

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER E EN GARE SNCF D'HAUSSMANN-SAINT-LAZARE

Octobre 2016

Juin 2017





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



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER E EN GARE SNCF DE HAUSSMANN-SAINT-LAZARE

Juin 2017

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

SYNTHESE

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

Dans ce cadre, une campagne de mesure a été réalisée du **03/10/2016 au 23/10/2016** à la gare de **Hausmann-Saint-Lazare (RER E, quai 32 Terminus)**. Les particules fines (PM_{10}) et très fines ($PM_{2.5}$) ont été suivies, ainsi que les métaux.

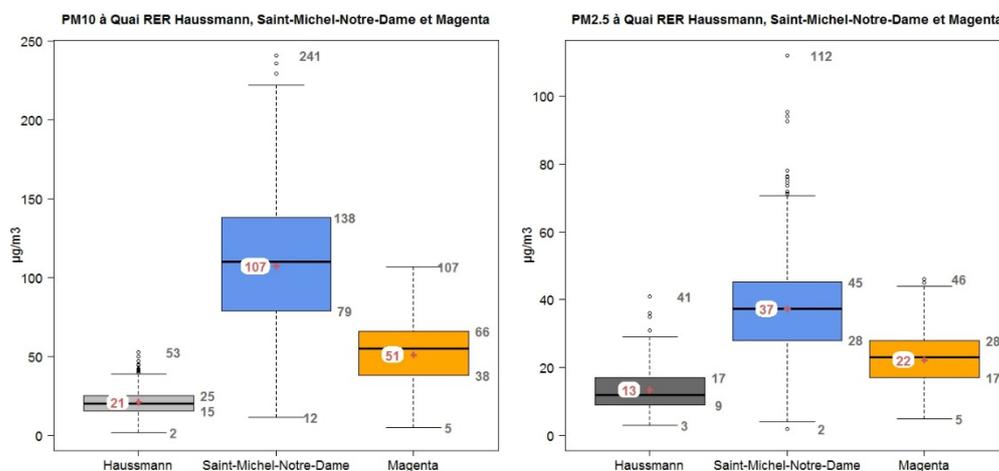
Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM_{10} mesurées sur les quais du RER E en gare de Hausmann-Saint-Lazare au cours du mois d'octobre 2016 étaient en moyenne de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le maximum horaire atteint étant de $53 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les niveaux moyens en particules très fines $PM_{2.5}$ atteignent $13 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour un maximum horaire de $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum atteint au même moment pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$).

Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ? Les niveaux moyens en PM_{10} sont largement inférieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame ($107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et également inférieurs à ceux de la station Magenta ($51 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période).

Comme pour les PM_{10} , les niveaux moyens en $PM_{2.5}$ à Hausmann-Saint-Lazare sont inférieurs à ceux enregistrés à la station Magenta ($22 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et à Saint-Michel-Notre-Dame ($37 \mu\text{g}/\text{m}^3$).



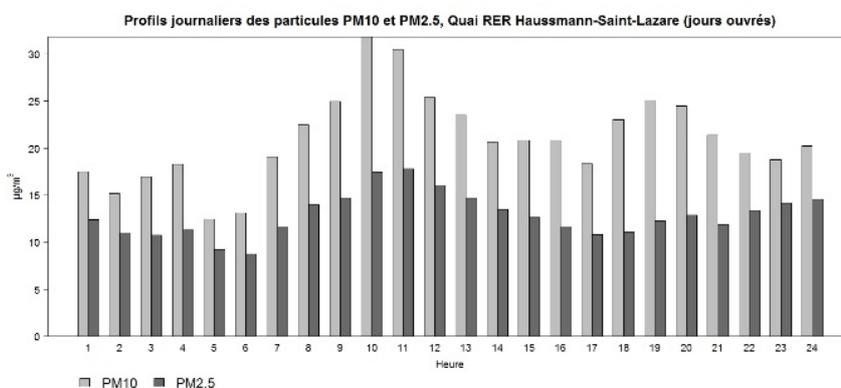
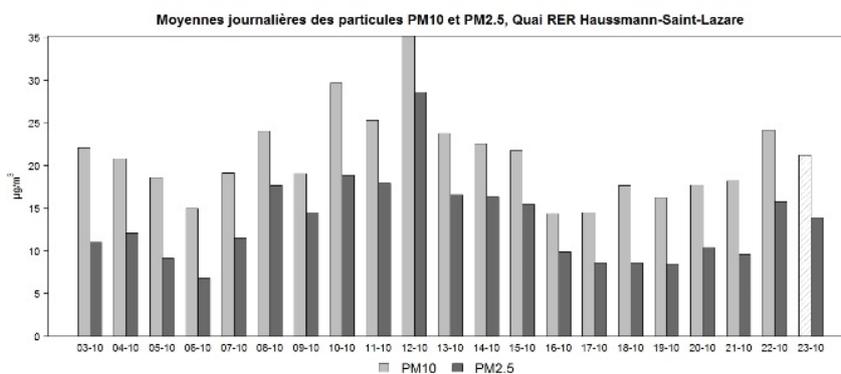
Les relevés en particules à la gare de Hausmann-Saint-Lazare sont plus proches de ceux de la gare Magenta que de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, aussi bien en termes de niveaux que d'évolution temporelle. Cela s'explique par le positionnement voisin des deux gares sur la même ligne (RER E), d'où une similitude en termes de matériel roulant (et donc en composition des équipements de freinage), de nombre de trains en circulation, et de mode ventilation. Les teneurs plus faibles à Hausmann-Saint-Lazare qu'à Magenta s'expliquent en partie par la position « Terminus » de la gare, d'où moins d'émissions des trains dans cette gare dues au freinage.

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

Etant données les faibles teneurs enregistrées sur les quais en gare de Hausmann-Saint-Lazare, les variations temporelles sont limitées dans cette gare, comparativement aux stations de référence.

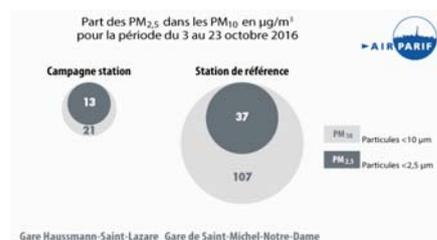
A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs stables les samedis et dimanches comparativement aux jours de semaine. A l'inverse, aux stations de référence, la baisse des teneurs le week-end par rapport aux jours ouvrés est observée pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$, ceci en lien avec la diminution de fréquentation.

Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Haussmann-Saint-Lazare, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} et 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$. Les concentrations sont maximales vers 10 - 11h le matin et 19 - 20h en soirée. Les concentrations sont alors de 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une heure en PM_{10} et 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en $\text{PM}_{2.5}$. Ces variations sont également observées aux stations de référence à d'autres niveaux de concentrations, en lien avec l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains).



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

Le ratio $\text{PM}_{2.5}/\text{PM}_{10}$ est en moyenne de 0.63, contre 0.39 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0.46 à Magenta. A Haussmann-Saint-Lazare, les $\text{PM}_{2.5}$ sont prépondérantes par rapport aux PM_{10} . Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. Une hausse du ratio en gare de Haussmann-Saint-Lazare est observée en milieu de campagne, en lien avec des teneurs en $\text{PM}_{2.5}$ plus élevées sur cette période en air extérieur.



Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ? Est-ce différent de ce qui est observé à Magenta ou Saint-Michel-Notre-Dame ?

La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM_{10} varie de 13 à 24 % sur la semaine de mesure (03 au 07/10/2016) en gare de Haussmann-Saint-Lazare. Peu de fluctuations sont observées sur la semaine de mesure. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame varie entre 37 et 41%.

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

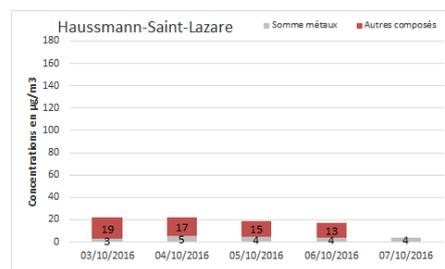
Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 89 % des métaux mesurés à Haussmann-Saint-Lazare et 97 % à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite le **Zinc** et le **Cuivre**, dans des proportions équivalentes à Haussmann-Saint-Lazare (4.5 %), contre respectivement 0.8 % et 1.3 % à Saint-Michel-Notre-Dame. Le **Manganèse** représente 0.8 % des prélèvements en métaux, le **Chrome** 0.3 % et le **Plomb** 0.2 %. Les valeurs en Arsenic, Cadmium et Antimoine sont inférieures aux limites de quantification. Ces différences dans les teneurs en métaux mesurées à Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame peuvent s'expliquer par le fait que ce sont des lignes de RER différentes,

d'où des différences possibles en ce qui concerne les câbles d'alimentation, la composition des semelles de freinage, la composition des rails.

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

Les faibles relevés journaliers ont été stables sur la semaine de prélèvement à Hausmann-Saint-Lazare, alors que des fluctuations sont observées à Saint-Michel-Notre-Dame.

Globalement, les niveaux enregistrés sur le quai RER E de Hausmann-Saint-Lazare sont faibles comparativement aux mesures des deux stations de référence. Cela s'explique par les caractéristiques de la gare étudiée (gare Terminus, d'où moins de freinage et gare ventilée).



SOMMAIRE

SYNTHESE	4
SOMMAIRE	7
GLOSSAIRE	8
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS	9
1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	11
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	11
1.2 PERIODE DE MESURE	12
2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE	13
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	13
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	14
2.1.2. PARTICULES PM _{2.5}	15
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	16
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE	16
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	17
2.2.2. VARIABILITE JOURNALIERE.....	18
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	20
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	21
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	21
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	24
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	26
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	26
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	26
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	27
2.4.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	28
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	30
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	30
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	31
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	32
4. CONCLUSION	35

GLOSSAIRE

µg/m³ micro gramme par mètre cube

ng/m³ nano gramme par mètre cube

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

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

CO₂ Dioxyde de carbone

NO Monoxyde d'azote

NO₂ Dioxyde d'azote

NO_x (NO+NO₂) Oxydes d'azote

PM₁₀ Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

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

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

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

Les résultats présentés dans ce rapport sont à l'heure locale.

