $NO_2$  (b) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 – jours ouverts hors vacances scolaires. Service commercial à gauche, Nuit à droite. En hachuré, données disponibles < 75%

**Les niveaux en particules ( $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ )** sont très stables les jours ouvrés lors du **service commercial**. Ces teneurs sont supérieures aux moyennes journalières (24h) : pour les  $PM_{10}$ , la moyenne les jours

ouverts lors du service commercial est de 136  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , contre 124  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 24h, soit un écart de 9 %.

Concernant les  $\text{PM}_{2.5}$ , la moyenne les jours ouvrés lors du service commercial est de 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , contre 49  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur 24h, soit un écart de 4 %.

Ces écarts entre les moyennes en service commercial et les moyennes de toute la journée s'expliquent par des teneurs en particules plus faibles la nuit, de façon nettement plus marquée pour les  $\text{PM}_{10}$  que pour les  $\text{PM}_{2.5}$  (figures de droite (a) et (b)).

Les **teneurs nocturnes** sont plus faibles, la principale source de particules sur les quais étant la circulation des trains, limitée aux trains de travaux la nuit. Concernant les  $\text{PM}_{10}$ , les concentrations nocturnes augmentent progressivement du lundi (35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) au vendredi (62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), avec un maximum le jeudi (80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Pour les particules très fines  $\text{PM}_{2.5}$ , les concentrations minimales sont comprises entre 25 et 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  les lundi, samedi et dimanche et les maxima sont observables les mercredi (38  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) et jeudi (36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Lors du **service commercial**, la teneur moyenne en **NO** les jours ouvrés est de 83  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , contre 89  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sur 24h, ce qui s'explique cette fois par des teneurs plus élevées la nuit. Pour le **NO<sub>2</sub>**, les concentrations sont respectivement de 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (service commercial) et 48  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (24h), soit faiblement variables entre la journée (24h) et le service commercial.

En effet, les **teneurs nocturnes** en NO s'élèvent en moyenne à 97  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec une forte variabilité selon les jours. Les minima sont enregistrés le dimanche avec 27  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et les maxima le vendredi (avec 180  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Les niveaux moyens nocturnes en semaine (mardi à samedi) s'élèvent à 118  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci s'explique par les travaux nocturnes, principaux responsables de ces fortes teneurs, et qui ont lieu les nuits en semaine.

Les **teneurs nocturnes** en  $\text{NO}_2$  suivent la même variation hebdomadaire. En moyenne de 46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , les concentrations varient de 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (dimanche et lundi) à 65  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (vendredi). Les niveaux moyens nocturnes en semaine s'élèvent à 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

**Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) en gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare** en période d'ouverture de la gare au public (nombre de voyageurs, nombre de trains), mais également aux travaux ferroviaires qui ont lieu la nuit.

**Sur une journée ouvrée moyenne**, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec, sur cette tranche horaire, une moyenne de 59 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 32 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, à savoir lors des heures de pointe, entre 10 et 12h le matin et entre 19h et 21h le soir. Les concentrations sur le quai atteignent alors 167 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub> et 61 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>.

**A l'échelle hebdomadaire**, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, toujours en lien avec le nombre de trains en circulation plus élevé les jours ouvrés par rapport aux weekends. La baisse est de 23% pour les PM<sub>10</sub> et de 17 % pour les PM<sub>2.5</sub>.

Ces observations à l'échelle journalière et hebdomadaire sont également valables à Magenta, mais dans des proportions moindres et avec des niveaux de particules plus faibles également.

**A l'échelle mensuelle**, il existe également des fluctuations, dans des proportions similaires en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Les mois d'automne présentent les niveaux moyens les plus faibles. A l'inverse, les concentrations sont plus élevées en été.

Enfin, **les concentrations sont plus importantes en service commercial** que sur une journée de 24h, de l'ordre de 9% pour les PM<sub>10</sub> et 4% pour les PM<sub>2.5</sub>.

**Concernant les oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>) et contrairement aux particules, les variations temporelles observées en gare de Saint-Michel-Notre-Dame ne sont pas liées à la circulation des trains, en service commercial.**

**Sur une journée ouvrée moyenne**, les niveaux nocturnes sont les plus forts, avec en moyenne 136 µg/m<sup>3</sup> en NO et 51 µg/m<sup>3</sup> en NO<sub>2</sub> entre 23h et 5h. Cela correspond à la période des travaux de maintenance réalisés sur le réseau souterrain, voire uniquement à des passages de trains à locomotive diesel. Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée : en moyenne la teneur en NO entre 6 et 23h est de 83 µg/m<sup>3</sup> et celle de NO<sub>2</sub> avoisine 47 µg/m<sup>3</sup>. L'influence de l'air extérieur en journée sur les teneurs en NO<sub>2</sub> est observable sur le profil moyen journalier.

**A l'échelle hebdomadaire**, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, les travaux ayant lieu en semaine du lundi soir au jeudi matin. La baisse est de 50 % pour le NO et de 13 % pour le NO<sub>2</sub>.

**A l'échelle mensuelle**, il existe également des fluctuations, dans des proportions plus importantes pour le NO que pour le NO<sub>2</sub>. Le mois présentant les teneurs en NO<sub>2</sub> les plus faibles est le mois d'octobre 2017.

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

Pour rappel, les particules émises par le trafic ferroviaire sont de grosse taille, en lien avec des processus mécaniques de formation (passage des trains, freinage, remise en suspension).

A titre de comparaison, le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  en air extérieur est généralement de l'ordre de 0,7.

Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  peut ainsi servir à identifier des sources de particules différentes.

### 2.3.1. NIVEAUX MOYENS

Le ratio entre particules très fines ( $PM_{2.5}$ ) et particules fines ( $PM_{10}$ ) est présenté à la Figure 17.

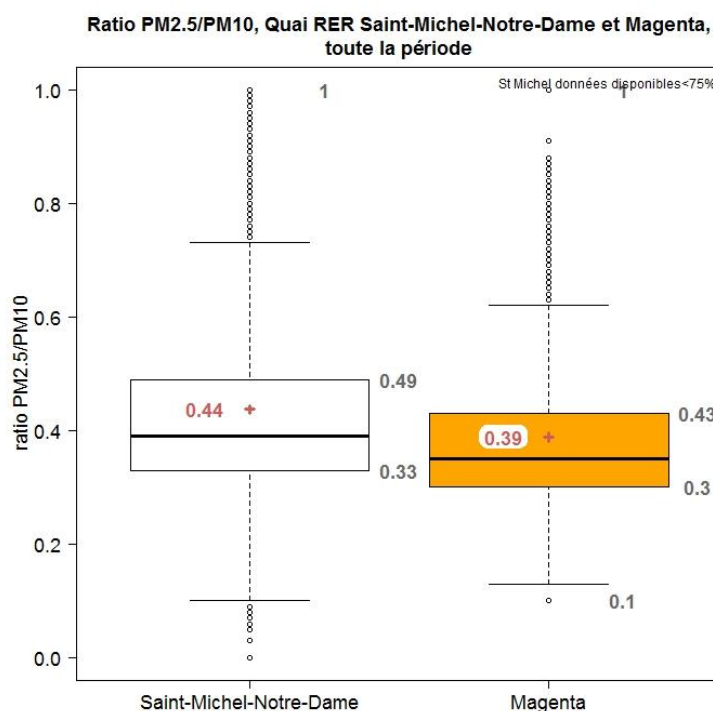


Figure 17 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à la station de Magenta, 05/09/2016 au 31/12/2017.

En moyenne, en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur toute la période de mesure, le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est de 0,44. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,39 à Magenta. Le ratio plus élevé à Saint-Michel-Notre-Dame peut s'expliquer par une influence plus importante de l'air extérieur, la gare étant moins profonde que celle de Magenta et la proximité de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame à d'importants axes routiers (quai Saint-Michel, boulevard Saint-Michel). La gare de Magenta bénéficie pourtant d'un système de ventilation, qui favorise l'import d'air extérieur dans la gare mais son volume plus important facilite la dilution de ces imports.

### 2.3.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

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

Les fluctuations horaires des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 18.

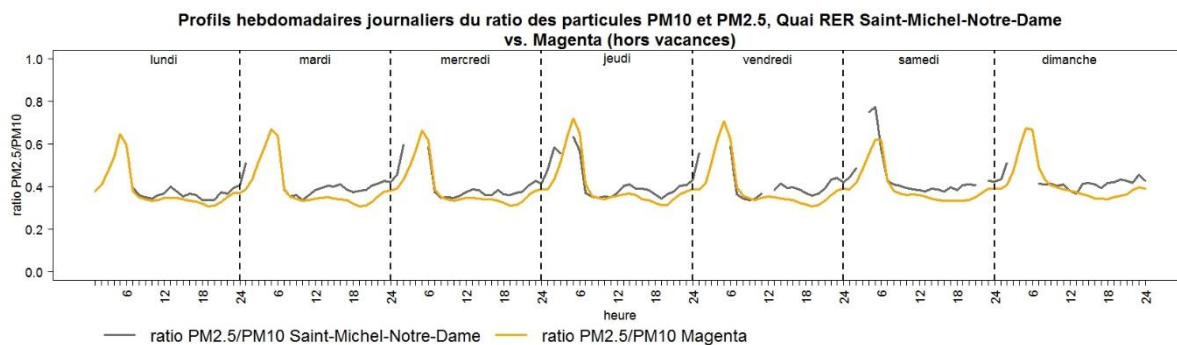
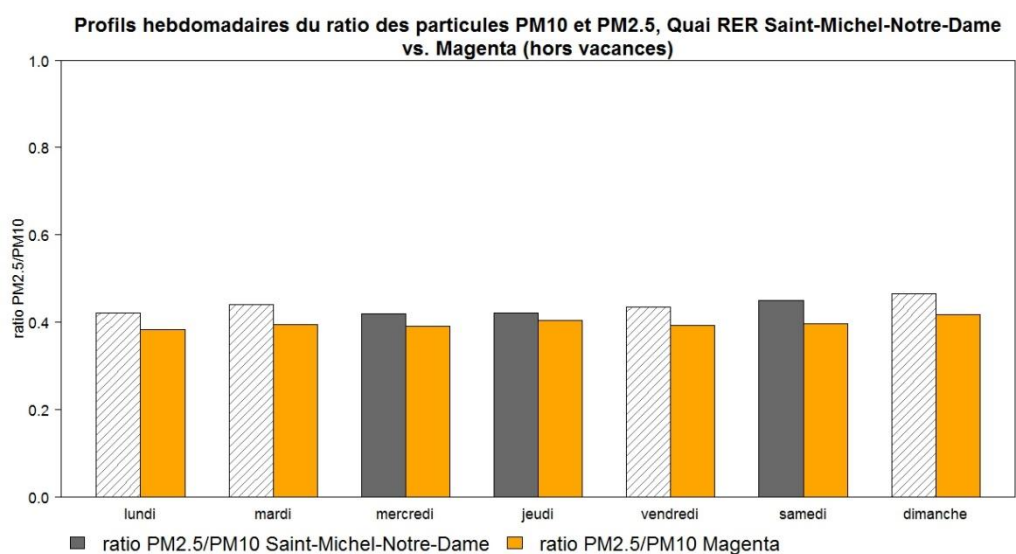


Figure 18 – Evolution des profils horaires des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à la station de référence Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

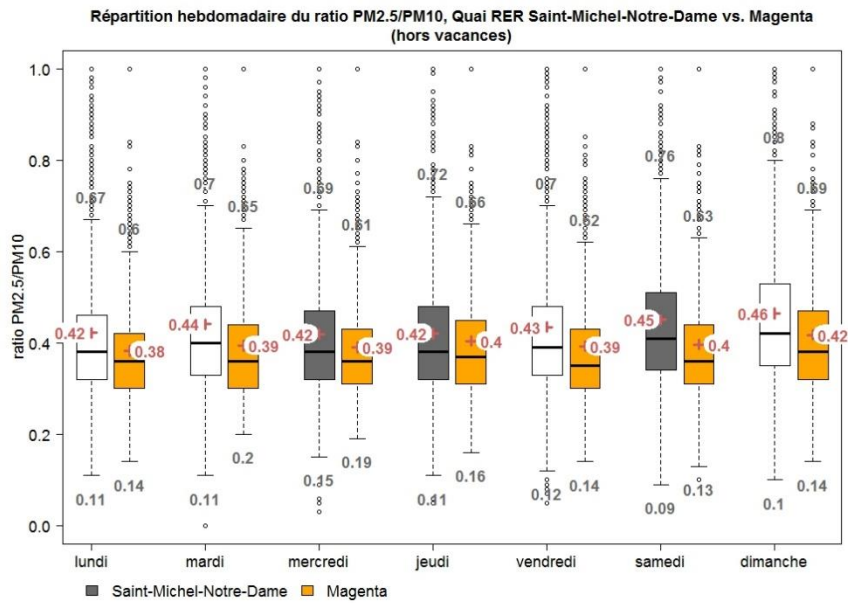
Les profils de Saint-Michel-Notre-Dame et de Magenta sont proches, avec des ratios plus élevés en fin de nuit, en lien avec la baisse des passages de trains donc une moindre formation de grosses particules liées au freinage ou à la remise en suspension. Le ratio nocturne tend vers le ratio habituellement observé en air extérieur. Les ratios dans les deux gares sont stables en journée. Une tendance à des ratios plus élevés en journée à Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Magenta est également visible, jours ouvrés comme week-end.

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

Les fluctuations journalières des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> sont présentées à la Figure 19.



(a)



(b)

Figure 19 – Évolution des profils journaliers des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à la station de référence Magenta (a), période du 05/09/2016 au 31/12/2017. Zoom sur les boîtes à moustaches (b). En hachuré, données disponibles < 75%

Les fluctuations des ratios sont faibles du lundi au vendredi, oscillant entre 0,42 et 0,44 à Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne à 0,42). Une très légère hausse est observée en fin de semaine (0,46 en moyenne). A Magenta, la tendance est la même, avec des ratios légèrement plus faibles qu'à Saint-Michel Notre Dame : 0,39 en semaine, 0,41 les samedis et dimanches.

### 2.3.3. VARIABILITE JOURNALIERE

L'étude des profils moyens journaliers (jours ouvrés) est présentée à la Figure 20.