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

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

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

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

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

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

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

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

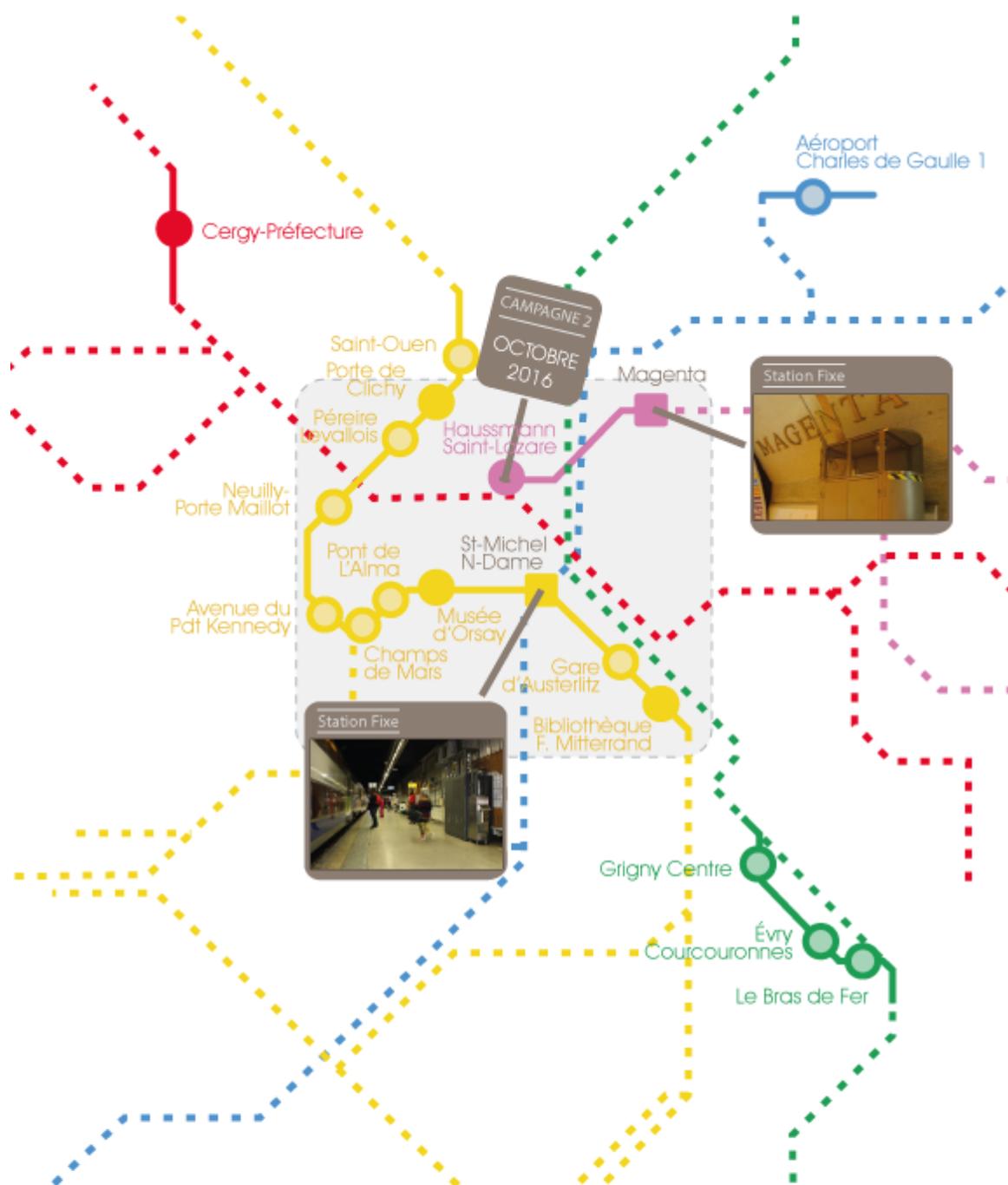
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules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

C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de Hausmann-Saint-Lazare en octobre 2016, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

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

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

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



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

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

Paris intra muros ■



Figure 1 - Localisation de la gare étudiée et des deux stations fixes (Magenta depuis janvier 2016 et Saint-Michel-Notre-Dame depuis septembre 2016).

1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare de Haussmann-Saint-Lazare, sur le RER E (Haussmann-Saint-Lazare/Chelles-Gournay – Tournan), est concernée par le programme de partenariat.

Cette gare est de configuration multiple, c'est-à-dire avec des correspondances. D'autres stations ou gares proches y sont connectées par des couloirs : station Auber (RER A), gare Saint-Lazare (lignes J et L et trains-TER et Intercités), stations de métro Havre-Caumartin (lignes 3 et 9), Opéra (lignes 3, 7 et 8), Saint-Augustin (lignes 9) et Saint-Lazare (lignes 3, 12, 13 et 14). Cette gare est divisée en deux pôles : Haussmann, à l'est (86 rue Saint-Lazare, Paris IX^{ème}) et Saint-Lazare, à l'ouest (angle de la rue du Havre et de la rue de l'Isly, Paris IX^{ème}).

La gare Saint Lazare est aérienne, mais la gare RER de Haussmann-Saint-Lazare est souterraine, à une grande profondeur. Cette gare bénéficie d'un système de ventilation mécanique en place. Tous les éléments techniques détaillés sur la gare (matériel roulant, etc.) sont présentés en ANNEXE 1.

Le nombre de voyageurs montant en gare de Haussmann-Saint-Lazare (RER E) est de 78 363 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Haussmann-Saint-Lazare (2 sens confondus) est de 407 les jours ouvrés (jours JOB), 388 les samedis et les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai 32 (Terminus).

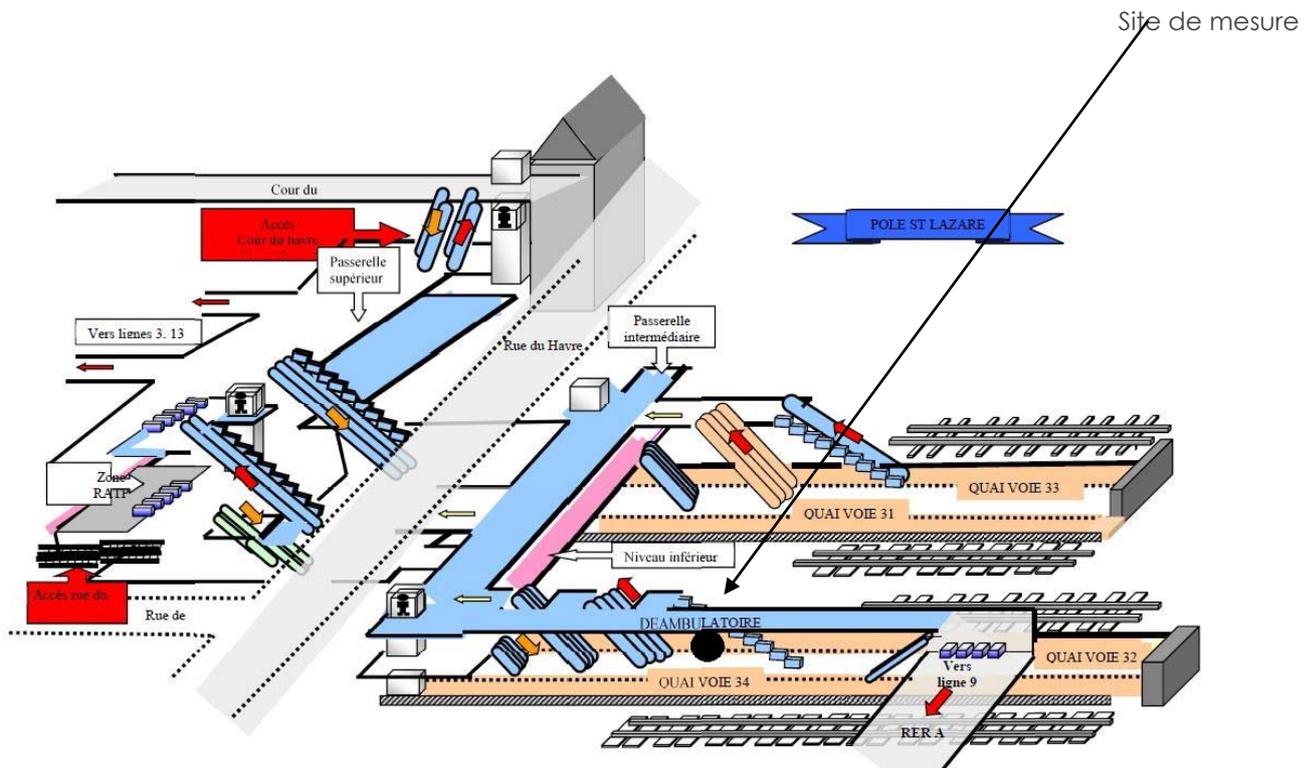


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Haussmann-Saint-Lazare, ligne RER E, quai 32), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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

Pour rappel, des mesures en particules PM_{10} , $PM_{2.5}$ et en métaux, ainsi que des relevés en CO_2 , humidité et température ont été réalisés à cette station.

1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de pollution atmosphérique à la gare de Haussmann-Saint-Lazare ont été réalisées pendant 3 semaines, du **03/10/2016 au 23/10/2016**. Cette durée a été choisie afin d'avoir suffisamment de données, d'une part, pour assurer la robustesse des statistiques et, d'autre part, pour rencontrer potentiellement différentes conditions météorologiques et évaluer l'impact éventuel de l'air extérieur sur les niveaux sur les quais.

2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE

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

Les niveaux observés sur le quai dans la gare de Haussmann-Saint-Lazare sont comparés aux observations des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame).

2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI

Les principaux résultats statistiques (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau suivant, pour la gare de Haussmann-Saint-Lazare et les gares de référence, sur la même période (03/10/2016 – 23/10/2016).

Statistiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10 (particules fines)			PM2.5 (particules très fines)		
	Gare Haussmann-Saint-Lazare	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Haussmann-Saint-Lazare	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	2	12	5	3	2	5
Percentile 25 (P25)	15	79	38	9	28	17
Médiane ou Percentile 50	20	110	55	12	37	23
Moyenne	21	107	51	13	37	22
Percentile 75 (P75)	25	138	66	17	45	28
Maximum horaire	53	241	107	41	112	46
% de données horaires valides	94	89	99	96	94	99

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Haussmann-Saint-Lazare, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

Les niveaux moyens en PM_{10} relevés en gare de Haussmann-Saint-Lazare sont très inférieurs aux valeurs enregistrées aux deux stations de référence (Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta). Tous les paramètres statistiques (médiane, moyenne, percentiles) y sont largement inférieurs, excepté le minimum horaire, équivalent à Haussmann-Saint-Lazare et Magenta.

Les éléments statistiques en $\text{PM}_{2.5}$ à la Gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare sont également inférieurs à ceux de la station de référence de Magenta (niveaux doubles à cette station) et par conséquent à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, station qui enregistre les plus fortes teneurs parmi ces 3 stations.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel et Magenta, est présentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches.

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

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare montre une répartition « équilibrée » des mesures. 50 % des données horaires sont comprises entre 15 et 25 µg/m³, pour une moyenne de 21 µg/m³ et une médiane à 20 µg/m³. Le maximum atteint à Haussmann-Saint-Lazare est de 53 µg/m³ le 12/10/16 à 11h (heure de pointe du matin).

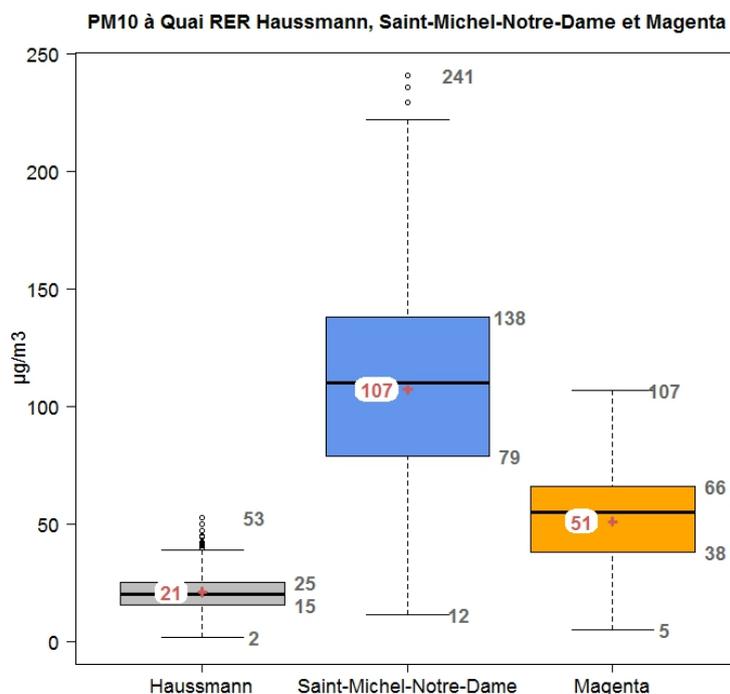


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 03/10/2016 au 23/10/2016).

Les concentrations en PM₁₀ à la Gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare sont largement inférieures à celles de la gare Magenta et par conséquent Saint-Michel-Notre-Dame, ceci pour tous les paramètres statistiques. La moyenne à Haussmann-Saint-Lazare est de 21 µg/m³ sur la période de mesure, contre 51 µg/m³ à Magenta (et 107 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame). Le maximum horaire enregistré à Haussmann-Saint-Lazare est de 53 µg/m³, contre 107 µg/m³ à Magenta (et 241 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame).

Les résultats plus proches entre les gares de Haussmann-Saint-Lazare et de Magenta s'expliquent par une activité voisine dans ces deux gares : il s'agit de deux gares situées sur la même ligne RER E, qui se suivent et qui datent de la même époque. La desserte de ces deux gares est proche (407 circulant les jours ouvrés JOB à Haussmann-Saint-Lazare pendant la campagne de mesure, 432

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare est de 21 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en particules PM_{10} pendant la campagne et de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $\text{PM}_{2.5}$.

Ces niveaux moyens en particules PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$ sont largement inférieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés en PM_{10} sur la même période) et dans une moindre proportion à ceux de la station Magenta (51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés en PM_{10} sur la même période).

2.2 VARIABILITE TEMPORELLE

2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE

2.2.1.1. PARTICULES PM_{10}

Les relevés horaires des 3 stations sont présentés à la Figure 5. Les fluctuations à l'échelle horaire entre les concentrations de la journée et de la nuit en gare de Haussmann-Saint-Lazare sont moins importantes qu'aux stations de référence. Les niveaux nocturnes sont homogènes sur les 3 gares.

La fluctuation horaire des niveaux observée s'explique par la fréquentation de la gare, aussi bien en termes de trains que de voyageurs : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et de la remise en suspension, non présentes la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à Haussmann-Saint-Lazare, les teneurs atteignent 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en journée, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le croisement entre les niveaux observés et le nombre de trains en circulation est présenté au paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.

Aucun pic nocturne, dû à des travaux, n'a été enregistré pendant la campagne, que ce soit à la gare de Haussmann-Saint-Lazare ou sur les stations de référence.

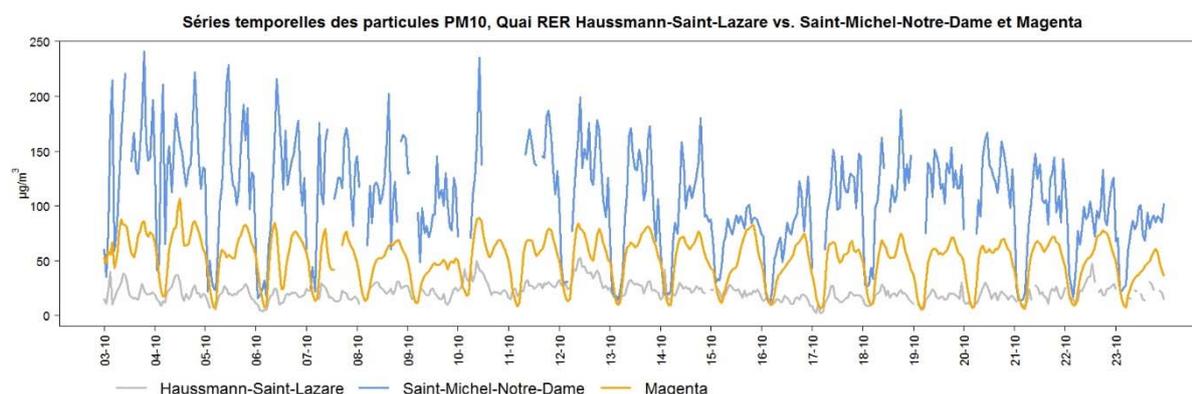


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM_{10} , en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 03/10/2016 au 23/10/2016).

2.2.1.2. PARTICULES $\text{PM}_{2.5}$

Les relevés horaires, présentés en Figure 6, montrent, comme pour les PM_{10} , de faibles fluctuations entre la journée et la nuit en gare de Haussmann-Saint-Lazare. En journée, les teneurs atteignent en moyenne 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors que la nuit, les niveaux sont inférieurs à 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette différence s'explique par le nombre de trains en circulation dans la gare : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et de la remise en suspension, non présentes la nuit lorsque

toute activité dans la gare est arrêtée (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

Les teneurs à Hausmann-Saint-Lazare sont légèrement en hausse en milieu de campagne (entre le 8 et le 15/10/2016), ainsi qu'en fin de période, en cohérence avec les observations en air extérieur (cf. Figure 20).

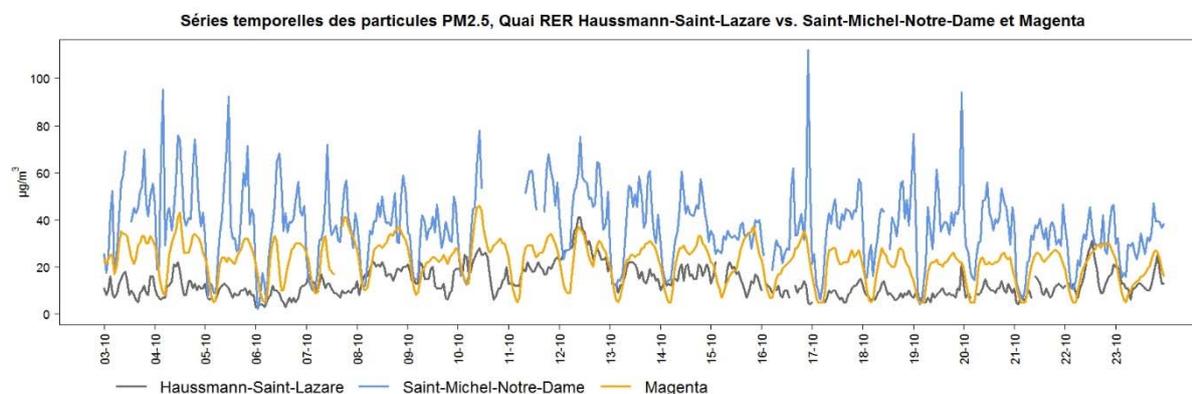
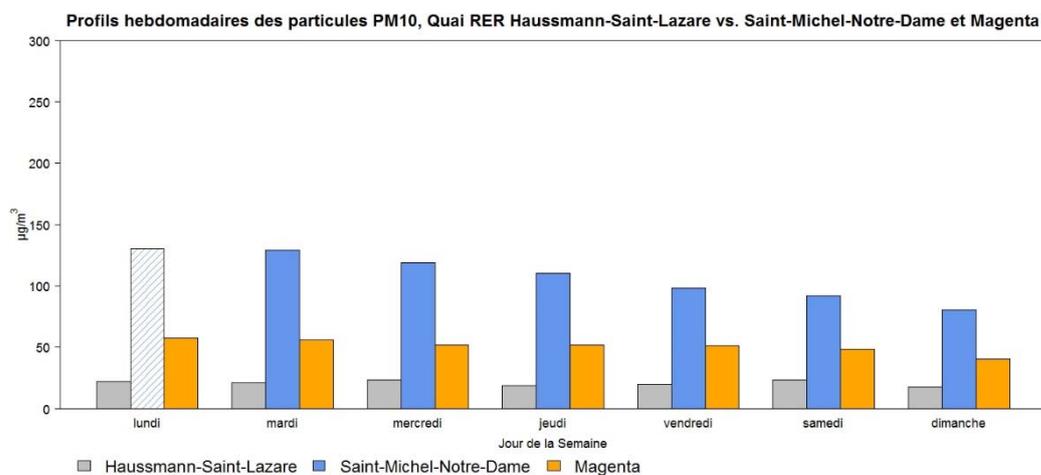