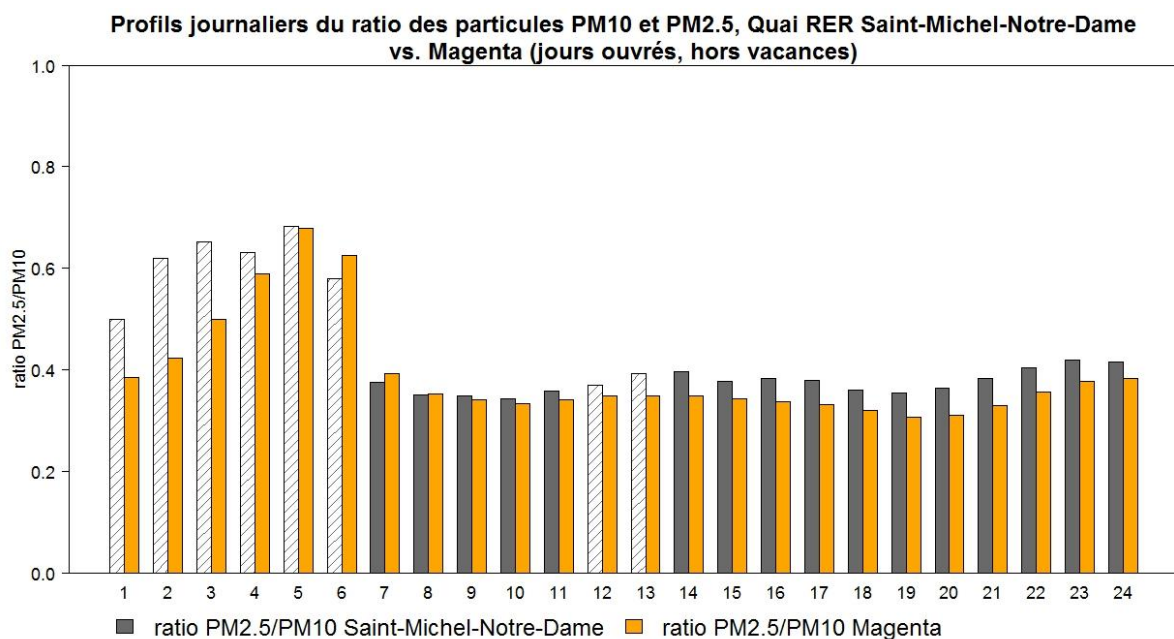


Figure 20 – Évolution des profils journaliers des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à la station de référence Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017– jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Une certaine stabilité des ratios en journée (de 7h à 24h) est observée, aussi bien en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne à 0,38, écart-type de 0,02) qu'à Magenta (moyenne à 0,34, écart-type 0,02). La nuit (entre 2h et 6h, lors de la fermeture de la gare au public), les ratios sont plus importants : ils avoisinent 0,61 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame et 0,53 à Magenta. Le ratio maximum est atteint à l'ouverture des deux gares au public (0,68 à 5h).

Cela s'explique par des concentrations en  $PM_{2.5}$  proportionnellement plus importantes la nuit par rapport à celles de  $PM_{10}$ , en lien d'une part avec de la fermeture de la gare (moins de trains, pas de fréquentation d'où l'absence de remise en suspension) et d'autre part par une influence de l'air extérieur potentiellement plus importante.

### 2.3.4. VARIABILITE MENSUELLE

Le profil mensuel moyen, présenté à la Figure 21, résume les ratios moyens observés chaque mois entre septembre 2016 et décembre 2017 (hors mois d'août, fermeture de la gare suite aux travaux Castor).

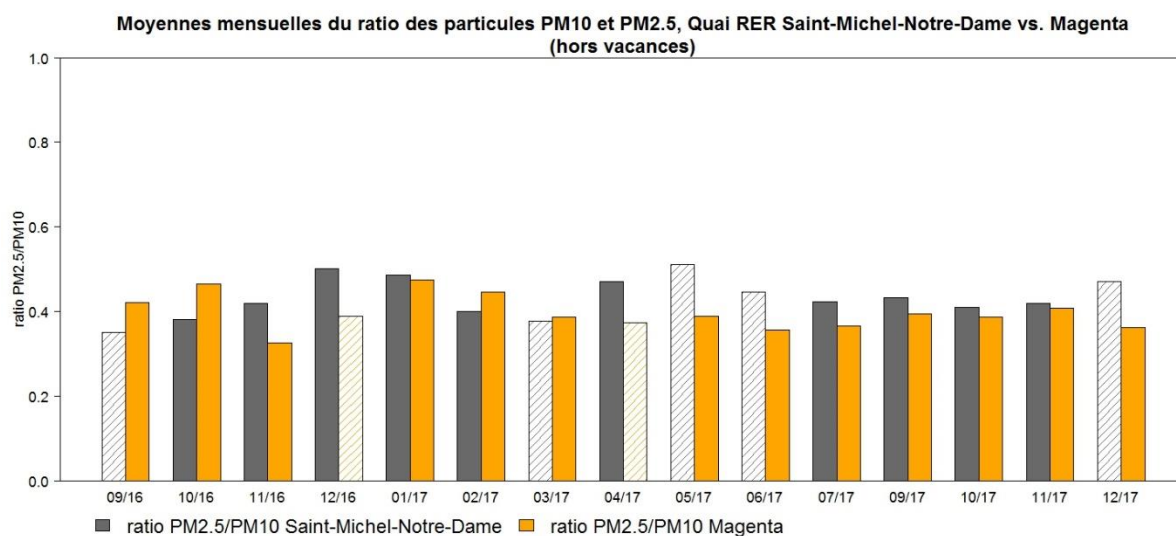


Figure 21 – Évolution des profils mensuels des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  (a) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 – jours ouvrés hors vacances scolaires. En hachuré, données disponibles < 75%

Les ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  en gare de Saint-Michel-Notre-Dame présentent des variations mensuelles. Le mois de septembre 2016 présente les ratios les plus faibles (0,35 en moyenne), le maximum (0,51 en moyenne) ayant été observé en mai 2017. A titre de comparaison, à Magenta, les ratios mensuels ont varié de 0,33 (novembre 2016) à 0,47 (janvier 2017).

La Figure 22 présente les moyennes hebdomadaires des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , lors du service commercial d'une part et pendant la nuit d'autre part (période de fermeture de la gare au public).

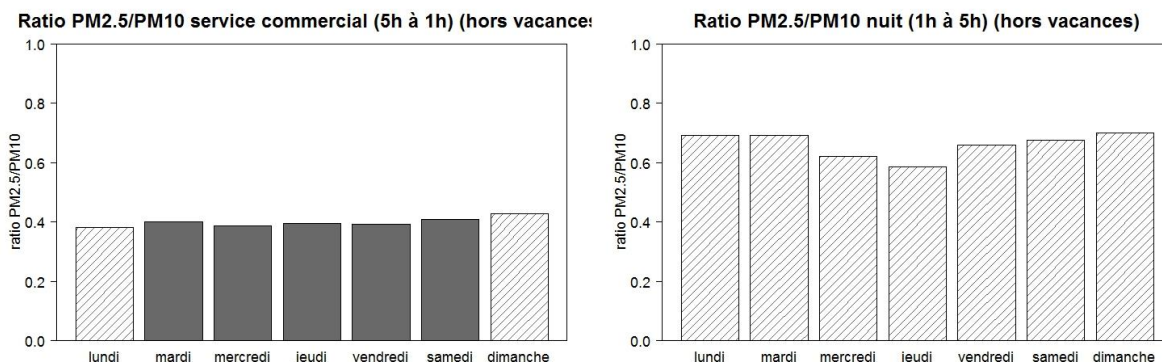


Figure 22 – Évolution des profils hebdomadaires du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017 – jours ouvrés hors vacances scolaires. Service commercial à gauche, Nuit à droite. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les niveaux du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  sont très stables les jours ouvrés lors du **service commercial**, proches de 0,4. Les **ratios nocturnes** sont plus élevés, entre 0,6 et 0,7. Cela s'explique par la baisse des particules, en particulier des  $PM_{10}$ , la nuit, lors de l'arrêt de circulation des trains, principale source de particules de grosse taille.

Ces écarts entre les moyennes en service commercial et les moyennes de toute la journée s'expliquent par des teneurs en particules plus faibles la nuit, de façon nettement plus marquée pour les  $PM_{10}$  que pour les  $PM_{2.5}$  (figures de droite (a) et (b)).

**Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est en moyenne de 0,44 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame**, un peu plus élevé que celui de Magenta (0,39).

**A l'échelle journalière**, les ratios sont stables en journée (0,38 entre 7h et 24h) et en hausse la nuit (autour de 0,6), en lien avec les sources de particules  $PM_{10}$  relativement moins importantes (pas de circulations commerciales) que celles des particules très fines  $PM_{2.5}$ .

**A l'échelle hebdomadaire**, peu de variations sont observées. **A l'échelle mensuelle**, le mois de septembre 2016 présente les ratios les plus faibles avec 0,35 en moyenne, le maximum ayant été observé en mai 2017 avec 0,51.



## 2.4 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les poussières minérales. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes ferroviaires souterraines, notamment des systèmes de freinage<sup>7</sup>, 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 PM<sub>10</sub> en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, en parallèle de chaque campagne de 3 semaines dans les autres gares instrumentées par Airparif, pendant une semaine à chaque fois, soit 11 semaines de mesure au total. En détail, voici les périodes de mesure :

- 12 au 16 septembre 2016, en parallèle des mesures en gare RER C d'Austerlitz (2 jours de mesure indisponibles – problème lors du prélèvement) ;
- 3 au 7 octobre 2016, en parallèle des mesures en gare RER E d'Hausmann-Saint-Lazare ;
- 21 au 25 novembre 2016, en parallèle des mesures en gare RER D de Bras-de-Fer (Evry Génomôle) (2 jours de mesure indisponibles - problème lors du prélèvement) ;
- 9 au 13 janvier 2017, en parallèle des mesures en gare RER A – Transilien L de Cergy-Préfecture ;
- 27 février au 3 mars 2017, en parallèle des mesures en gare RER C de Saint-Ouen ;
- 17 au 21 avril 2017, en parallèle des mesures en gare RER C de Neuilly Porte Maillot ;
- 5 au 9 juin 2017, en parallèle des mesures en gare RER B de l'Aéroport Charles de Gaulle 1 ;
- 19 au 23 juin 2017, en parallèle des mesures en gare RER D de Grigny Centre (2 jours de mesures en PM<sub>10</sub> indisponibles – problème sur l'appareil de mesure) ;
- 11 au 15 septembre 2017, en parallèle des mesures en gare RER C de Porte de Clichy ;
- 16 au 20 octobre 2017, en parallèle des mesures en gare RER C de l'Avenue du Président Kennedy ;
- 11 au 15 décembre 2017, en parallèle des mesures en gare RER D de Evry Courcouronnes.

Au total, des résultats de mesure des métaux sont donc disponibles pour 51 journées.

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

Dix métaux ont été étudiés : Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature<sup>7</sup>.

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

Le graphique suivant (Figure 23) montre les concentrations de la somme des métaux mesurés et leur part parmi les particules PM<sub>10</sub>, pour chaque journée de mesure en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

---

<sup>7</sup> Pollution chimique de l'air dans les enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective – Septembre 2015, Edition scientifique.

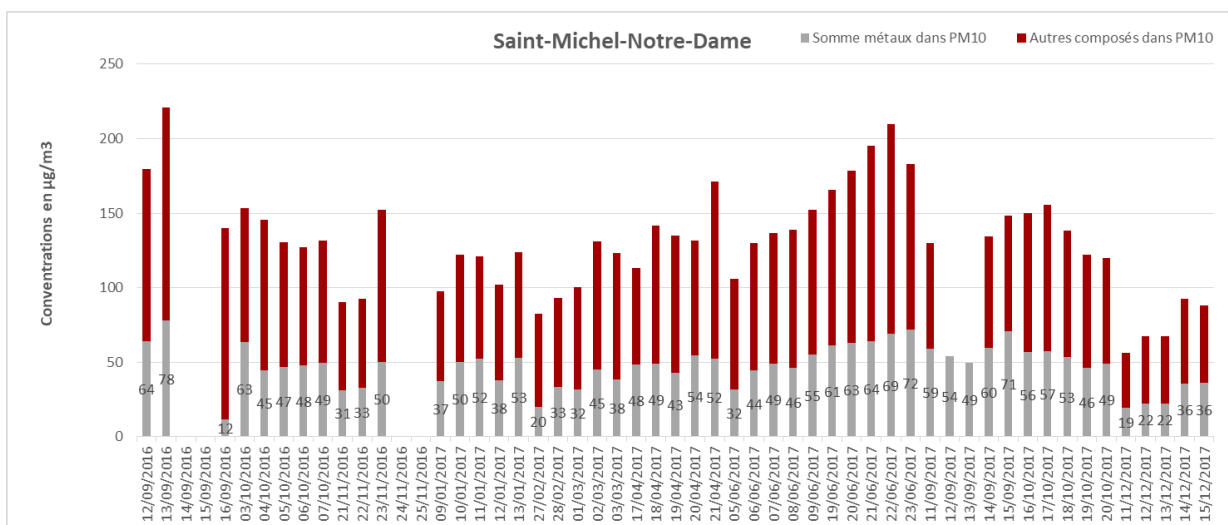
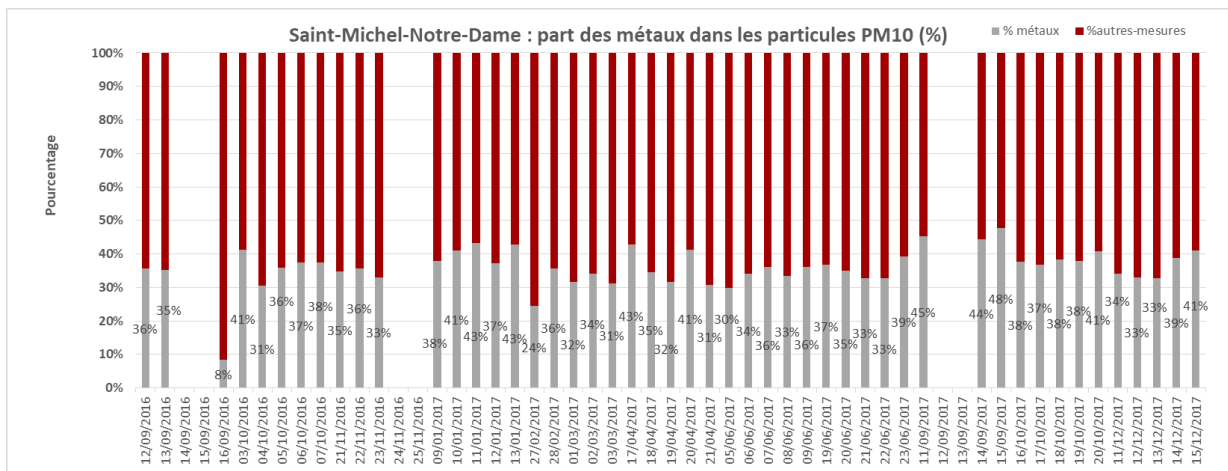


Figure 23 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> (en % de particules PM<sub>10</sub>) et évolution des relevés journaliers (concentrations en µg/m<sup>3</sup>) sur les périodes de prélèvement entre septembre 2016 et décembre 2017, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame.

Sur l'ensemble des données disponibles (49 journées de mesure, jours ouvrés non consécutifs), la concentration en métaux a varié de 12 µg/m<sup>3</sup> (le 16/09/16) à 78 µg/m<sup>3</sup> (le 13/09/16, journée présentant la teneur maximale en PM<sub>10</sub>). En comparaison avec la concentration en particules PM<sub>10</sub> enregistrée les mêmes journées lors des même tranches horaires, la **part des métaux** a varié de 8 % (le 16/09/2016) à 48 % (le 15/09/2017), elle est **en moyenne de 36 %**. La journée du 16/09/2016 pourrait sembler atypique, mais des concentrations similaires ont été observées en gare d'Austerlitz.