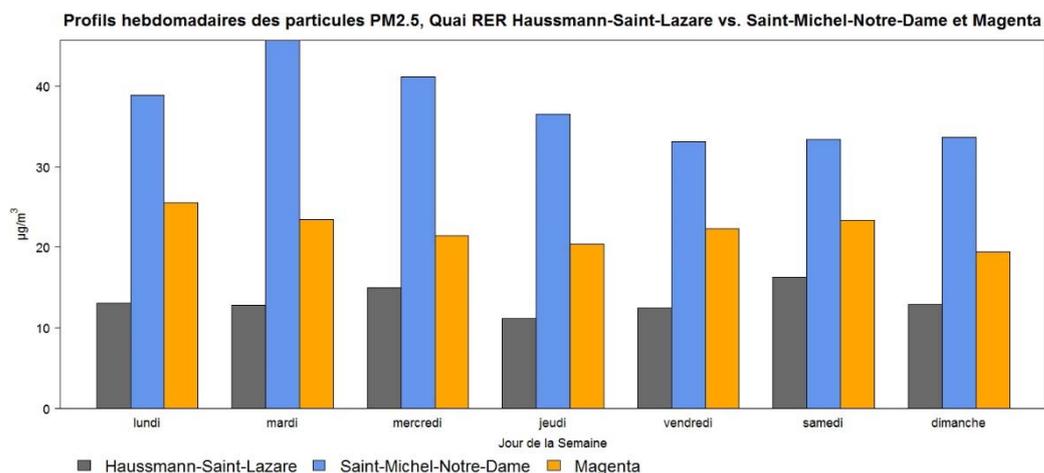
Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ (gare RER E de Hausmann-Saint-Lazare et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 03/10/2016 au 23/10/2016).

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Hausmann-Saint-Lazare sont présentés à la Figure 7 pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Hausmann-Saint-Lazare et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare, période du 03/10/2016 au 23/10/2016, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

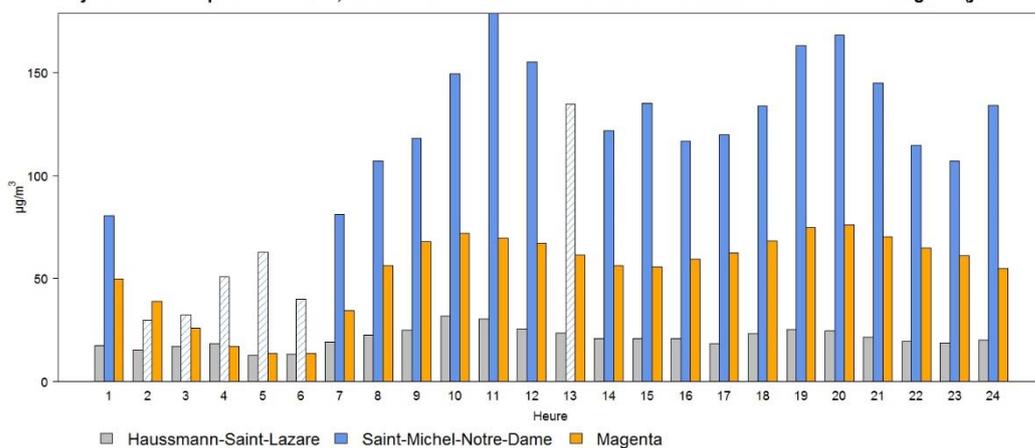
Les niveaux moyens en particules sont plutôt faibles et stables les jours ouvrés en gare de Haussmann-Saint-Lazare (autour de 20 µg/m³ en moyenne sur une journée pour les PM₁₀, 13 µg/m³ en moyenne pour les PM_{2.5}). Ces teneurs restent du même ordre de grandeur les samedis et dimanches par rapport à la semaine pour le PM₁₀, ce qui n'est pas le cas aux stations de référence (baisse des teneurs l'ordre de 25% les week-ends par rapport aux jours ouvrés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, diminution de 20% en gare de Magenta). Pour les PM_{2.5}, la baisse des niveaux entre la semaine et le week-end est de 15% en gare de Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame, la diminution est moindre à Magenta (9%). Ce résultat s'explique par les teneurs moyennes plus faibles en gare de Haussmann-Saint-Lazare. Le lien avec le nombre de trains en circulation est présenté ultérieurement (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

2.2.2. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 8, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés. Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} ont des profils journaliers proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules le matin (10 ou 11h) et le soir (19h - 20h). En heure de pointe, les niveaux sont en moyenne de 30 µg/m³ pour les PM₁₀ et 18 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare de Haussmann-Saint-Lazare. Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 12 µg/m³ pour les PM₁₀ et environ 10 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

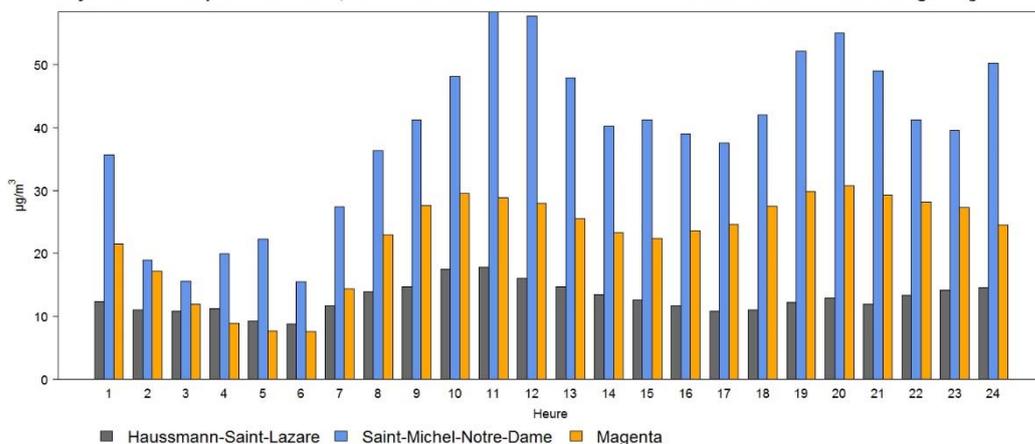
Ces profils journaliers en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) fluctuent en fonction du trafic ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est également maximale (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). L'amplitude des variations à Haussmann-Saint-Lazare (maximum horaire/minimum horaire) est voisine de celle de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM₁₀ (entre 2.2 et 2.7), ce rapport (maximum horaire/minimum horaire) étant à 4 à Magenta. Pour les PM_{2.5}, le rapport (maximum horaire/minimum horaire) est de l'ordre de 2 à Haussmann-Saint-Lazare et Saint-Michel-Notre-Dame, contre 4 à Magenta.

Profils journaliers des particules PM10, Quai RER Haussmann-Saint-Lazare vs. Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta (jours ouvrés)



(a)

Profils journaliers des particules PM2.5, Quai RER Haussmann-Saint-Lazare vs. Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta (jours ouvrés)

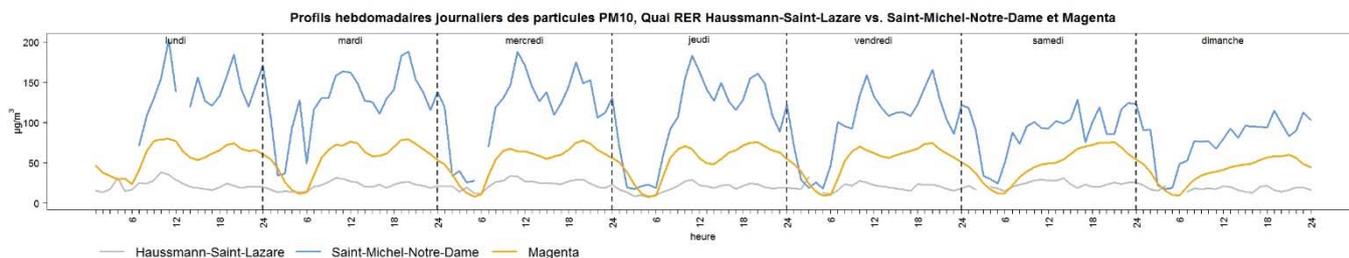


(b)

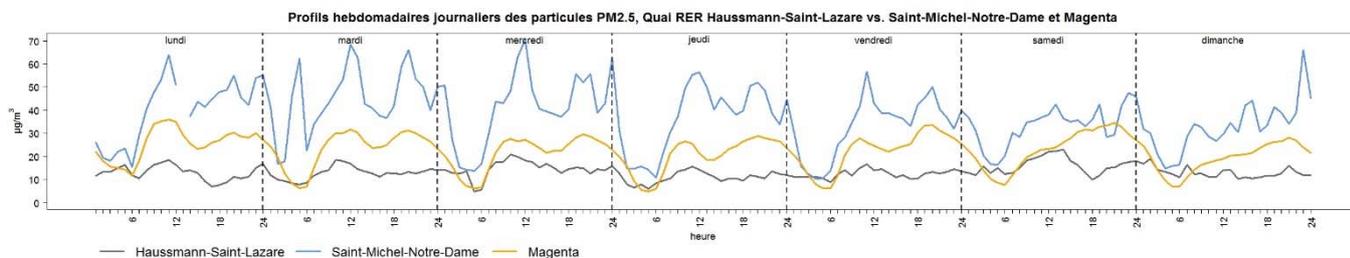
Figure 8 – Évolution des profils des concentrations horaires de PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare, période du 03/10/2016 au 23/10/2016 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

2.2.3.2. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne sur les trois semaines de la campagne) est présenté en Figure 9. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM₁₀ et des PM_{2.5}, aussi en bien en gare de Haussmann-Saint-Lazare qu'aux stations de référence. Ils confirment les faibles variations (fluctuations sur une même journée et différence entre semaine et week-end) en gare de Haussmann-Saint-Lazare, comparativement aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaire de PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) et à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

Etant donné les faibles concentrations en particules enregistrées en gare de Haussmann-Saint-Lazare, les variations temporelles sont limitées dans cette gare comparativement aux stations de référence.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs stables les samedis et dimanches comparativement aux jours de semaine. A l'inverse, aux stations de référence, une baisse des concentrations le week-end par rapport aux jours ouvrés est observée pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}, ceci en lien avec la diminution de fréquentation.

Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Haussmann-Saint-Lazare, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 12 µg/m³ en PM₁₀ et 10 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque le nombre de trains en circulation est maximal, le matin vers 10 - 11h et le soir vers 19 - 20h. Les concentrations sont alors de 30 µg/m³ en moyenne sur une heure en PM₁₀ et 18 µg/m³ en PM_{2.5}.