Les concentrations des composés métalliques observées sont cohérentes avec les sources identifiées et les résultats de la littérature. L'analyse bibliographique dans les réseaux ferroviaires français (hors réseau francilien) met en avant le fer comme élément dominant en termes de concentrations, suivi du cuivre, du zinc, de l'antimoine et du manganèse.

Les résultats à l'échelle des grandes villes mondiales mettent également en avant le baryum, le nickel et le chrome. Ainsi les premières observations sur le réseau francilien sont cohérentes avec les résultats dans des environnements similaires.

## 2.4.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 24) représente la répartition moyenne des composés mesurés entre septembre 2016 et décembre 2017 (49 journées disponibles).

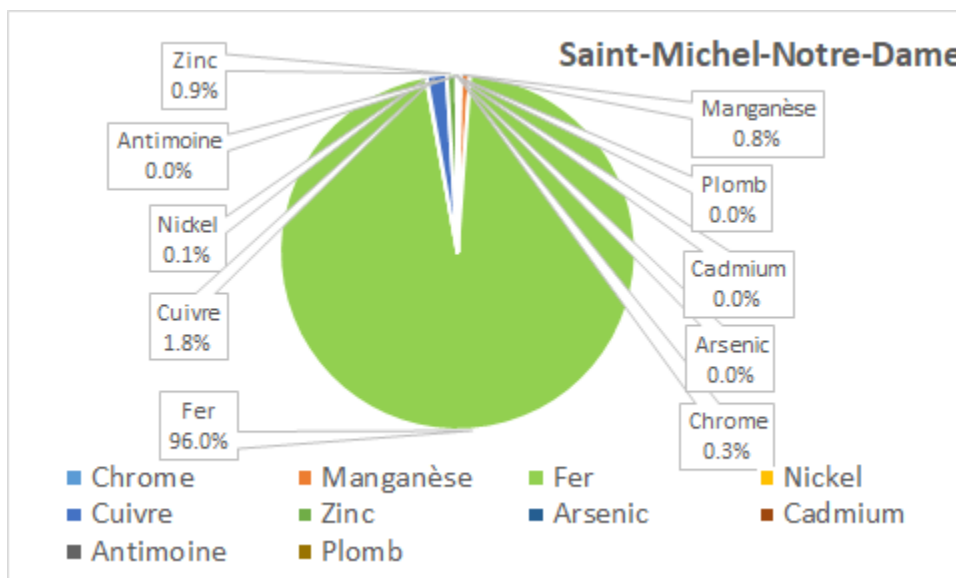


Figure 24 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne des mesures entre septembre 2016 et décembre 2017, en gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame. Ce résultat est stable sur toutes les journées de mesure, le pourcentage variant de 94 à 97 %.

Le métal le plus abondant ensuite est le **Cuivre**, mais dans des proportions bien plus faibles que le fer : 1.8 % en moyenne. Il varie de 1.1 % à 3.7 %. Seules 3 journées présentent une part du Cuivre supérieure à 3 % (le 09/01/2017 et les 11 et 13/12/2017).

Vient ensuite le **Zinc**, moitié moins abondant que le Cuivre : la part du Zinc dans les particules PM<sub>10</sub> est en moyenne de 0.9 %, variant de 0.6 % à 1.1 %. Onze journées présentent une part de Zinc supérieure à 1 %.

Le **Manganèse** est présent dans les mêmes proportions que le zinc : 0.8 % en moyenne, variant de 0.6 % à 1 %.

Suivent ensuite le **Chrome** (0.3 % en moyenne) et le **Nickel** (0.1%).

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

Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure.

Les sources connues dans les enceintes souterraines ferroviaires sont :

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (manganèse, fer, aluminium, chrome, plomb, cuivre, nickel, antimoine) peuvent être présents dans les semelles de frein.
- Les émissions lors du roulage. Les principaux composés des rails ou encore des roues sont le fer, le chrome, le nickel ou encore le manganèse.

La principale source de fer dans les enceintes 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 est présent dans les câbles d'alimentation dans les enceintes souterraines ferroviaires, il est émis lors du contact entre le matériel roulant et les caténaires (système d'alimentation). Il est également présent dans les semelles de frein et par conséquent il peut être émis lors du freinage.

### 2.4.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 25) présente les concentrations journalières observées pour le Fer (51 journées de mesure, jours ouvrés non consécutifs). Les relevés journaliers pour chacun des autres métaux sont présentés en ANNEXE 5.

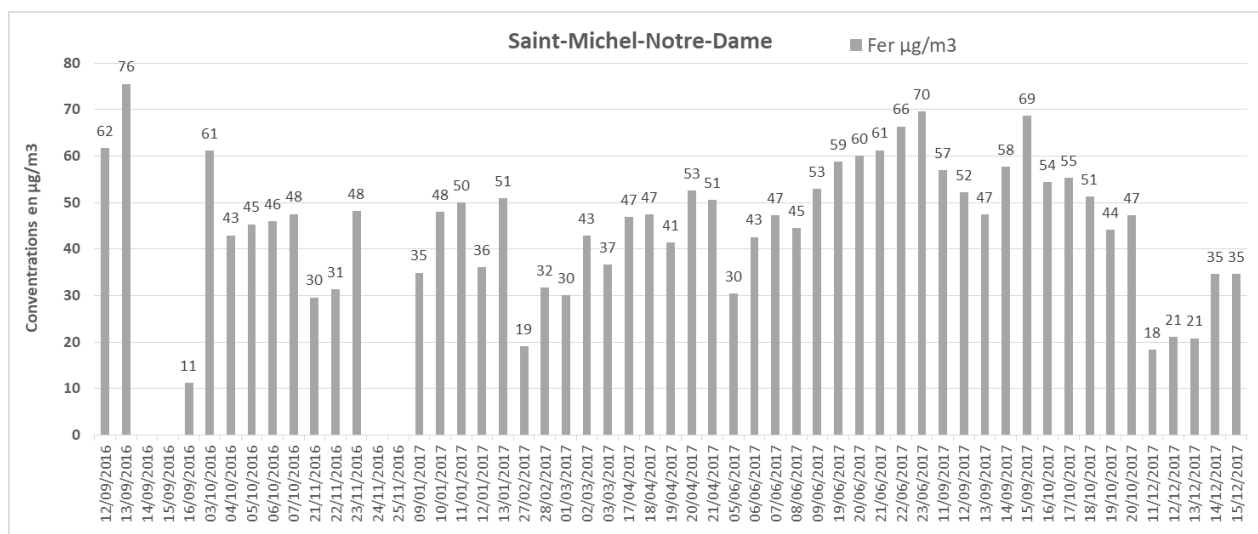


Figure 25 – Relevés journaliers en fer à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période de mesure entre septembre 2016 et décembre 2017.

Les teneurs en **Fer** ont beaucoup varié à Saint-Michel-Notre-Dame) de 12 µg/m³ le vendredi 16/09/2016 à 76 µg/m³ le lundi 13/09/2016 (soit la même semaine de mesure). Les teneurs les plus élevées ont été enregistrées en début de campagne (septembre et octobre 2016), en juin et septembre 2017 (périodes avant et après les travaux Castor, de mi-juillet à fin août 2017). A l'inverse, les concentrations les moins élevées ont été enregistrées en période hivernale. Ces niveaux sont en lien direct avec les concentrations en particules PM<sub>10</sub> observées sur ces mêmes journées, comme évoqué au paragraphe précédent.

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

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 228 à 1222 ng/m³, les résultats sont en moyenne de 800 ng/m³.

Les teneurs journalières en **Zinc** sont moitié moins importantes, variant de 127 à 700 ng/m³, pour une moyenne de 414 ng/m³. Les teneurs journalières en **Manganèse** sont du même ordre de grandeur, en moyenne de 384 ng/m³, variant entre 115 et 610 ng/m³.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** sont plus faibles, entre 38 à 247 ng/m³, pour une moyenne de 154 ng/m³.

Les teneurs de ces métaux ont des variations temporelles proches (le Cuivre présente des coefficients de corrélation avec le Fer moins bons que les autres principaux métaux), Les maxima ne sont pas enregistrés précisément les mêmes jours, mais au cours de périodes communes : entre le 20 et le 23/06/2017 et le 13/09/2017.

Pour les cinq autres métaux, des variations temporelles existent, les maxima sont généralement observés aux mêmes périodes pour ces 5 métaux. Les niveaux journaliers varient :

- Entre 8 et 43 ng/m<sup>3</sup> pour le Nickel<sup>8</sup>, pour une moyenne de 26 ng/m<sup>3</sup>.
- Entre 5 et 39 ng/m<sup>3</sup> pour le Plomb<sup>8</sup>, pour une moyenne de 18 ng/m<sup>3</sup>,
- Entre 1 et 45 ng/m<sup>3</sup> pour l'Antimoine<sup>8</sup>, pour une moyenne de 12 ng/m<sup>3</sup>. A noter que les teneurs plus importantes ont été observées du 19 au 23/06/2017 (39 ng/m<sup>3</sup> en moyenne, pendant les mesures en gare de Grigny).
- Entre 1 et 6 ng/m<sup>3</sup> pour l'Arsenic<sup>8</sup>, pour une moyenne de 4 ng/m<sup>3</sup>.
  
- Pour le Cadmium<sup>8</sup>, les relevés journaliers sont tous inférieurs au seuil de détection (0.27 ng/m<sup>3</sup>), sauf deux journées (0.6 ng/m<sup>3</sup> le 13/09/2016 et 0.9 ng/m<sup>3</sup> le 10/01/2017).

---

<sup>8</sup> Limite de détection pour le Nickel, Antimoine : 38 ng/filtre ; Pour le Plomb, Cadmium, Arsenic : 8 ng/filtre.  
Limite de quantification pour le Nickel, Antimoine : 125 ng/filtre ; Pour le Plomb, Cadmium, Arsenic, Antimoine : 25 ng/filtre ;

## 2.5 TENEURS EN SILICE CRISTALLINE DANS LES PARTICULES

Pendant une année, des relevés ponctuels en silice cristalline ont été réalisés lors de la première année de la campagne, en lien avec les recommandations de l'ANSES<sup>7</sup>.

La silice existe à l'état libre sous différentes formes cristallines ou amorphes. La **silice cristalline** est composée de trois variétés principales : le quartz, la tridymite et la cristobalite. Le quartz est le composant majeur de nombreuses roches (notamment les roches sédimentaires comme le sable). La tridymite et la cristobalite ne se rencontrent que très rarement à l'état naturel (roches volcaniques).

Dans les enceintes ferroviaires souterraines, la silice provient essentiellement du sable utilisé pour augmenter la friction et l'adhérence en freinage d'urgence. Elle peut également être émise lors de frottements roues/voies (si en béton) ou en présence de ballast.

Les concentrations de **quartz, cristobalite et tridymite** ont été étudiées dans les particules PM<sub>10</sub> en gare de Saint-Michel-Notre-Dame à 7 reprises pendant une semaine. En détail, voici les périodes de mesure :

- 19 au 23 septembre 2016, en parallèle des mesures en gare RER C d'Austerlitz ;
- 10 au 14 octobre 2016, en parallèle des mesures en gare RER E d'Hausmann-Saint-Lazare ;
- 28 novembre au 2 décembre 2016, en parallèle des mesures en gare RER D de Bras-de-Fer (Evry Génopôle) ;
- 5 au 9 mars 2017, en parallèle des mesures en gare RER C de Saint-Ouen ;
- 24 au 28 avril 2017, en parallèle des mesures en gare RER C de Neuilly Porte Maillot ;
- 29 mai au 2 juin 2017, en parallèle des mesures en gare RER B de l'Aéroport Charles de Gaulle1 ;
- 26 au 30 juin 2017, en parallèle des mesures en gare RER D de Grigny Centre.

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

**La tridymite n'a jamais été détectée**, aussi bien en gare de Saint-Michel-Notre-Dame que dans les gares précitées. Les paragraphes suivants ne traitent par conséquent que les résultats en quartz et en cristobalite.

Le graphique suivant (Figure 26) montre les teneurs et la part de la silice (quartz et cristobalite) enregistrée parmi les particules PM<sub>10</sub>, pour chaque journée de mesure en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

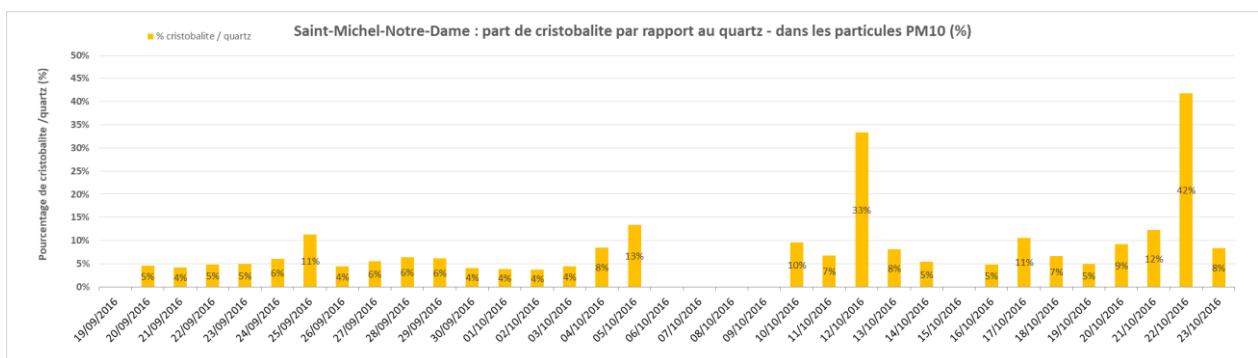
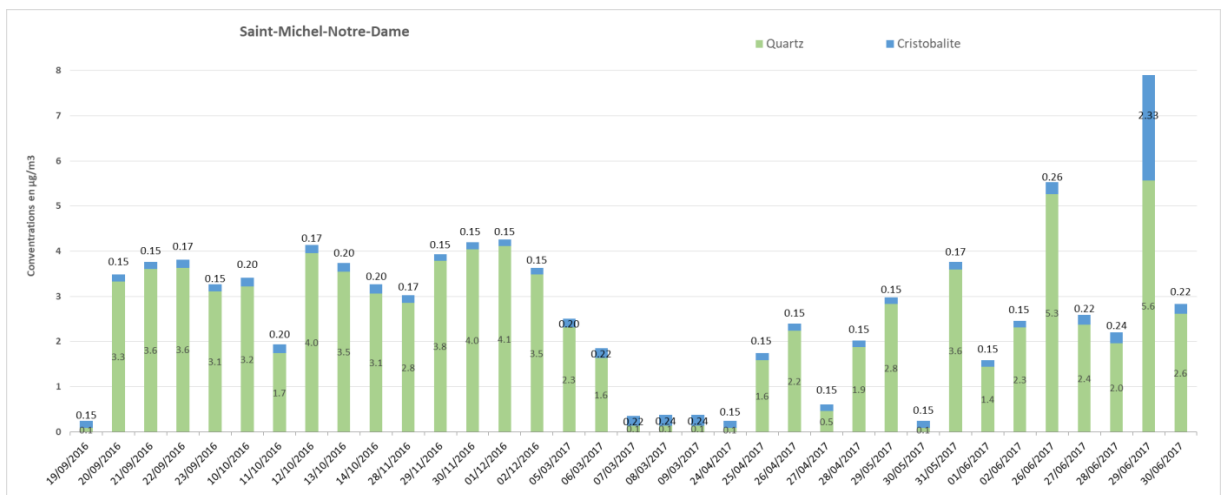
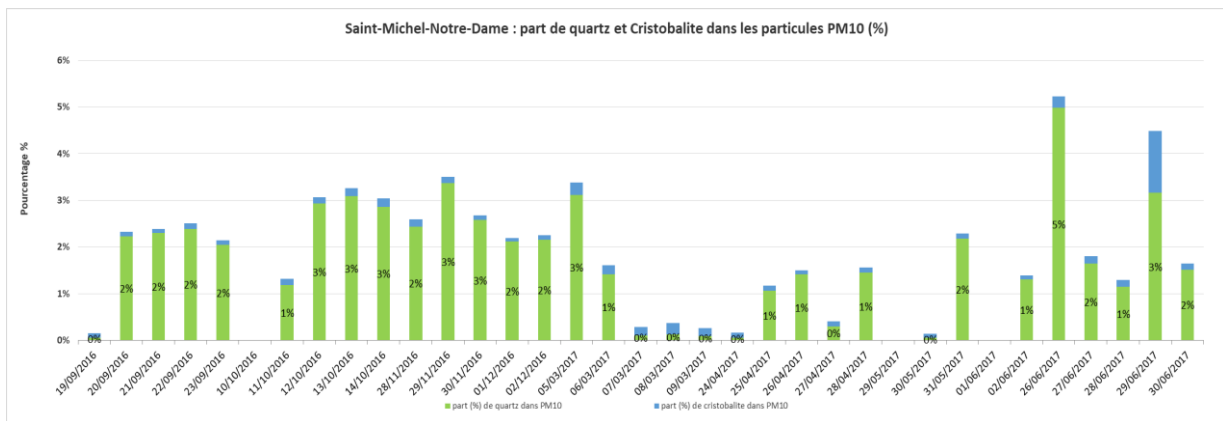