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées de cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes souterraines, notamment des systèmes de freinage³, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de Haussmann-Saint-Lazare chaque jour ouvré pendant une semaine (du 3 au 7 octobre). Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h. Des mesures à la station de Saint-Michel-Notre-Dame ont été réalisées en parallèle, selon le même protocole.

Dix métaux ont été étudiés, à savoir : Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature³.

³ 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.

2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Le graphique suivant (Figure 10) montre la part de métaux enregistrée dans les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure, en gare de Haussmann-Saint-Lazare et de Saint-Michel-Notre-Dame.

En gare de Haussmann-Saint-Lazare, la concentration en métaux a été stable pendant la semaine de prélèvement, de l'ordre de 4 µg/m³. En comparaison avec la concentration des particules PM₁₀ enregistrée les mêmes journées, la part des métaux varie de 13% (le 03/10/2016) à 24% (stable les autres jours de mesure).

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la somme des métaux a varié entre 45 µg/m³ (le 04/10/16) et 63 µg/m³ (le 03/10/16). Ces concentrations sont beaucoup plus élevées qu'en gare de Haussmann-Saint-Lazare, en lien avec des teneurs en particules également plus importantes. La part de métaux est relativement stable dans la semaine à Saint-Michel-Notre-Dame : 37 % en moyenne avec des variations journalières entre 31 % (le 04/10/16) et 41 % (le 03/10/16).

Les niveaux en métaux à Haussmann-Saint-Lazare sont ainsi nettement plus faibles qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, que ce soit en concentrations ou en proportions dans les particules.

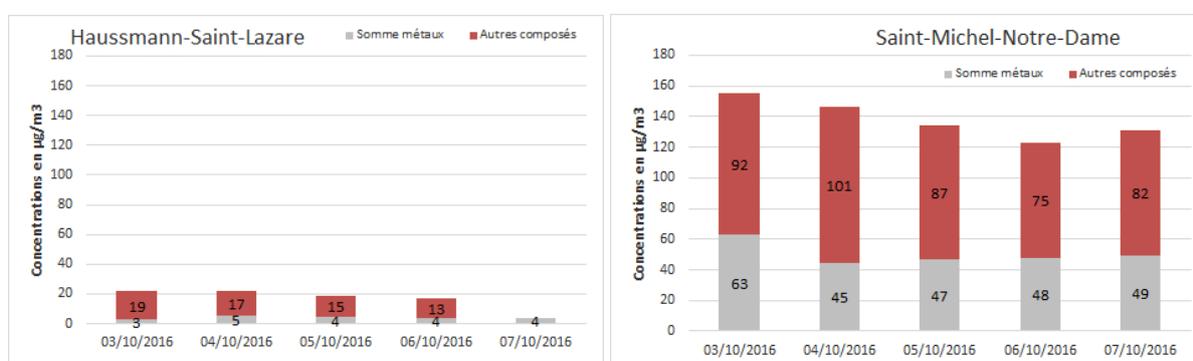


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement, à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 07/10/2016.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 03 et le 07/10/2016, aussi bien en gare de Haussmann-Saint-Lazare qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4. Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure à chaque gare, mais une répartition différente entre les deux gares de Haussmann-Saint-Lazare et de Saint-Michel-Notre-Dame.

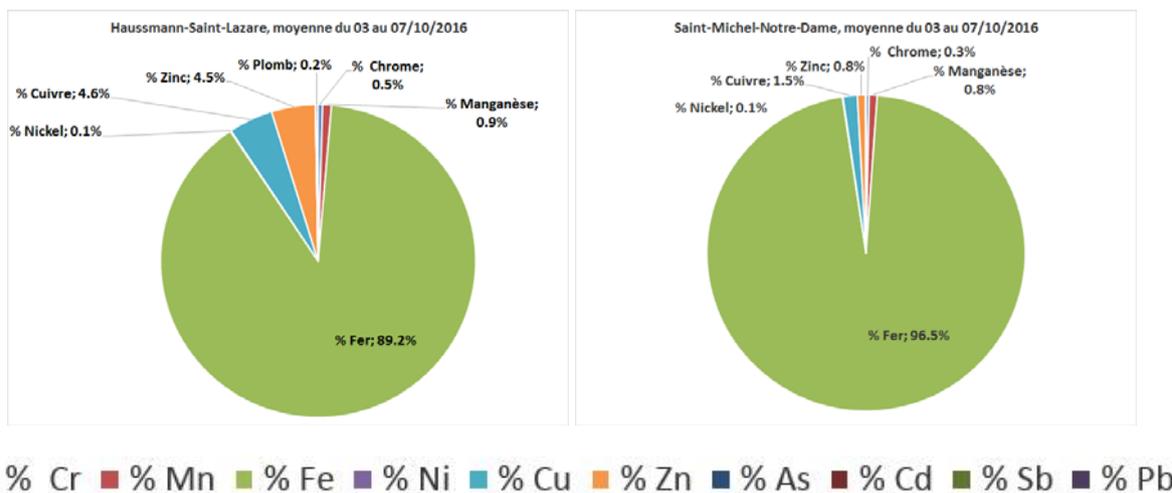


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 03/10/2016 au 07/10/2016, en gare de Haussmann-Saint-Lazare et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente 97 % des métaux mesurés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (chiffre stable par rapport aux mesures du mois septembre, en parallèle des mesures réalisées en gare d'Austerlitz), alors qu'en gare de Haussmann-Saint-Lazare, le Fer représente 89% des métaux.

En dehors du fer, les deux métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont le Zinc et le Cuivre, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 4.6 % pour le **Cuivre** en gare de Haussmann-Saint-Lazare (1.5 % à Saint-Michel-Notre-Dame) et 4.5 % pour le **Zinc** (0.8 % à la station de référence). Le Cuivre et le Zinc sont présents dans des proportions équivalentes à Haussmann-Saint-Lazare et différentes de celles de Saint-Michel-Notre-Dame. **La part du Cuivre et du Zinc dans les métaux est plus élevée à Haussmann-Saint-Lazare qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.**

Le **Manganèse** représente moins de 1% des métaux (proportion équivalente sur les deux sites). Suivent ensuite le **Chrome** (0.5%) et le **Nickel** (0.1%), dans des proportions proches sur les deux sites. Le Plomb est présent à Haussmann-Saint-Lazare (0.2 %) et négligeable à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations d'Arsenic, de Cadmium, d'Antimoine et de Plomb sont négligeables par rapport à celles des métaux précédemment évoqués, ceci à Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame.

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Haussmann-Saint-Lazare et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium. **La part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure, à l'exception du Zinc en proportion légèrement plus élevée le 06/10/2016 à Haussmann-Saint-Lazare.**

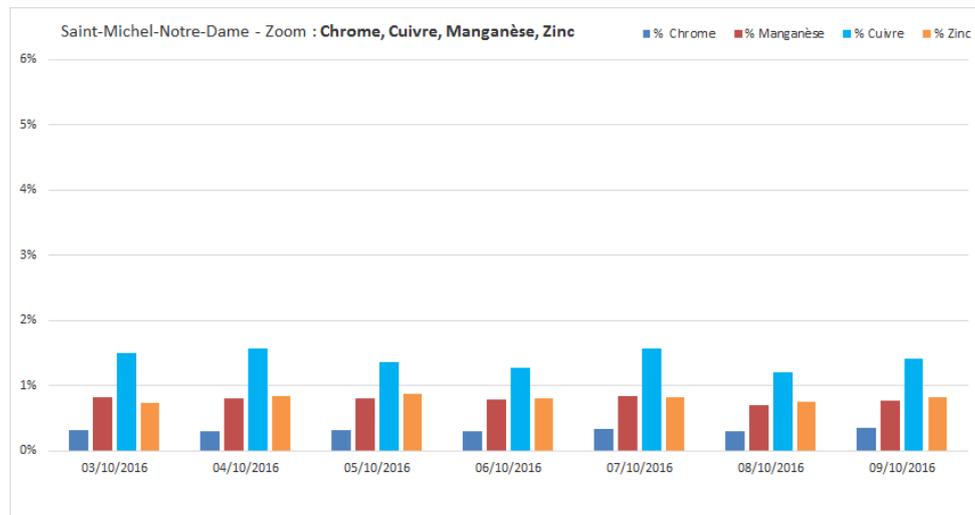
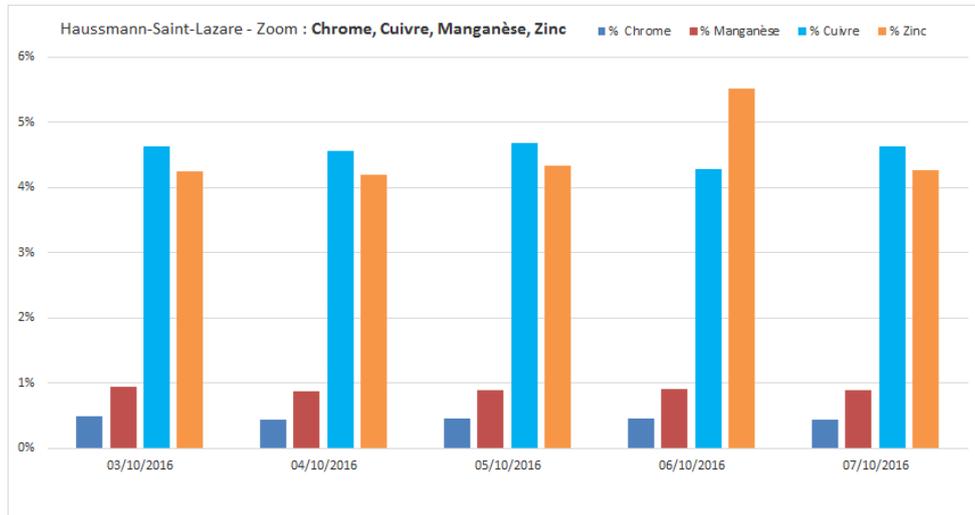
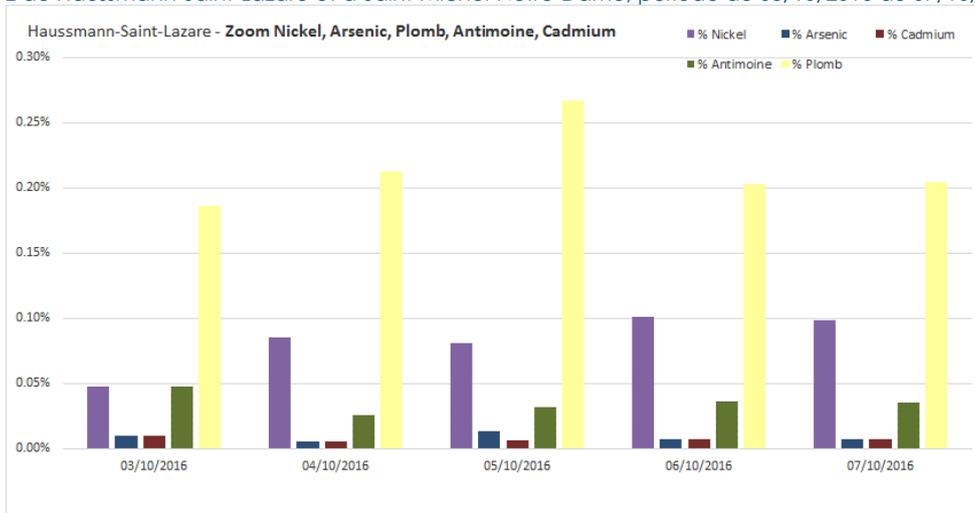


Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER E de Hausmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 07/10/2016.