Figure 26 – Part de la silice (quartz, cristobalite) dans les particules PM<sub>10</sub> (en % de particules PM<sub>10</sub>), part de la cristobalite par rapport au quartz et évolution des relevés journaliers (concentrations en µg/m<sup>3</sup>) sur les périodes de prélèvement entre septembre 2016 et juin 2017, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame.

Sur l'ensemble des données disponibles (35 journées de mesure, jours ouvrés non consécutifs), la concentration en quartz a varié de 0.1 µg/m<sup>3</sup> (observés à 6 reprises) à 5.6 µg/m<sup>3</sup> (le 29/06/17). Ces résultats sont cohérents avec les mesures réalisées en parallèle dans les autres gares, le maximum ayant été relevé à Saint-Michel-Notre-Dame.

En comparaison avec la concentration en particules PM<sub>10</sub> enregistrée les mêmes journées, la **part du quartz** varie de 0 (le 16/09/2016) à 5 % (le 26/06/2017), elle est **en moyenne de 1.8 %**. Ces valeurs sont cohérentes avec les résultats dans les autres gares, qui sont toutes plus faibles.

Concernant la **cristobalite**, les teneurs ont varié de 0.15 µg/m<sup>3</sup> à 2.3 µg/m<sup>3</sup> (maximum le 29/06/2017, largement supérieur aux valeurs généralement enregistrées lors de cette campagne – 0.25 µg/m<sup>3</sup>), le niveau moyen étant de 0.24 µg/m<sup>3</sup>. Cela se traduit par une **part de la cristobalite** dans les particules PM<sub>10</sub> comprise entre 0.1 et 1.3% (**0.17 % en moyenne**), ce qui est très faible. Comme pour

le quart, les résultats observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont comparables à ceux enregistrés dans les autres gares ferroviaires souterraines instrumentées en Ile-de-France, le maximum ayant été relevé en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations de silice cristalline observées sur les quais de Saint-Michel-Notre-Dame sont cohérentes avec les résultats de la littérature<sup>7</sup>, qui font état de concentrations de quartz variant de 0,2 à 3 µg/m<sup>3</sup>.

La figure précédente ne met pas en lumière de lien entre les teneurs en quartz et en cristobalite avec celles de particules PM<sub>10</sub>.

Parmi les composants de la **silice cristalline** suivis, seuls le **quartz** et la **cristobalite** ont été trouvés, **la tridymite n'a jamais été détectée**.

Sur l'ensemble des relevés journaliers (35 jours), le **quartz** est majoritaire, avec une **part dans les particules PM<sub>10</sub>** qui varie de 0 à 5 %, elle est **en moyenne de 1.8 % en gare de Saint-Michel-Notre-Dame**.

La **part de la cristobalite** est comprise entre 0.1 et 1.3% (**0.17 % en moyenne**), ce qui est très faible.

Toutes les valeurs observées en gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont cohérentes avec les résultats de la littérature.



## 2.6 TENEURS EN BENZENE

Des relevés en **benzène** ont été effectués pendant toute la période de mesure étudiée (septembre 2016 à décembre 2017) car la présence de ce composé est possible dans les enceintes ferroviaires souterraines, au même titre que le dioxyde d'azote : la principale source du benzène est l'air extérieur, où il provient des vapeurs d'essence, des peintures mais également des gaz d'échappement lors de combustion incomplète. La littérature<sup>7</sup> montre que les teneurs sur les quais peuvent parfois dépasser celles mesurées en extérieur.

Le benzène a été suivi à l'échelle hebdomadaire via des tubes passifs (cf. ANNEXE 2) du 12/09/2016 au 02/01/2018 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Les prélèvements ont été interrompus pendant 9 semaines lors de la fermeture de la gare en juillet/aout 2017, lors des travaux Castor, au même titre que les autres mesures. Sur les 59 semaines de mesure, 4 ne présentent pas de résultats (problème d'analyse ou de vandalisme).

Le graphique suivant (Figure 27) montre les concentrations en benzène enregistrées pour chaque semaine de mesure en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

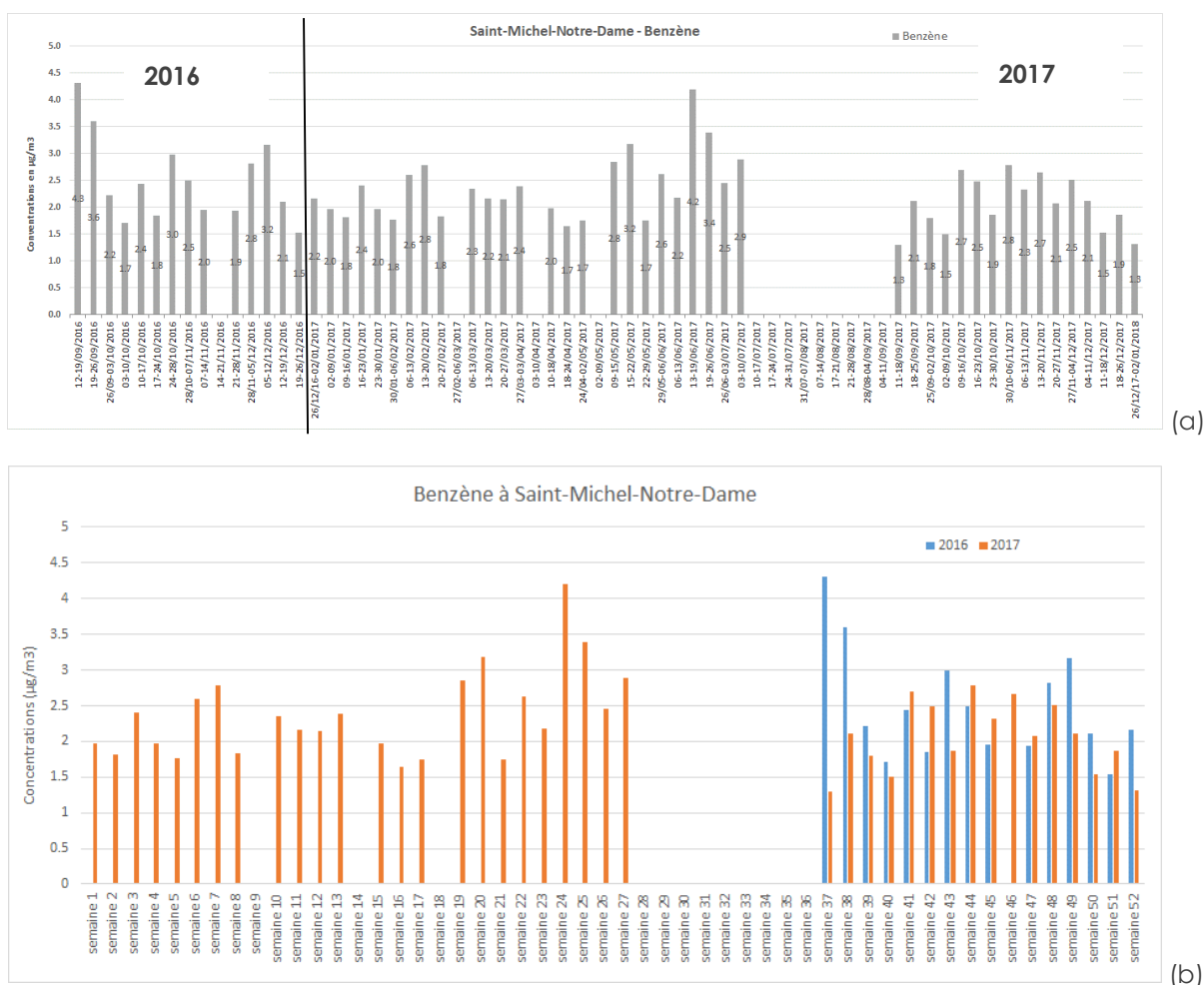


Figure 27 – Evolution des relevés hebdomadaires en benzène (concentrations en µg/m³) entre septembre 2016 et décembre 2017, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (a), présentation annuelle des résultats (b).

En moyenne, sur l'ensemble des mesures disponibles (55 semaines de mesure), la concentration en benzène est de 2.3 µg/m³. La concentration minimale est de 1.3 µg/m³ (semaine mi-septembre 2017) et la concentration maximale est de 4.3 µg/m³ (semaine

mi-septembre 2016). Les médiane et moyenne sont identiques ( $2.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La moitié des concentrations sont comprises entre  $1.9$  et  $2.6 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

L'analyse selon la période de mesure permet de comparer les résultats entre septembre et décembre des années 2016 et 2017. Excepté des concentrations plus élevées en septembre 2016 (il s'agit des maxima observés sur l'ensemble des relevés), les niveaux entre septembre et décembre 2016 sont tout-à-fait comparables à ceux enregistrés sur la même période en 2017 (concentrations moyennes respectives de  $2.3$  et  $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). Sur le reste de l'année, des teneurs plus élevées ont été enregistrées entre mai et juillet 2017 (moyenne de  $2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), contre  $2.1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  entre janvier et avril 2017. Ainsi les maxima ont été observés à la même période pour le benzène que pour les particules.

Les concentrations relevées sur le quai de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame peuvent être comparées aux mesures réalisées en air extérieur. La comparaison est présentée à la Figure 28.

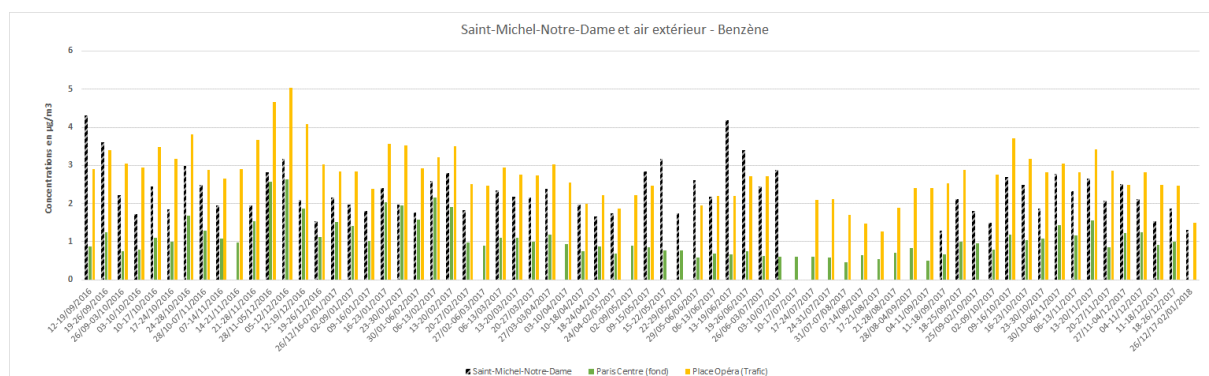


Figure 28 – Evolution des relevés hebdomadaires en benzène (concentrations en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) entre septembre 2016 et décembre 2017, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (a) et en air extérieur à Paris (Paris Centre et Place de l'Opéra).

Les niveaux en air extérieur en situation de fond sont représentés par la station de Paris Centre (Place Igor Stravinsky, Paris IV<sup>ème</sup>), ceux en proximité du trafic routier par la station Place de l'Opéra (Paris II<sup>ème</sup>). Sur toute la période de mesure, à l'exception des deux premières mesures en septembre 2016 et sur la période mai à juillet 2017, les concentrations sur le quai de la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame sont supérieures à celles en situation de fond sur Paris (Paris Centre) et inférieures aux mesures à proximité du trafic routier dans Paris (Place de l'Opéra).

Les concentrations de benzène observées sur les quais de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont cohérentes avec les résultats de la littérature<sup>7</sup> : les mesures par tubes passifs dans différentes enceintes souterraines françaises présentent des teneurs moyennes en benzène de l'ordre de  $1$  à  $4 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Sur l'ensemble des relevés hebdomadaires disponibles (55 semaines) entre septembre 2016 et décembre 2017, la concentration moyenne de **benzène** est de  $2.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la valeur hebdomadaire minimale étant de  $1.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , la valeur maximale de  $4.3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ .

Ces résultats sont comparables aux mesures déjà réalisées dans différentes enceintes souterraines françaises.

La comparaison avec des mesures similaires en air extérieur montre que les niveaux sur le quai à Saint-Michel-Notre-Dame sont, dans la majeure partie des cas (à l'exception d'une dizaine de jours de mesure), supérieurs à ceux pouvant être observés en situation de fond dans Paris, mais inférieurs à ceux enregistrés à proximité d'un axe de fort trafic parisien.