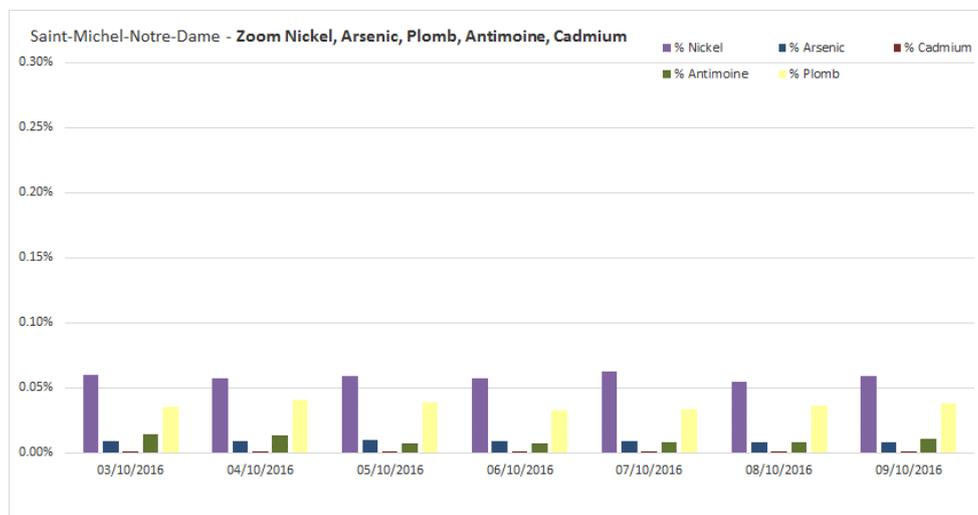


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 07/10/2016.

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

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

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 freinage et par conséquent il peut être émis lors du freinage.

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

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

Les différences observées entre les deux gares peuvent s'expliquer par la différence en termes de ligne de RER : à Haussmann-Saint-Lazare, la ligne de RER E, plus récente que la ligne RER C à Saint-Michel-Notre-Dame, peut présenter des différences en ce qui concerne les câbles d'alimentation, la composition des semelles de freinage, la composition des rails par rapport à la ligne du RER C.

2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 14) présente les concentrations observées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Haussmann-Saint-Lazare et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame. Les teneurs en **Fer** sont très différentes entre les deux sites de mesure : en moyenne de

3.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Haussmann-Saint-Lazare, les niveaux enregistrés atteignent 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la même période à Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux cohérents avec ceux mesurés en septembre 2016).

Ces niveaux sont en lien direct avec les concentrations en particules PM_{10} observées sur chacun des deux sites (cf. Figure 10), et au fait que les teneurs en métaux sont plus faibles à Haussmann-Saint-Lazare qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les teneurs ont été stables les 5 jours de mesure à Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux plus élevés uniquement le 03/10/2016).

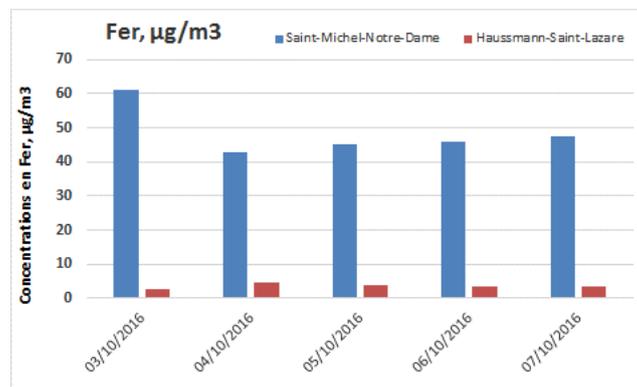


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 07/10/2016.

Quatre métaux sont présents à des concentrations de l'ordre de quelques dizaines de ng/m^3 à quelques centaines de ng/m^3 . Il s'agit du **Cuivre et du Zinc, et dans des proportions moindres, du Chrome et du Manganèse**. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 132 à 239 ng/m^3 à Haussmann-Saint-Lazare, les résultats à Saint-Michel-Notre-Dame étant 3 fois plus élevés (valeurs journalières entre 528 et 946 ng/m^3).

Les teneurs journalières en **Zinc** à Haussmann-Saint-Lazare sont du même ordre de grandeur que celles du Cuivre : les niveaux journaliers varient entre 121 et 220 ng/m^3 . Ces valeurs correspondent à la moitié des relevés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux entre 284 et 468 ng/m^3).

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 27 et 46 ng/m^3 à Haussmann-Saint-Lazare, contre 360 et 520 ng/m^3 à Saint-Michel-Notre-Dame.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** étaient moins importantes, entre 14 à 23 ng/m^3 à Haussmann-Saint-Lazare, soit dix fois moins importantes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne à 160 ng/m^3).

Les faibles concentrations en métaux enregistrées à Haussmann-Saint-Lazare sont cohérentes avec les relevés en particules PM_{10} sur cette même période. Pour le Nickel et le Plomb, les relevés journaliers à Haussmann-Saint-Lazare sont stables sur la semaine de mesure, inférieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.

- Entre 1 et 4.5 ng/m^3 pour le Nickel,
- Entre 5 et 11 ng/m^3 pour le Plomb.

Pour le Cadmium, l'Antimoine et l'Arsenic, les teneurs journalières sont inférieures à la limite de quantification.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare d'Hausmann-Saint-Lazare varie de 13 à 24% sur la semaine de mesure. Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 89 % des métaux mesurés à Hausmann-Saint-Lazare, contre 97 % à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite le **Zinc** et le **Cuivre**, dans des proportions identiques à Hausmann-Saint-Lazare (4.5 %), contre respectivement 0.8 et 1.5 % à la station de référence. Le **Manganèse** représente 0.8 % des métaux et le **Chrome** 0.3%. La part du Plomb dans les prélèvements est négligeable par rapport aux métaux précédemment évoqués. Les teneurs en Arsenic, Cadmium et Antimoine sont inférieures à la limite de quantification.

La part des différents composés varie peu pendant la semaine de mesure.

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

La part relative des PM_{2.5} et des PM₁₀ peut servir à identifier des sources de particules différentes.

2.4.1. NIVEAUX MOYENS

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

Le ratio entre particules très fines (PM_{2.5}) et particules fines (PM₁₀) est présenté à la Figure 15. En moyenne, en gare de Hausmann-Saint-Lazare, le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ est de 0.63. A titre de comparaison, ce ratio est de 0.46 à Magenta et 0.39 à Saint-Michel-Notre-Dame. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0.7.

La raison de cet écart sera creusée lorsque les résultats de l'ensemble des campagnes seront disponibles. Une première raison est peut-être liée au fait que les concentrations en PM₁₀ sont plus faibles à Hausmann-Saint-Lazare, en lien avec 2 fois moins de freinage.

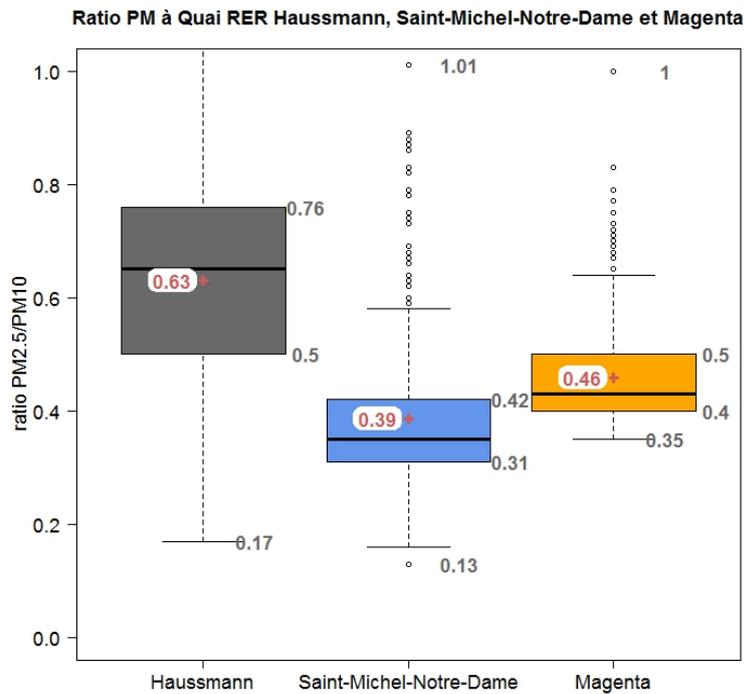


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM_{2.5}/PM₁₀, à la Gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires, présentées à la Figure 16, montrent une stabilité des valeurs toute la semaine, y compris les samedis/dimanches, aussi bien en gare de Haussmann-Saint-Lazare qu'aux stations de référence. Cela s'explique par des sources stables en PM_{2.5} et PM₁₀, quelle que soit la journée. Une légère tendance à la hausse des ratios les week-ends peut être observée à Haussmann-Saint-Lazare (influence de l'air extérieur).