## 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.

La qualité de l'air extérieur est influencée au quotidien par les émissions anthropiques ou naturelles et les conditions météorologiques, et les imports de polluants (plus ou moins importants selon la provenance des masses d'air, et particulièrement vrai pour les particules). Aussi il est important de connaître les paramètres météorologiques observés lors des mesures afin de savoir s'ils 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 vent ou des inversions de température, sont des conditions météorologiques défavorables pour la qualité de l'air extérieur.

Le paragraphe suivant traite spécifiquement des périodes entre septembre 2016 et décembre 2017 où les teneurs en **particules** ont été les plus importantes en air extérieur, à savoir quand la procédure d'information ou d'alerte<sup>9</sup> a été déclenchée pour le polluant PM<sub>10</sub>. Il existe deux seuils de déclenchement : le seuil d'Information (correspondant à des concentrations moyennes journalières en particules PM<sub>10</sub> sur l'agglomération parisienne supérieures à 50 µg/m<sup>3</sup>) et le seuil d'Alerte (concentrations moyennes journalières en particules PM<sub>10</sub> supérieures à 80 µg/m<sup>3</sup>).

Entre septembre et décembre 2016, 9 journées ont connu un dépassement de seuil : 5 jours pour le seuil d'Information, 4 jours pour le seuil d'Alerte. Cela représente quatre épisodes de pollution<sup>10</sup>. En 2017, il y a eu deux épisodes de pollution aux particules, l'un de 5 jours en janvier, l'autre d'une journée (11/02/2017), soit 6 jours au total. Le tableau 2 répertorie les dates concernées.

Date	Seuil dépassé
30/11 au 02/12/2016 (3 jours)	Information le premier jour, Alerte ensuite
05 au 08/12/2016 (4 jours)	Information / Alerte / Alerte / Information
15/12/2016 (1 jour)	Information
30/12/2016 (1 jour)	Information
21 au 26/01/2017 (excepté le 25) (5 jours)	3 premiers jours Alerte, 2 derniers jours Information
11/02/2017 (1 jour)	Information

Tableau 2 – Jours de déclenchement de la procédure d'Information et d'Alerte en Ile-de-France entre septembre 2016 et décembre 2017 pour le polluant PM<sub>10</sub>.

Ces six épisodes de pollution aux particules observés entre septembre 2016 et février 2017 sont dus à la conjonction entre l'augmentation des émissions des activités anthropiques majoritairement locales (induites notamment par le chauffage résidentiel - principalement le chauffage domestique

<sup>9</sup> Conformément à l'arrêté inter-préfectoral du 19/12/2016.

<sup>10</sup> Détails sur les épisodes de pollution de décembre 2016 via le document [https://www.airparif.asso.fr/\\_pdf/publications/bilan-2016.pdf](https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/bilan-2016.pdf) pages 79 à 86.

- et le transport routier) et l'occurrence de conditions météorologiques anticycloniques stables et froides très marquées, favorisant l'accumulation des polluants atmosphériques près du sol.

La Figure 29 présente les concentrations journalières en particules PM<sub>10</sub> observées sur le quai RER de Saint-Michel-Notre-Dame et en air extérieur<sup>11</sup>, entre le 30/11/2016 et le 11/02/2017 (période au cours de laquelle des dépassements de seuils ont été enregistrés).

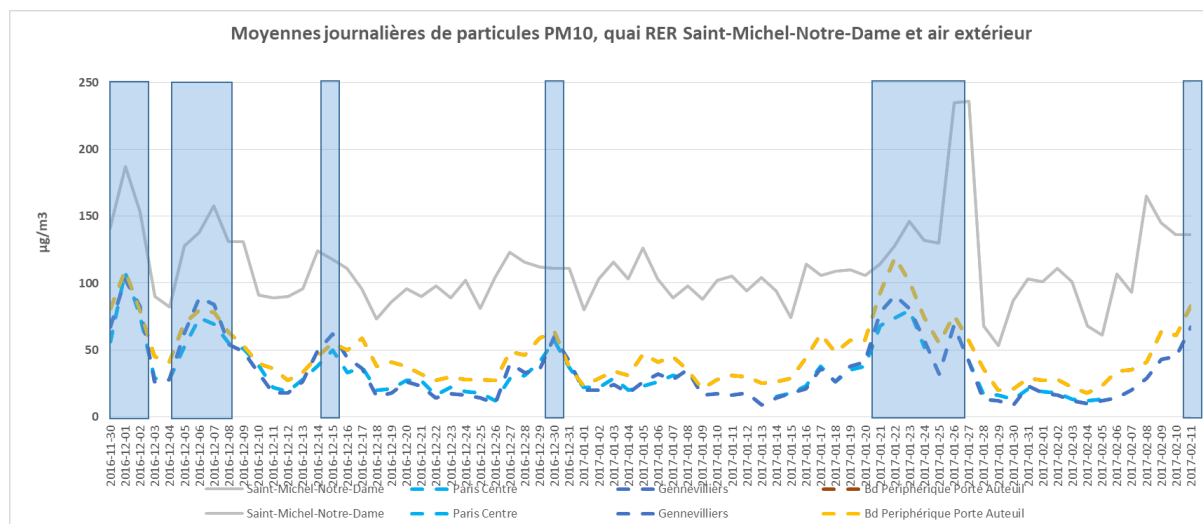


Figure 29 – Moyennes journalières des concentrations en particules PM<sub>10</sub>, en air extérieur (stations de fond de Paris Centre et Gennevilliers, à proximité du trafic routier au Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil) et en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, entre le 30/11/2016 et le 11/02/2017. En bleu les épisodes de pollution.

Les augmentations de niveaux observées en air extérieur les jours d'épisode de pollution se retrouvent sur le quai, mais de façon plus ou moins marquée selon les jours (coefficient de corrélation sur la période du 30/11/2016 au 11/02/2017 entre les moyennes journalières en particules PM<sub>10</sub> à Saint-Michel-Notre-Dame et Paris Centre à 0.7).

A l'échelle mensuelle, l'augmentation globale des teneurs en **PM<sub>2.5</sub>** en air extérieur (au niveau de l'agglomération parisienne) en décembre 2016 se retrouve sur les quais. Aussi l'impact de l'air extérieur se retrouve sur les quais (cf. Figure 30). Toutefois d'autres sources influencent les concentrations sur les quais, comme c'est le cas au printemps par exemple (hausse des concentrations sur le quais mais pas en air extérieur).

<sup>11</sup> Gennevilliers : 60 rue Richelieu, Gennevilliers, situation de fond ; Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil : Paris 16ème, proximité du trafic routier.

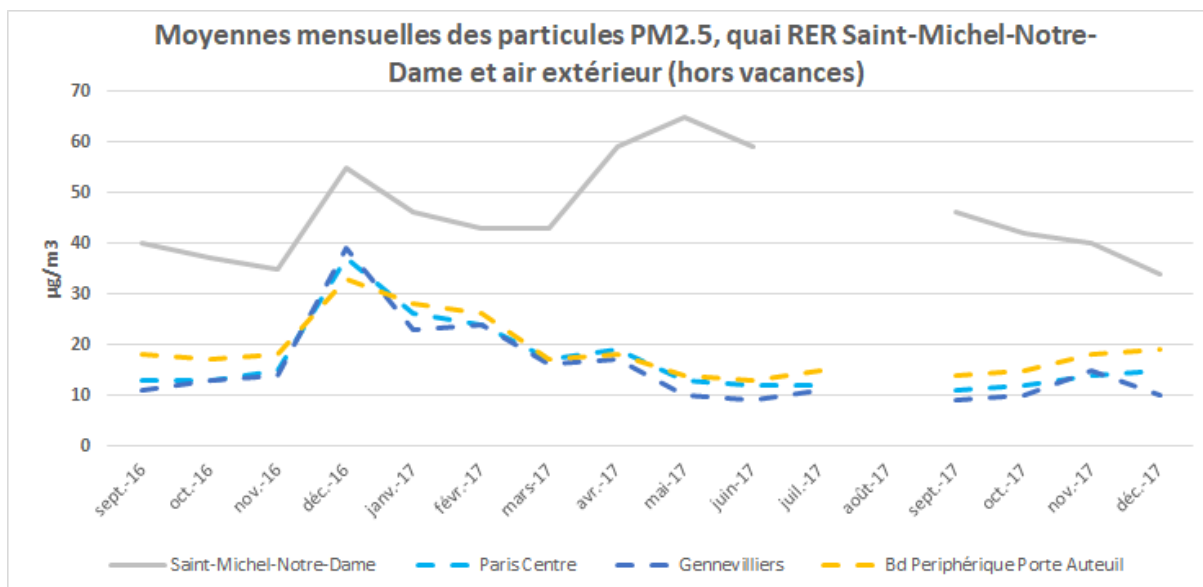


Figure 30 – Moyennes mensuelles des concentrations en PM<sub>2.5</sub>, en air extérieur (stations de fond de Paris Centre et Gennevilliers, à proximité du trafic routier Bd Périphérique Porte Auteuil) et en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, entre septembre 2016 et décembre 2017.

Les jours d'épisodes de pollution aux particules PM<sub>10</sub>, les concentrations en air extérieur en PM<sub>2.5</sub> sont, comme les particules PM<sub>10</sub>, en hausse. Cela se traduit par une augmentation des teneurs sur le quai (cf. Figure 31).

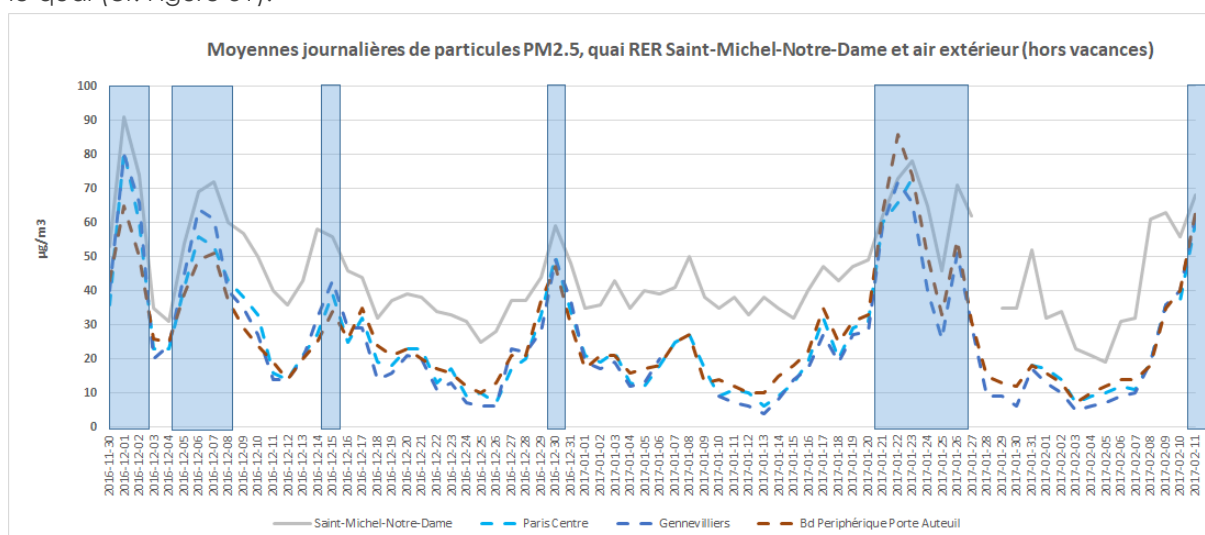


Figure 31 – Moyennes journalières des concentrations en particules PM<sub>2.5</sub>, en air extérieur (stations de fond de Paris Centre et Gennevilliers, à proximité du trafic routier au Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil) et en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, entre le 30/11/2016 et le 11/02/2017. En bleu les épisodes de pollution.

Le paragraphe suivant traite spécifiquement des périodes entre septembre 2016 et décembre 2017 où les teneurs en **NO<sub>2</sub>** ont été les plus importantes en air extérieur, à savoir quand la procédure d'information ou d'alerte<sup>9</sup> a été déclenchée pour ce polluant. Il existe deux seuils de déclenchement : le seuil d'Information (correspondant à des concentrations moyennes horaires en NO<sub>2</sub> sur l'agglomération parisienne supérieures à 200 µg/m<sup>3</sup>) et le seuil d'Alerte (concentrations moyennes horaires en NO<sub>2</sub> supérieures à 400 µg/m<sup>3</sup>).

La seule la journée du 01/12/2016 a été concernée par un dépassement du seuil d'Information pour ce composé (concentration horaire supérieure à 200 µg/m<sup>3</sup>)<sup>12</sup>. La Figure 32 présente l'évolution des

<sup>12</sup> Détails sur cet épisode de pollution via le document [https://www.airparif.asso.fr/\\_pdf/publications/bilan-2016.pdf](https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/bilan-2016.pdf) pages 79 à 86.

teneurs horaires en NO<sub>2</sub> relevées sur le quai du RER Saint-Michel-Notre-Dame et en air extérieur<sup>13</sup> à proximité, sur la période du 30/11 au 02/12/2016.

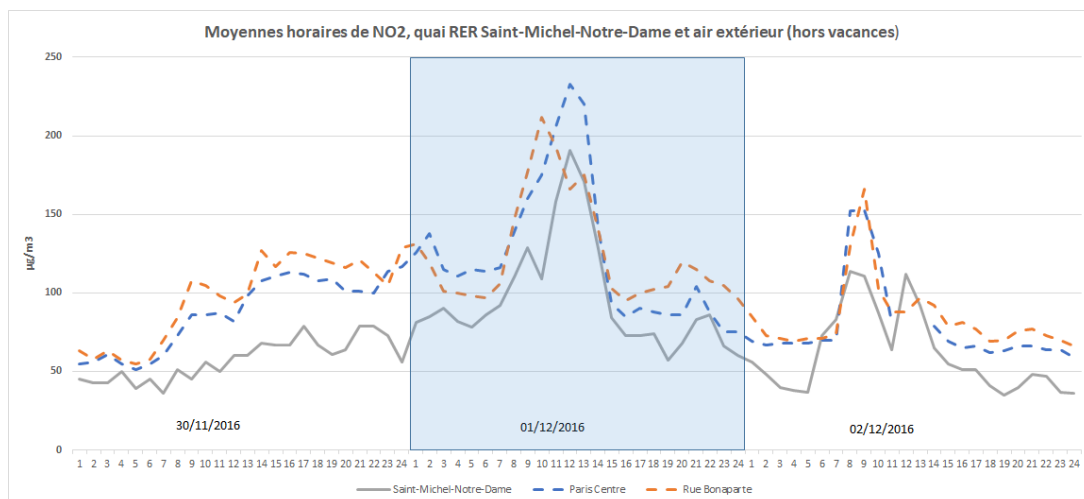


Figure 32 – Moyennes horaires des concentrations en NO<sub>2</sub>, en air extérieur (station de fond de Paris Centre et station à proximité du trafic routier Rue Bonaparte Paris VI<sup>ème</sup>) et en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, les 30/11, 01/12 et 02/21/2016. En bleu, épisode de pollution.

Le profil des concentrations horaires enregistrées sur le quai est similaire à celui observé en extérieur à proximité de la gare, avec toutefois des niveaux plus faibles sur le quai (coefficient de corrélation de 0.93 entre les deux paramètres). Le 01/12/2016, le maximum horaire en air extérieur à la station Paris Centre a atteint 233 µg/m<sup>3</sup>, contre 191 µg/m<sup>3</sup> sur le quai RER de Saint-Michel-Notre-Dame. On notera que les maxima ont été enregistrés à la même heure (12 h) sur les quais et en air extérieur à Paris Centre. Ceci peut s'expliquer par la faible profondeur des quais du RER C saint-Michel-Notre-Dame (étage -1 par rapport au sol) et par la proximité des accès de la gare avec le trafic routier.

A l'échelle mensuelle (cf. Figure 33), les concentrations en dioxyde d'azote observées sur le quai RER de Saint-Michel-Notre-Dame semblent un peu impactées par les niveaux en air extérieur, exception faite du mois de février 2017 (hausse des teneurs sur le quai, mais pas en air extérieur). Cela montre que d'autres sources influencent également l'air des enceintes ferroviaires souterraines, notamment les trains de travaux.

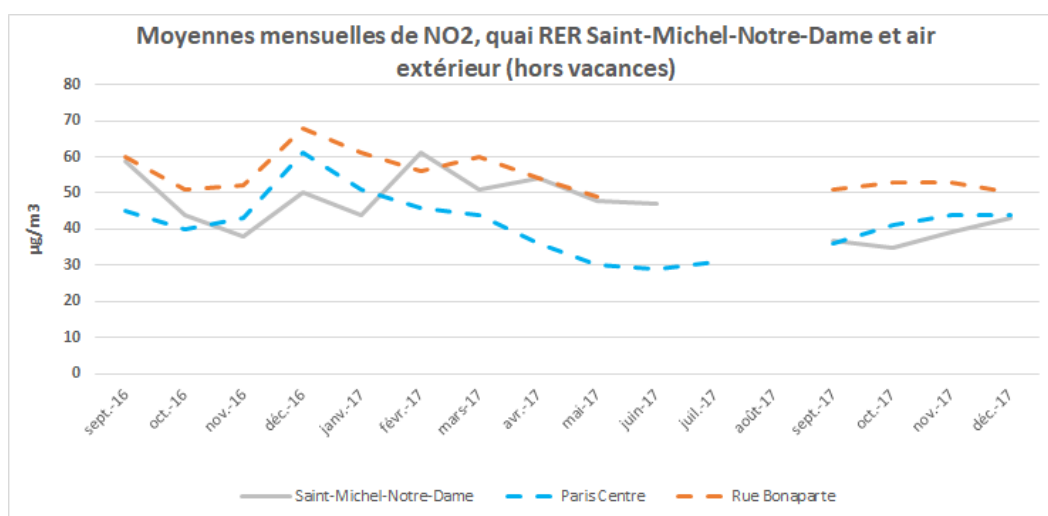


Figure 33 – Moyennes mensuelles des concentrations en NO<sub>2</sub>, en air extérieur (stations de fond de Paris Centre et à proximité du trafic routier Rue Bonaparte) et en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, entre septembre 2016 et décembre 2017.

<sup>13</sup> Rue Bonaparte : 16 rue Bonaparte Paris 6<sup>ème</sup>, proximité trafic routier.

La comparaison des profils journaliers en NO<sub>2</sub> (cf. Figure 34) montre qu'en moyenne, il n'y a pas de lien entre les concentrations observées sur le quai RER de Saint-Michel-Notre-Dame et les niveaux mesurés en air extérieur.

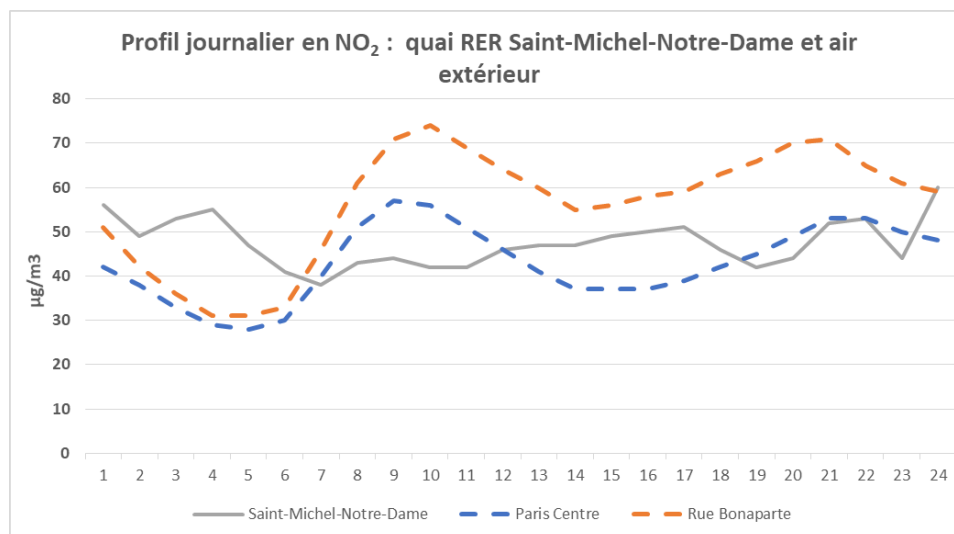


Figure 34 – Profil journalier en NO<sub>2</sub>, en air extérieur (stations de fond de Paris Centre et à proximité du trafic routier Rue Bonaparte Paris VI) et en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2016 – [jours ouvrés](#).

Les concentrations en **particules et en dioxyde d'azote** observées sur le quai RER de Saint-Michel-Notre-Dame sont **impactées par les niveaux en air extérieur en cas de fortes teneurs en extérieur** : lors d'épisodes de pollution, de forts niveaux se retrouvent également sur le quai. Il existe une atténuation en termes de niveaux de NO<sub>2</sub>, mais pas pour les particules.

**Concernant les particules**, à l'échelle mensuelle ou journalière, l'impact de l'air extérieur sur les quais n'est pas visible ; la source prédominante de pollution reste la circulation ferroviaire.

**Concernant le dioxyde d'azote**, à l'échelle mensuelle ou journalière, l'impact de l'air extérieur sur les quais est peu (échelle mensuelle) ou pas (échelle journalière) visible. Les teneurs en NO<sub>2</sub> sont majoritairement influencés par les trains travaux la nuit.

## 3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en CO<sub>2</sub>, qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces potentiellement soumis à diverses sources de CO<sub>2</sub> (combustion, respiration humaine). Les paramètres (température ambiante et humidité) ont également été suivis.

Les relevés journaliers en température et humidité sont présentés à la Figure 35.

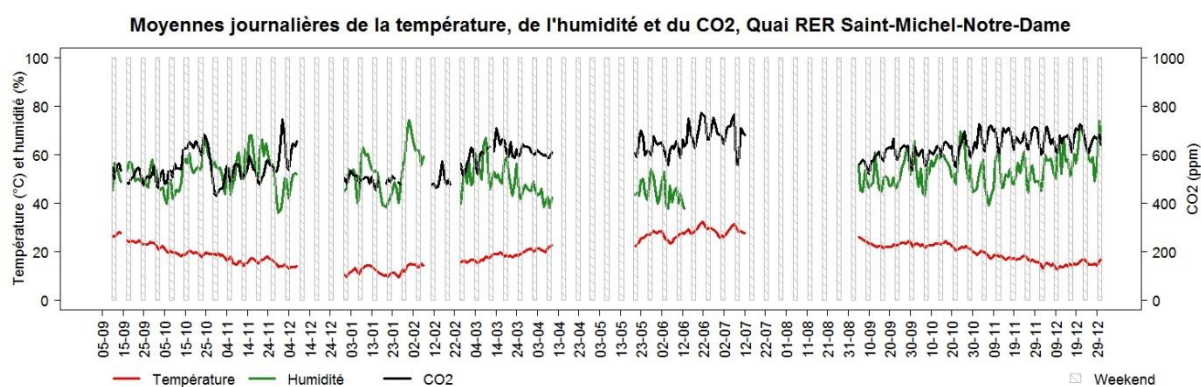


Figure 35 – Relevés journaliers de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>), température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 12/09/2016 au 21/12/2017.

Sur l'ensemble de la période étudiée, la **température** moyenne en gare de Saint-michel-Notre-Dame est de 20°C (19.9°C sur l'année civile 2017). Les relevés horaires ont varié entre 6 et 34°C (minima enregistrés la nuit en hiver, maxima observés en fin d'après-midi en été). Ces valeurs sont comparables à celles relevées en gare de Magenta, qui dispose également d'un suivi permanent (variations horaires entre 5 et 31°C en 2016).

L'**humidité relative** moyenne en gare de Saint-Michel-Notre-Dame est de 52% entre septembre 2016 et décembre 2017 (valeur équivalente pour l'année civile 2017), les relevés horaires ont varié entre 29% et 80%. Ces relevés sont également proches de ceux de la gare de Magenta (variations horaires 2016 entre 28 et 81%).

Sur l'ensemble de la période considérée, une variation saisonnière des températures est observée, mais toutefois attendue (influence des conditions météorologiques extérieures), et plus de fluctuations pour l'humidité, également en lien avec les conditions météorologiques extérieures.

Les relevés journaliers en **CO<sub>2</sub>** sont fluctuants, ceci en lien avec la fréquentation de la gare, la principale source sur les quais étant la respiration humaine. En moyenne de 500 ppm sur la période étudiée, les relevés horaires ont varié entre 394 ppm (observés la nuit) et 1606 ppm. Seize heures de pointe ont connu une teneur supérieure à 1 000 ppm, seuil correspondant à une condition normale d'occupation d'un bâtiment non résidentiel<sup>14</sup> : cela représente un nombre très limité d'heures (< de 0.2 % des relevés), certainement en lien avec une fréquentation particulièrement importante sur le quai.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM<sub>10</sub> d'une part, PM<sub>2.5</sub> d'autre part) et en CO<sub>2</sub> les jours ouvrés (cf. Figure 36) montre que les teneurs maximales sont observées en même temps pour le CO<sub>2</sub> et pour les particules (léger décalage le matin), à savoir aux heures de pointe (10h le matin, 18-20h en fin de journée). Cela confirme que les concentrations en particules sont plus importantes lorsque la fréquentation de la gare est élevée.

<sup>14</sup> Concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'air intérieur et effets sur la santé. Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.



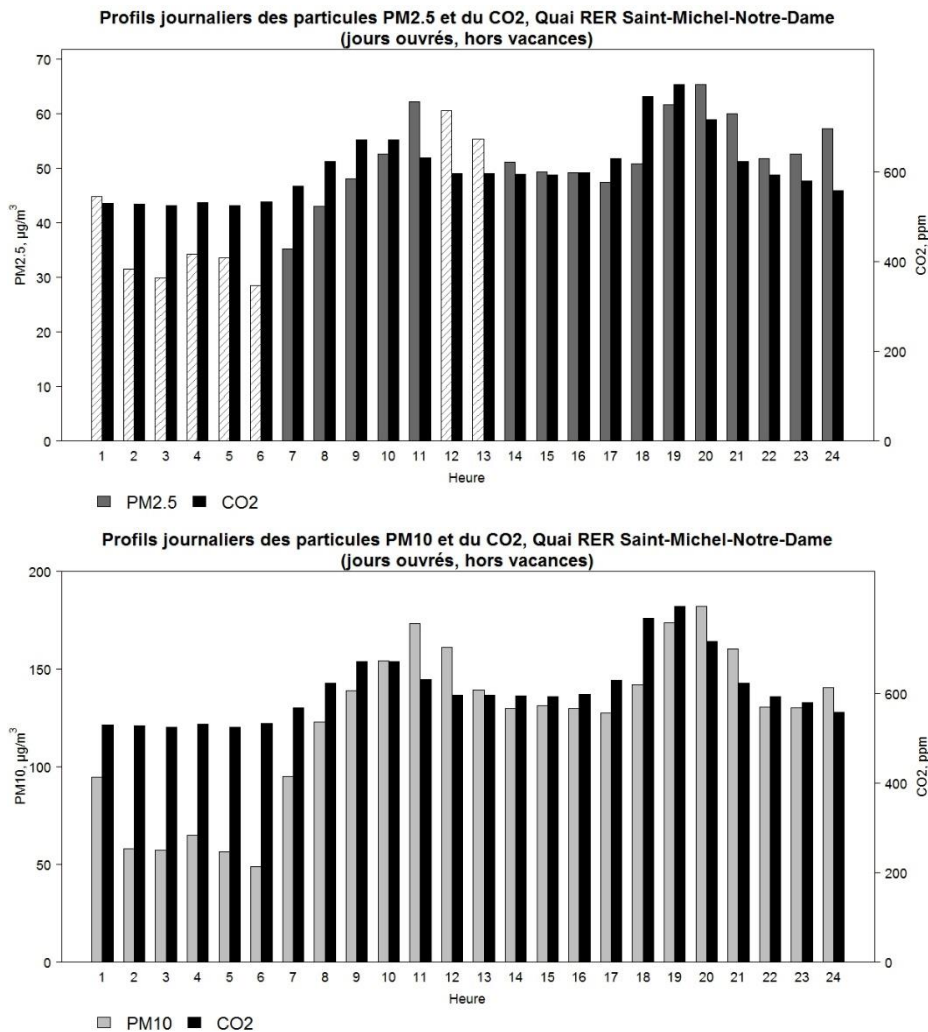


Figure 36 –Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> et en PM<sub>2.5</sub> et CO<sub>2</sub>, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2016 – [jours ouvrés](#).

### 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

Certains paramètres techniques de la gare doivent être pris en compte en tant que potentiellement explicatifs des niveaux de particules :

- Fréquence des trains circulant sur les voies,
- Influence de la ventilation : la gare de Saint-Michel-Notre-Dame ne bénéficie pas de ventilation mécanique, aussi aucune influence de changement de ventilation, au cours des mesures, n'a pu être étudiée.

Le **nombre de trains circulant** en gare de Saint-Michel-Notre-Dame a été transmis par la SNCF Gares d'Ile-de-France, ceci selon la période : JOB (jours ouvrés du mardi au jeudi), samedi et dimanche, et jours fériés pendant la campagne de mesure.

En moyenne, les jours ouvrés, 477 circulent en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Le samedi, ce sont 430 trains qui circulent et 369 trains le dimanche. Il s'agit du nombre de trains théoriques en circulation. Les chiffres sont présentés en Figure 37.