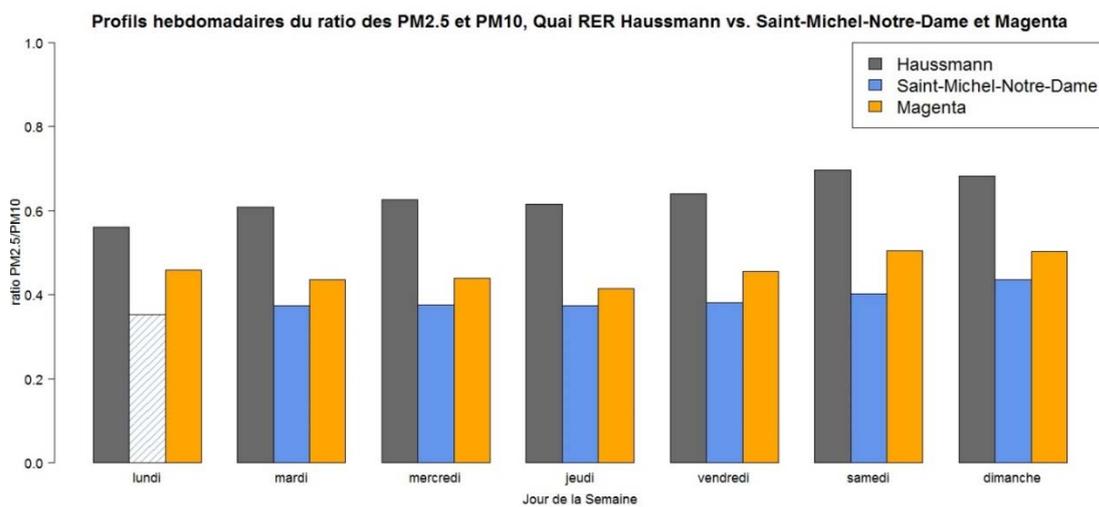


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 23/10/2016. En hachuré, données disponibles < 75%

2.4.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17. Les trois gares présentent un profil spécifique.

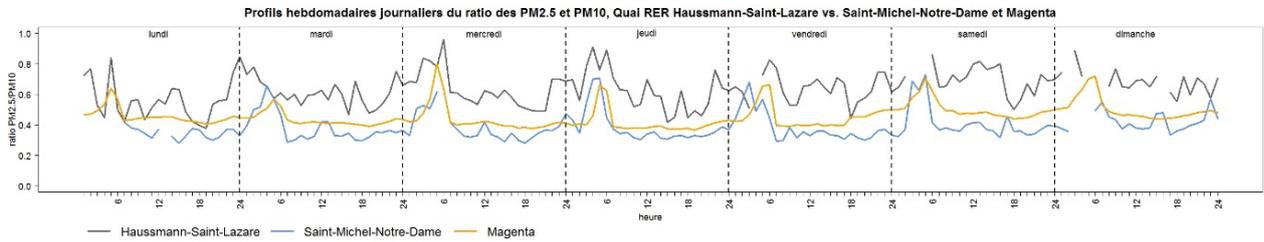


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER E de Hausmann-Saint-Lazare et aux stations de référence, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

A Hausmann-Saint-Lazare, une fluctuation importante des ratios horaires est observée et les ratios sont toujours supérieurs à ceux des stations de référence. Les ratios atteignent même en moyenne 0.7 entre le 08 et le 16/10/2016. La station de référence Saint-Michel-Notre-Dame présente les ratios les plus faibles. Des pics horaires ponctuels du ratio ont été observés la nuit. A Magenta, les ratios sont systématiquement supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (excepté lors des pics nocturnes de Saint-Michel-Notre-Dame) et moins variables. Un pic quotidien des ratios est observé en début d'ouverture de la gare (léger décalage temporel par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame).

Ces différences par rapport aux stations de référence s'expliquent en partie, par des teneurs en $PM_{2.5}$ plus importantes sur la période du 08 au 16/10/2016 que les autres jours, en lien probablement avec les niveaux plus élevés en air extérieur (cf. chapitre 3.1).

L'étude des profils moyens journaliers est présentée à la Figure 18. En gare de Hausmann-Saint-Lazare, les ratios varient tout au long de la journée, de 0.5 (minimum aux heures creuses de l'après-midi) à 0.7 (maximum la nuit de 22h à 6h). A l'inverse, une certaine stabilité des ratios est observée en journée aux stations de référence (de 7h à 1h), autour de 0.4. La nuit (entre 2h et 6h, lors de la fermeture au public), les ratios sont de l'ordre de 0.7. Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules PM_{10} et les $PM_{2.5}$, peut également expliquer en partie ces différences.

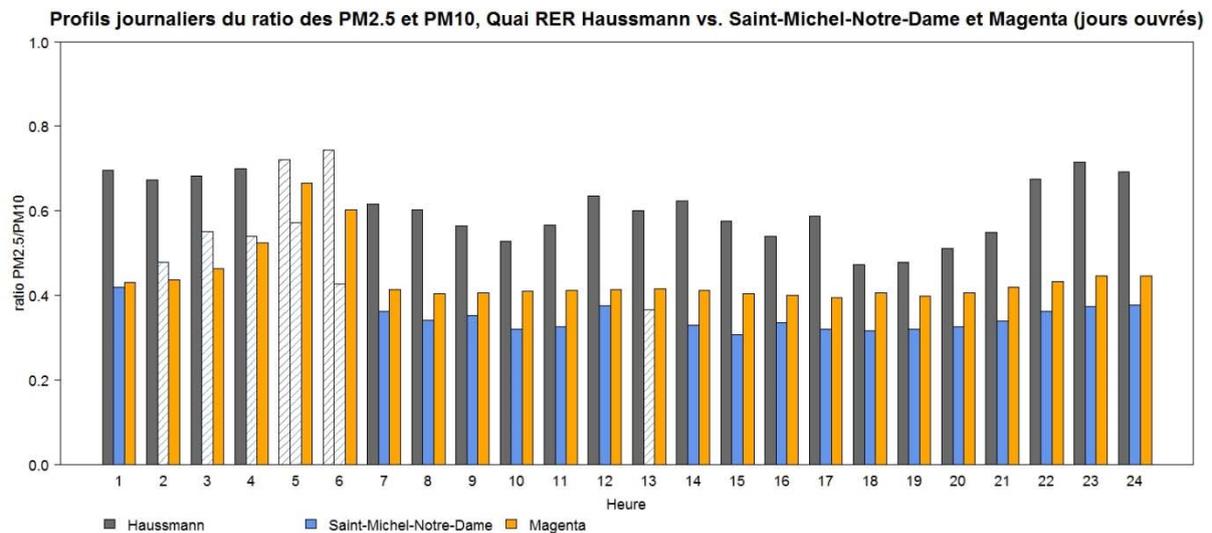


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER E de Hausmann-Saint-Lazare et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 03/10/2016 au 23/10/2016 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Les particules mesurées en gare d'Hausmann-Saint-Lazare sont essentiellement des particules fines $PM_{2.5}$. Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ atteint 0.63 à Hausmann-Saint-Lazare, contre 0.39 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0.46 à Magenta.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est relativement stable à l'échelle hebdomadaire sur les trois gares, avec une tendance légère à la hausse le week-end à Hausmann-Saint-Lazare. Une hausse du ratio en gare d'Hausmann-Saint-Lazare est observée en milieu de campagne, en lien avec des teneurs en $PM_{2.5}$ plus élevées sur cette période. A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent à Hausmann-Saint-Lazare, contrairement au profil des gares de référence. Le profil est propre à chaque gare.

3. FACTEURS D'INFLUENCE

3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR

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

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

Pendant cette campagne de mesure, les paramètres météorologiques enregistrés ont été conformes à ceux observés habituellement au cours d'un mois d'octobre, avec toutefois un ensoleillement excédentaire (+20 %) et un déficit de pluviométrie (-25 %). Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁴, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») majoritairement « faible » pendant la campagne de mesure (11 jours, soit 71% du temps). L'indice « moyen » a été observé les autres jours (pendant 6 jours, soit 29% du temps). Aucun épisode de pollution (air extérieur) n'a été enregistré pendant les mesures.



Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour le mois d'octobre 2016.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Haussmann-Saint-Lazare avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée à la Figure 20, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}. Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à

⁴ http://www.airqualitynow.eu/fr/about_indices_definition.php : A travers une échelle de 5 couleurs allant du vert au rouge en passant par l'orange (5 classes et 5 qualificatifs, qualité de l'air " très faible " à " très élevée "), l'indice CITEAIR informe sur la qualité de l'air en situation de fond à travers un indice général. Les polluants pris en compte sont les polluants les plus problématiques, à savoir le NO₂, les PM₁₀ et l'ozone. Les données de CO, PM_{2.5} et SO₂ sont facultatives.

Hausmann-Saint-Lazare sont liées aux niveaux enregistrés en air extérieur, du fait de la présence d'un système de ventilation, qui insuffle de l'air extérieur sur les quais.