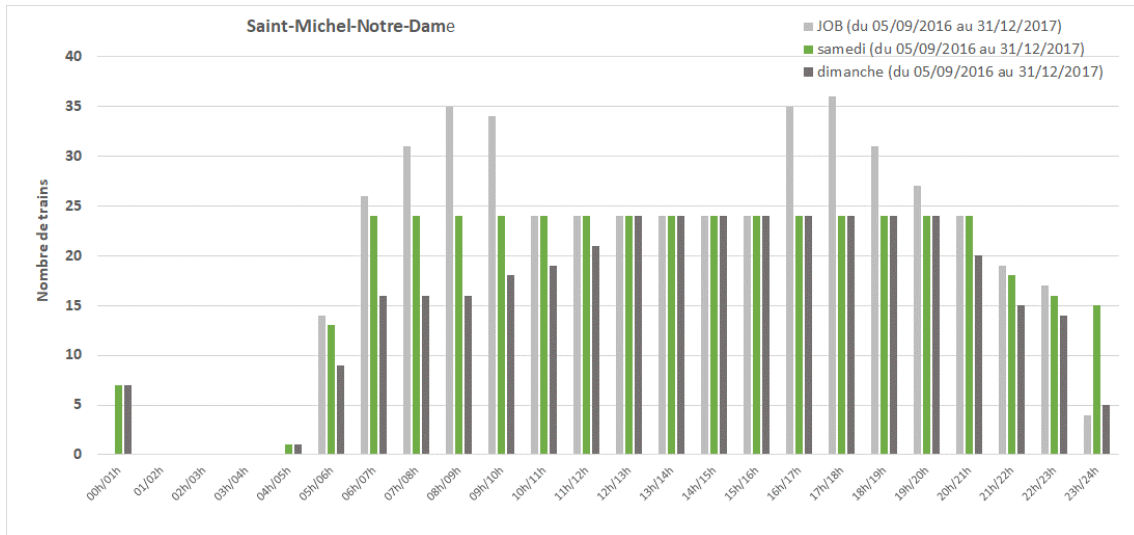


Figure 37 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations moyennes en **particules** à l'échelle journalière est présenté à la Figure 38 pour les jours ouvrés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.



Figure 38 – Teneurs en particules  $PM_{10}$ ,  $PM_{2.5}$  et nombre de trains en circulation à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 01/09/2016 au 31/12/2017.

Le profil des teneurs en particules ( $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ ) est corrélé au nombre de trains en circulation. Un décalage horaire (1h) apparaît, qui peut s'expliquer par le délai de mesure : la valeur affichée à 10h correspond aux mesures réalisées entre 9h et 10h.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations en particules en fonction du type de jour de la semaine est présenté à la Figure 39. Les teneurs observées en particules ( $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ ) sont liées au nombre de trains en circulation.

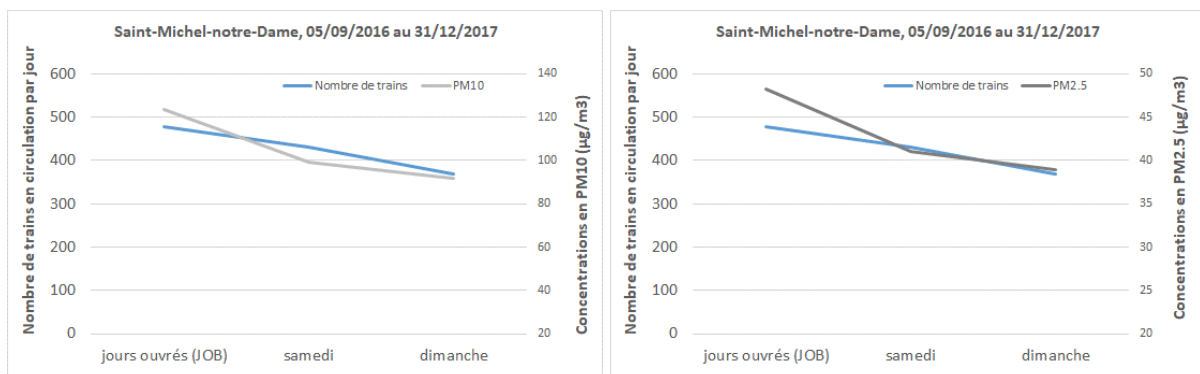


Figure 39 – Teneurs en particules  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 31/12/2017.

Ces résultats montrent que la circulation des trains, corrélée aux niveaux de particules, est une source importante de particules en gare.

Comme observé via les teneurs en CO<sub>2</sub>, le nombre de voyageurs peut également avoir une influence sur les concentrations en particules en gare. En effet, les voyageurs, en circulant sur le quai, favorisent la remise en suspension des particules dans l'air. Le croisement entre le nombre de voyageurs et les teneurs de particules en gare ne peut être réalisé faute de données disponibles.

Un croisement du nombre de trains avec les teneurs en NO<sub>x</sub> ne montre pas de corrélation (cf. Figure 40) pendant la période d'ouverture de la gare au public. La nuit, les concentrations plus élevées en NO<sub>x</sub>, alors que la circulation commerciale a cessé, sont dues aux trains de travaux (qui ne sont pas comptabilisés).

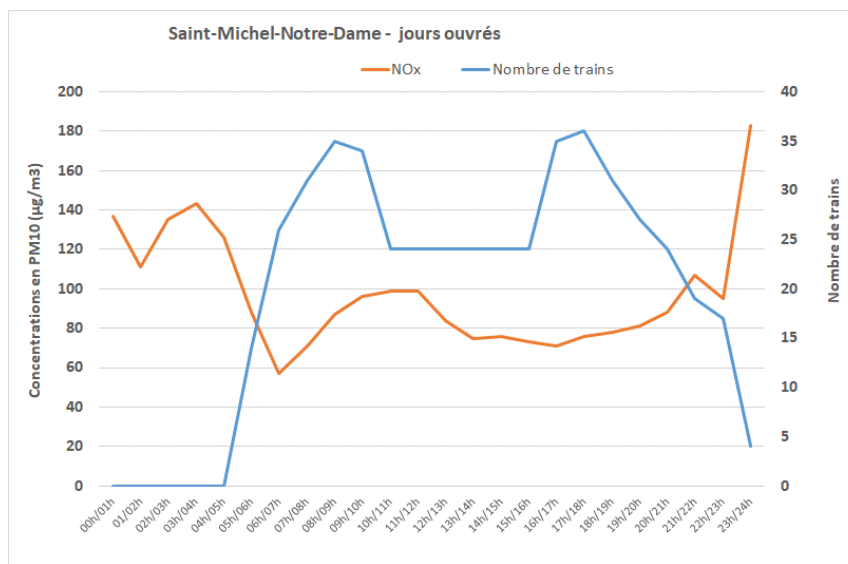


Figure 40 – Teneurs en NO<sub>x</sub>, et nombre de trains en circulation à la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, période du 01/09/2016 au 31/12/2017.

L'influence de divers paramètres de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame a été étudiée.

- **Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules sur le quai**, d'où des maxima observables aux heures de pointe en semaine.
- Les niveaux en CO<sub>2</sub>, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

## 4. CONCLUSION

Ce rapport présente les niveaux de pollution observés en gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame sur l'ensemble de la période de mesure, à savoir de septembre 2016 à décembre 2017. Cette gare, qui a bénéficié d'un suivi en continu sur cette période, est l'un des deux sites de référence mis en place dans le cadre du partenariat signé entre Airparif et SNCF Gares d'Ile-de-France.

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

- Les **teneurs en particules fines PM<sub>10</sub>** mesurées sur les quais du RER C en gare de Saint-Michel-Notre-Dame au cours de la période de mesure (septembre 2016 à décembre 2017) **étaient en moyenne de 114 µg/m<sup>3</sup>**, le maximum horaire atteint étant de 1911 µg/m<sup>3</sup> (enregistré lors de travaux nocturnes).
- **Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2.5</sub> étaient de 45 µg/m<sup>3</sup>**, pour un maximum horaire de 384 µg/m<sup>3</sup> (enregistré lors de travaux nocturnes).

Ces concentrations moyennes en particules sont largement supérieures à celles enregistrées sur la même période en gare de Magenta.

La répartition mensuelle montre des fluctuations, dans des proportions similaires en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>. Les mois d'automne présentent les niveaux moyens les plus faibles. A l'inverse, les concentrations sont plus élevées en été, ce qui pourrait être en lien avec les importants travaux réalisés (Castor).

L'évolution des profils hebdomadaires montre des concentrations plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine : une baisse de l'ordre de 20 % pour les PM<sub>10</sub> et 15 % pour les PM<sub>2.5</sub> est enregistrée.

Les profils journaliers montrent des concentrations minimales la nuit, lors de la période de fermeture de la gare. Les teneurs sont maximales lors des pointes du matin (10-12h) et du soir (19-21h).

Enfin, les concentrations sont plus importantes en service commercial que sur une journée de 24h, de l'ordre de 9% pour les PM<sub>10</sub> et 4% pour les PM<sub>2.5</sub>.

Concernant les **oxydes d'azote (NO et NO<sub>2</sub>)**, la teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C à Saint-Michel-Notre-Dame est de **76 µg/m<sup>3</sup> en NO** et **45 µg/m<sup>3</sup> pour le NO<sub>2</sub>**.

Comme pour les particules, à l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine. La baisse est de 50 % pour le NO et de 13 % pour le NO<sub>2</sub>.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes sont les plus forts (entre 23h et 5h), correspondant à la période des travaux de maintenance réalisés sur le réseau souterrain, voire uniquement à des passages de trains à locomotive diesel (en moyenne 136 µg/m<sup>3</sup> en NO et 51 µg/m<sup>3</sup> en NO<sub>2</sub>). Les niveaux sont plus faibles le reste de la journée (le teneur moyenne est NO est de 74 µg/m<sup>3</sup> et celle de NO<sub>2</sub> de 46 µg/m<sup>3</sup>).

La part des **métaux** dans les **particules PM<sub>10</sub>**, suivie périodiquement, est en moyenne de 36 %. Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux. Suivent ensuite le **Cuivre** (1.8 %), le **Zinc** (0.9 %), le **Manganèse** (0.8 %), le **Chrome** (0.3 %) et le **Nickel** (0.1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables.

La part des différents composés varie modérément pendant l'ensemble des mesures. Des périodes ont toutefois présenté des teneurs plus importantes : autour du 20/06/2016 et 13/09/2017.

Parmi les composants de la **silice cristalline** suivis, le **quartz** est majoritaire, avec une part dans les particules PM<sub>10</sub> en moyenne de 1.8 %. La part de cristobalite est très faible, le tridymite n'a jamais été détecté.

**La circulation ferroviaire et la fréquentation de la gare sont les principaux paramètres d'influence des concentrations en particules sur le quai de la gare.**

Concernant les oxydes d'azote, les variations temporelles observées en gare de Saint-Michel-Notre-Dame ne sont pas liées à la circulation des trains de voyageurs mais aux travaux nocturnes.

L'impact de l'air extérieur sur les niveaux journaliers de particules et en oxydes d'azote sur les quais de la gare a été mis en évidence en cas de fortes concentrations en air extérieur.

En complément des mesures présentées dans ce rapport, des mesures spécifiques dans les microenvironnements de la gare ont été 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 par les agents SNCF. Ces mesures feront l'objet d'un rapport spécifique.



## **ANNEXE 0 :**

### **ELEMENTS SUR LES COMPOSES SUIVIS**

Les Oxydes d'Azote (NO<sub>x</sub>) regroupent le Monoxyde d'Azote (NO) et le Dioxyde d'Azote (NO<sub>2</sub>). Ils sont émis lors des combustions, à haute température, de combustibles fossiles (charbon, fuel, pétrole, etc.). Ainsi le NO<sub>2</sub> est un polluant indicateur des activités de combustion, notamment du trafic routier en air extérieur. Il est en effet directement émis par les sources motorisées de transport (émission directe ou « primaire »), et dans une moindre mesure par le chauffage résidentiel. Il est également produit dans l'atmosphère à partir des émissions de Monoxyde d'Azote, (NO) sous l'effet de leur transformation chimique en NO<sub>2</sub> (polluant « secondaire »). Les processus de formation du NO<sub>2</sub> sont étroitement liés à la présence d'Ozone dans l'air ( $\text{NO} + \text{O}_3 \leftrightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$ ). C'est un polluant dont la source est essentiellement extérieure. Dans les enceintes souterraines, les seules sources de NO<sub>x</sub> sont les locomotives diesel des trains de travaux.

Le Monoxyde d'Azote (NO) n'est pas toxique pour les humains aux concentrations généralement rencontrées dans l'environnement. Le Dioxyde d'Azote (NO<sub>2</sub>) est un gaz irritant pour les bronches. Des études épidémiologiques ont montré que les symptômes bronchitiques chez l'enfant asthmatique augmentent avec une exposition de longue durée au NO<sub>2</sub>. Une diminution de la fonction pulmonaire est également associée aux concentrations actuellement mesurées dans les villes d'Europe et d'Amérique du Nord. A des concentrations dépassant 200 µg/m<sup>3</sup>, sur de courtes durées, c'est un gaz toxique entraînant une inflammation importante des voies respiratoires.

Sur l'environnement, il contribue au phénomène des pluies acides, qui appauvrissent les milieux naturels (sols et végétaux), ainsi qu'à la formation de l'ozone.

## **ANNEXE 1 :**

### **ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME**

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

Pas de portes palières

**Ventilation** : Naturelle

#### **Fréquentation de la gare :**

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 59 483 par jour (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 étage (2 niveaux), entre 872 et 1536 places totales par train.

Energie motrice : électrique par caténaire

Type de roulement : fer

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

Les travaux Castor entraînent la fermeture du réseau central du RER C, et par conséquent l'arrêt de la desserte de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame. En 2017, ils ont eu lieu du 15/07 au 26/08/2017. L'arrêt des mesures a été plus long, le temps de démonter et réinstaller le matériel de mesure.



## 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 PM<sub>10</sub> et très fines PM<sub>2.5</sub> sont mesurées.**

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

Enfin, les paramètres de confort (CO<sub>2</sub>, Humidité relative et Température) ont été suivis.

Spécifiquement à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame, des mesures en dioxyde d'azote et en benzène, spécifique de la pollution urbaine, ont été réalisées.

#### Moyens techniques mis en œuvre ANALYSEURS AUTOMATIQUES

Des sites automatiques, renseignant les concentrations de pollution au pas de temps horaire, ont été mis en place, afin de disposer de données temporelles fines de pollution pour l'interprétation des résultats.

La station de mesure se présente sous forme d'une station classique de mesure de la qualité de l'air, équipée d'analyseurs automatiques installés au sein d'une armoire 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 (PM<sub>10</sub>)<sup>15</sup> et particules fines (PM<sub>2.5</sub>) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO<sub>x</sub><sup>16</sup> 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 Micropolluant<sup>17</sup>.

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES<sup>7</sup> dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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

L'analyse est réalisée par ICPMS (Analyse par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif)



En complément, pendant plusieurs semaines, des prélèvements pour dosage de silice ont été réalisés. Comme pour les métaux, un préleveur LECKEL est utilisé. L'analyse des filtres (en PVC) est réalisée par le laboratoire EUROFINS<sup>18</sup>, selon les détails suivants :

Silice cristalline par DRX sur filtre :

- LSRFI: Identification Tridymite par DRX sur filtre (P), Méthode de référence NF X 43-296

Paramètres: Résultat de la tridymite.

- LSRFJ: Cristobalite quantitative par DRX sur filtre (P), méthode de référence NF X 43-296

Paramètres: Résultat du dosage de la cristobalite

- LSA5Z: Quartz quantitatif par DRX sur filtre (P), méthode de référence NF X 43-296

Paramètres: Quartz quantitatif par DRX sur filtre

<sup>15</sup> Mesures des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM<sub>10</sub> et des PM<sub>2.5</sub> par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

<sup>16</sup> Mesures des NO<sub>x</sub> selon la norme NF EN 14211 par réduction catalytique et chimiluminescence.

<sup>17</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

<sup>18</sup> EUROFINS : <https://www.eurofins.fr/>

Il a également été choisi de réaliser des prélèvements puis une analyse en différé pour suivre les teneurs en Benzène. Les prélèvements ont été effectués par échantillonneurs passifs (photo ci-jointe), l'analyse est réalisée par désorption thermique et chromatographie en phase gazeuse (norme NF EN 14662-4)



## 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.

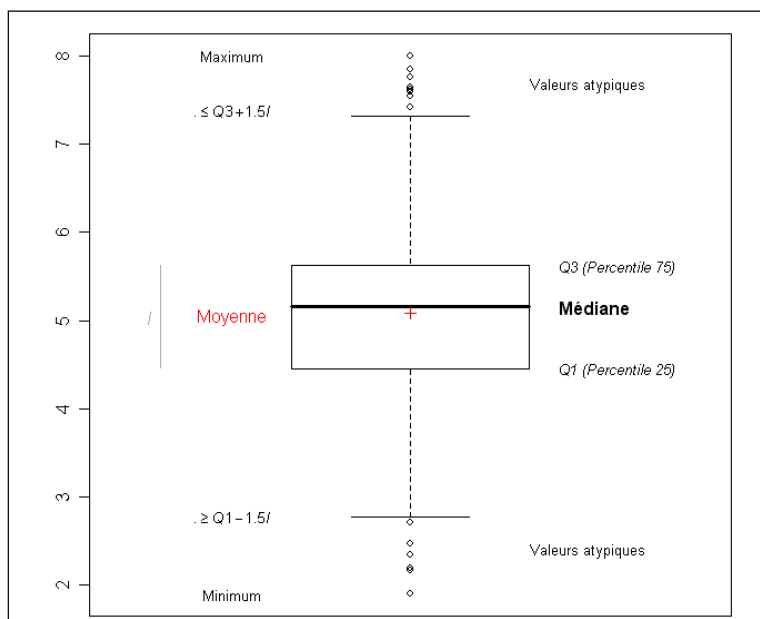
L'exploitation des données est réalisée sur des relevés validés. Une donnée est considérée comme valide si au moins 75% de ses éléments constitutifs le sont. Par exemple, une moyenne horaire est valide si au moins 75 % ( $\geq$ ) de données 15 minutes sont valides, consécutives ou non sur l'heure.

## 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).

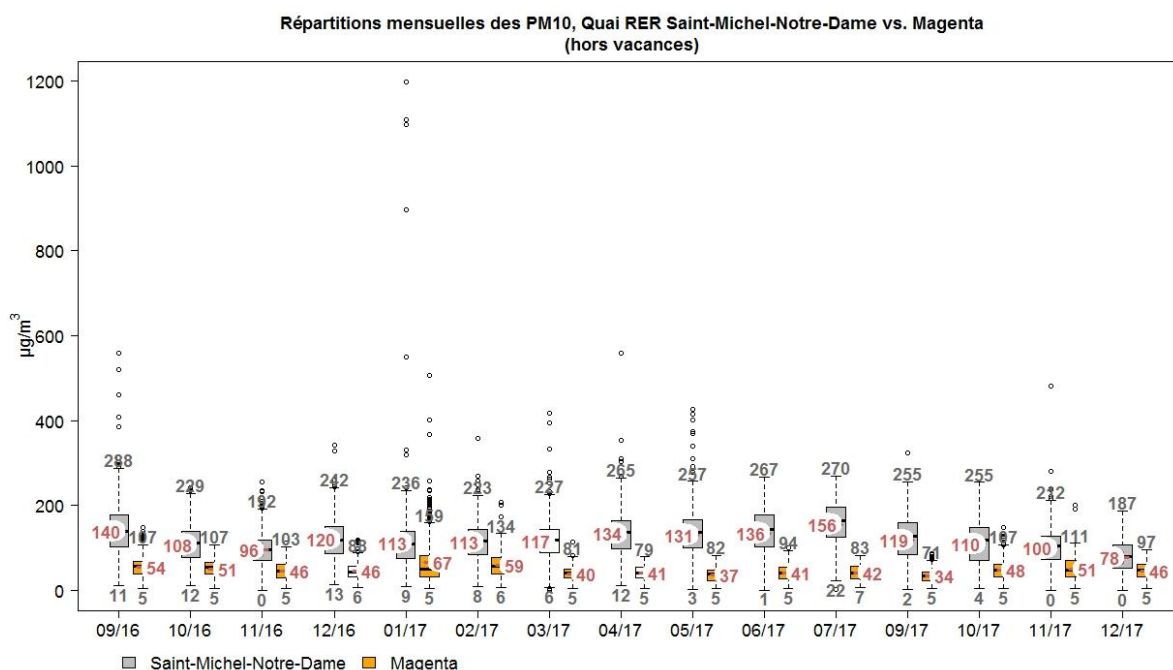
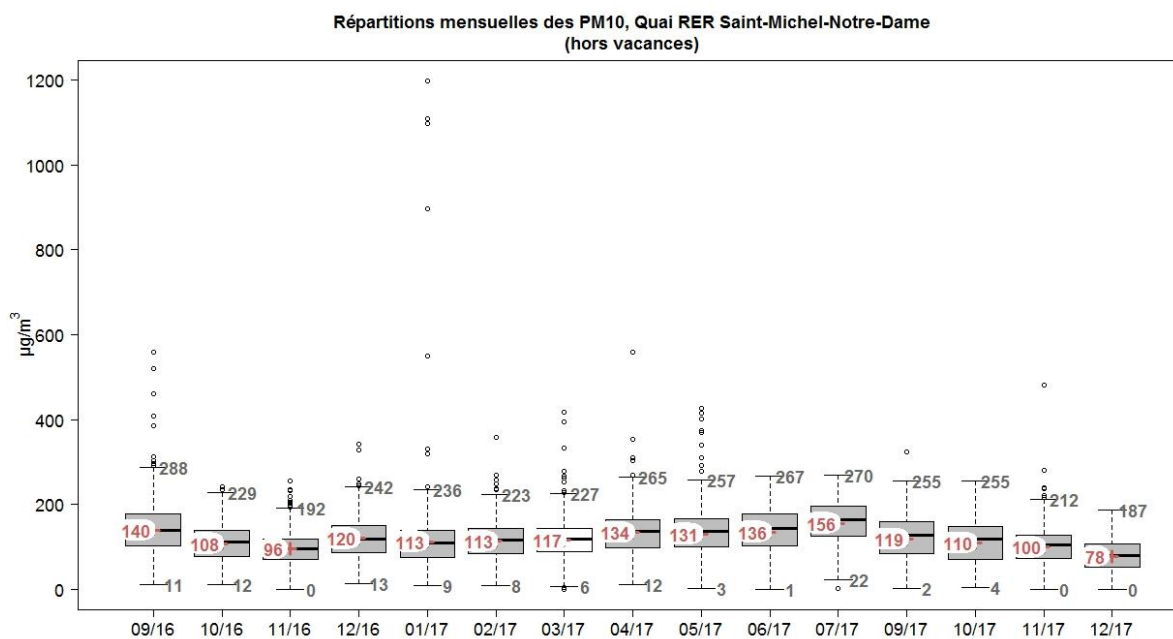


La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur,  $1,5 * I$  ( $I$  étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches. La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur  $3Q + 1,5I$  (3<sup>ème</sup> quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

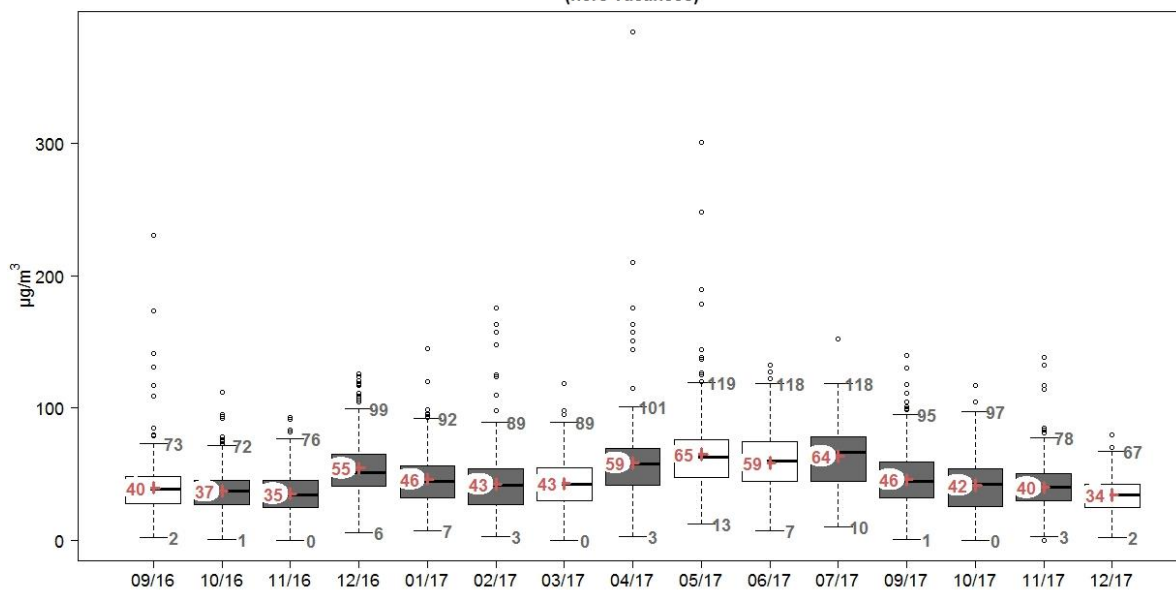
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

## ANNEXE 4 :

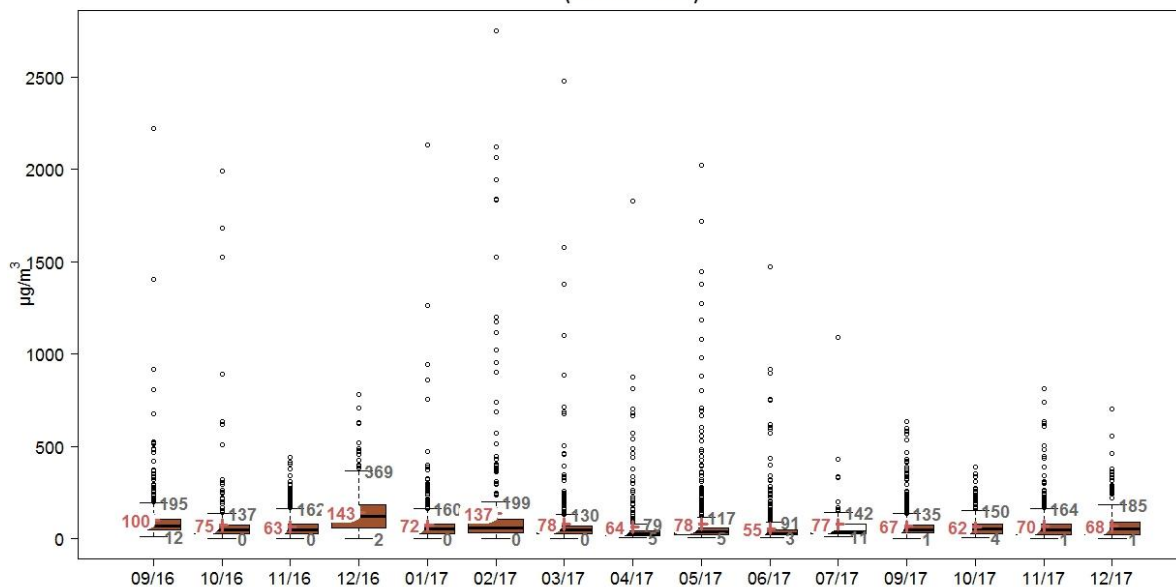
### BOITES A MOUSTACHES DES RELEVES MENSUELS DE PM<sub>10</sub>, PM<sub>2.5</sub> ET NO<sub>2</sub>, EN GARE DE SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME ET A MAGENTA, PERIODE DE SEPTEMBRE 2016 A DECEMBRE 2017.



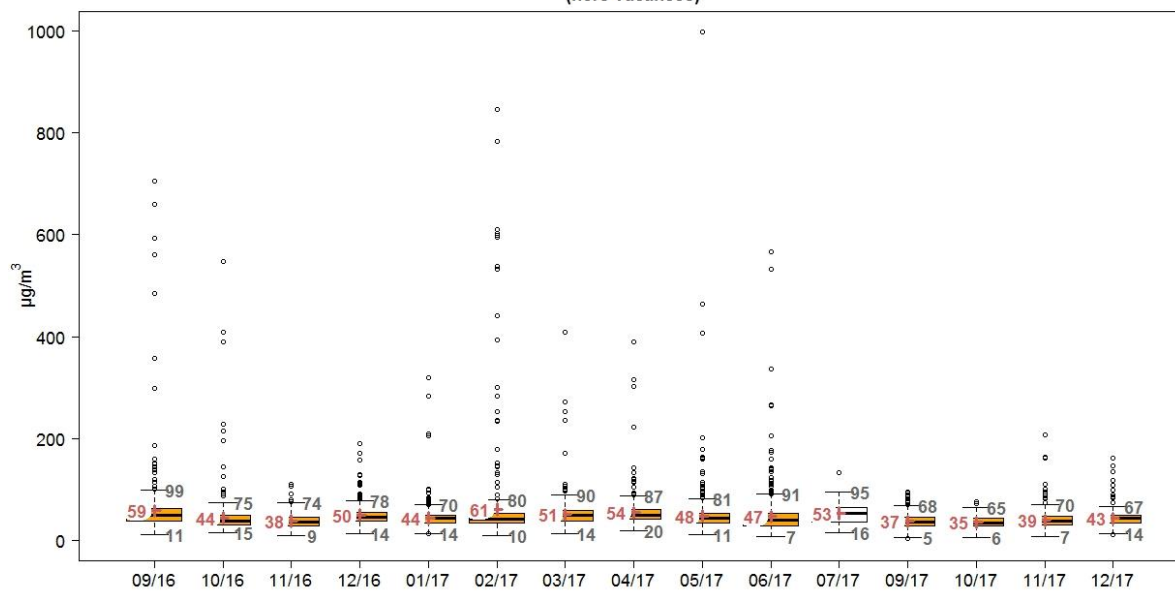
Répartitions mensuelles des PM2.5, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame  
(hors vacances)



Répartitions mensuelles du NO, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame  
(hors vacances)



Répartitions mensuelles du NO<sub>2</sub>, Quai RER Saint-Michel-Notre-Dame  
(hors vacances)



## ANNEXE 5 :

### RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE

#### RER C DE SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME,

#### MESURES ENTRE SEPTEMBRE 2016 ET DECEMBRE 2017