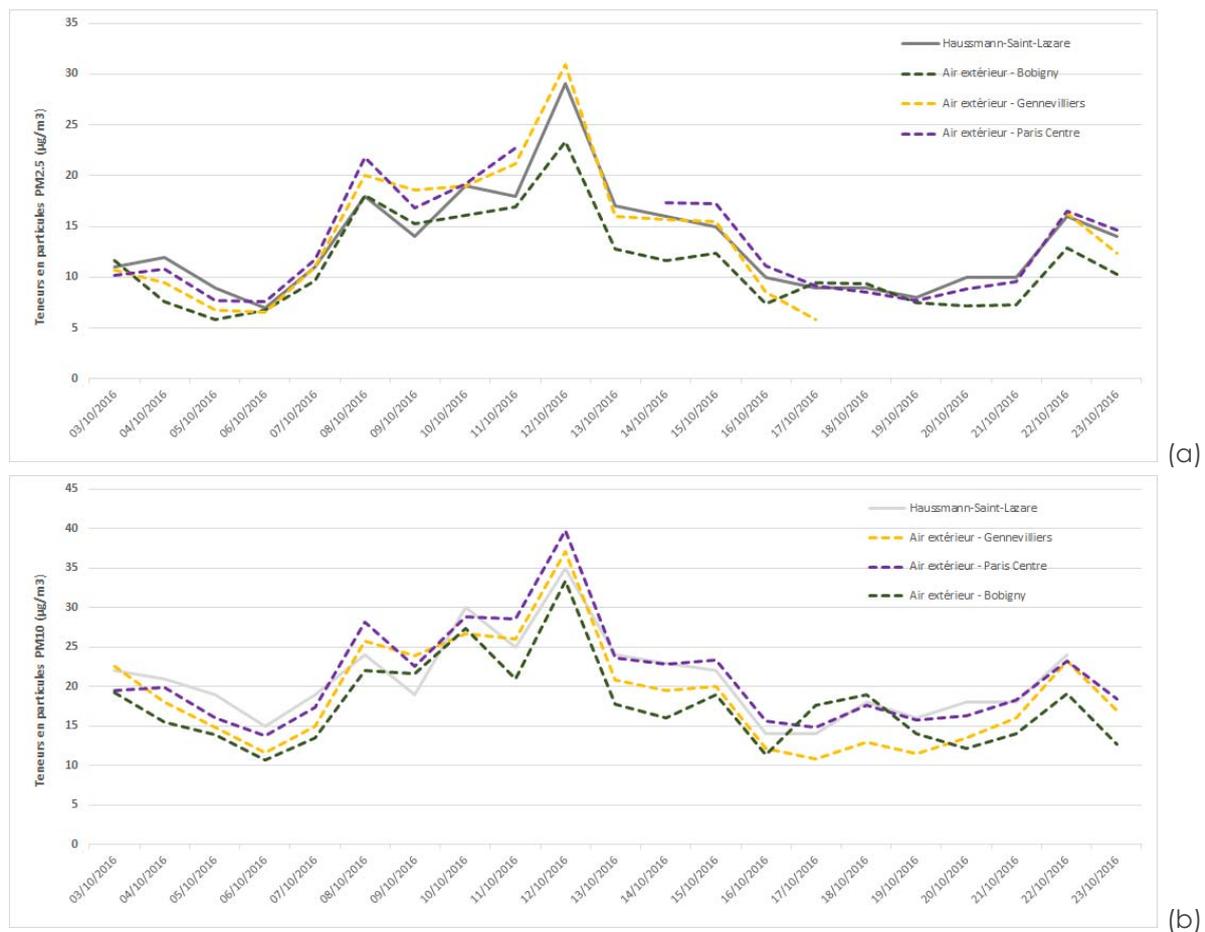


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM_{2.5} (a) et en PM₁₀ (b) en gare de Hausmann-Saint-Lazare et en [air extérieur \(situation de fond\)](#), période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en CO₂, qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources (combustion, respiration humaine). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les relevés horaires sont présentés à la Figure 21. La température moyenne en gare de Hausmann-Saint-Lazare est de 18°C, les relevés horaires ayant varié entre 14 et 23°C (relevés légèrement inférieurs à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, différence qui s'explique d'une part par la plus grande profondeur de la station Hausmann-Saint-Lazare par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame, et d'autre part par le système de ventilation en place). L'humidité relative moyenne en gare de Hausmann-Saint-Lazare est de 52 %, les relevés horaires ayant varié de 35 % à 66 %. Ces relevés sont proches de ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO₂ sont plus fluctuants, ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 470 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 400 ppm (observés la nuit) et 630 ppm (heures de pointe). Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, seuil correspondant à une condition normale d'occupation d'un bâtiment non résidentiel⁵ et par conséquent satisfaisants.

⁵ Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.

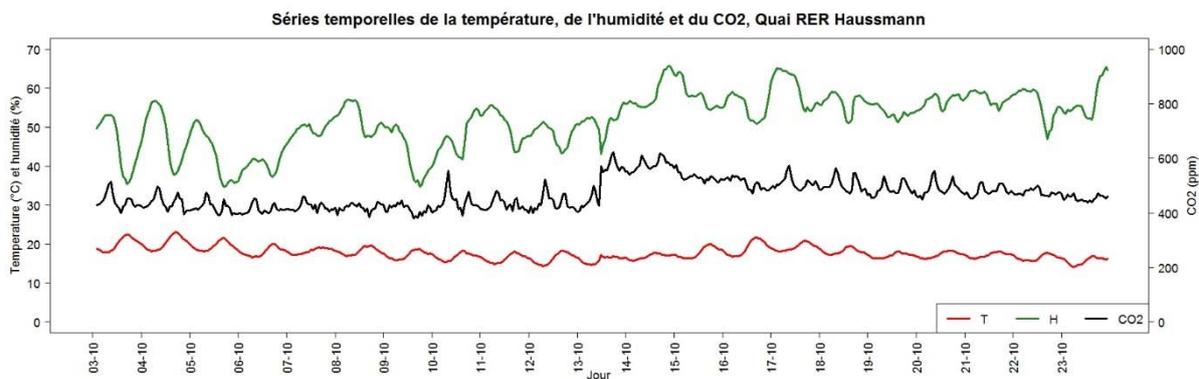


Figure 21 – Relevés horaires dioxyde de carbone (CO₂), de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés (cf. Figure 22) montre effectivement que les teneurs maximales en particules sont observées en même temps que pour le CO₂ (léger décalage le matin), à savoir à 10h le matin et en fin de journée (18-20h).

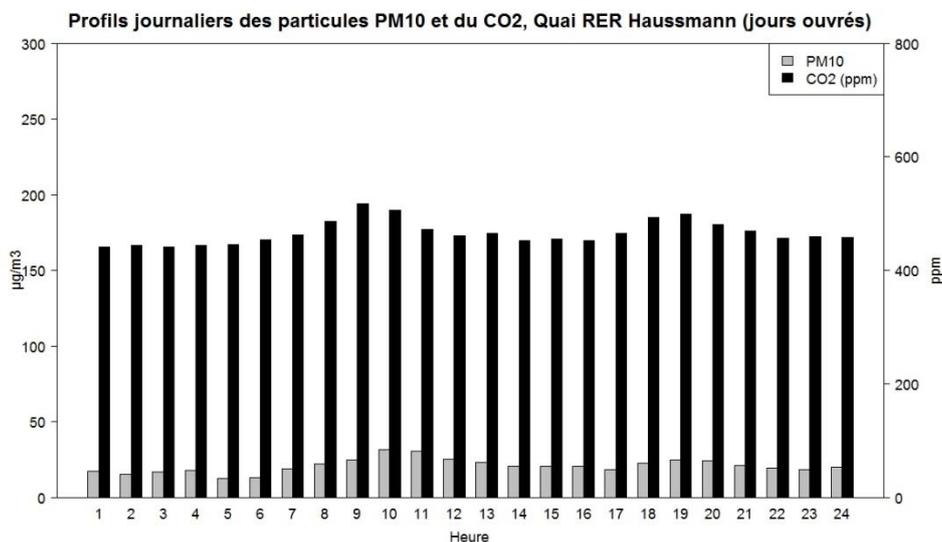


Figure 22 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare, période du 03/10/2016 au 23/10/2016 – [jours ouvrés](#).

3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

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

- Fréquence des trains circulant sur les voies,
- Influence de la ventilation : la gare de Haussmann-Saint-Lazare bénéficie d'une ventilation mécanique contrôlée. Toutefois, à notre connaissance, la ventilation n'a pas été modifiée au cours de la campagne de mesure. Aussi aucune influence de changement de ventilation, au cours de la campagne de mesure, ne peut être étudiée.
- Perturbations sur la circulation des trains : aucune perturbation de grande ampleur n'a été signalée sur la ligne ou dans la gare de Haussmann-Saint-Lazare.

Le nombre de trains circulant en gare de Haussmann-Saint-Lazare (et en gare de Magenta) 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, pendant la campagne de mesure.

En moyenne, les jours ouvrés, 407 trains circulent en gare de Haussmann-Saint-Lazare (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame et 432 en gare de Magenta). Le samedi et le dimanche, ce sont 388 trains qui ont circulé (430 le samedi et 369 le dimanche à Saint-Michel-Notre-Dame, même nombre de trains pour les deux jours à Magenta : 407). Les chiffres sont présentés en Figure 23.

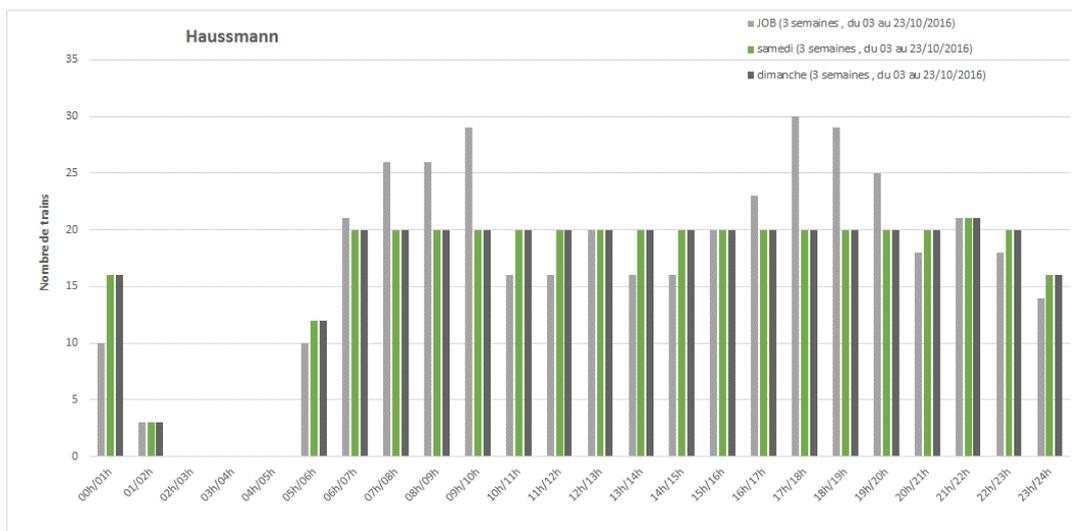


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER E de Hausmann-Saint-Lazare, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 24, pour les jours ouvrés, pour la gare de Hausmann-Saint-Lazare et de Magenta. Le profil des teneurs en particules PM_{10} 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.

Le nombre de trains en circulation en gare de Hausmann-Saint-Lazare est très proche de celui en gare de Magenta (même ligne, stations à suivre), mais les teneurs en particules différentes. Comme cela a été mentionné à plusieurs reprises, la configuration de Hausmann-Saint-Lazare (station Terminus) semble avoir un impact. La volumétrie des gares peut également avoir un impact sur les niveaux de particules mesurés. L'influence de ce paramètre sera étudiée lorsque toutes les campagnes gares auront été réalisées.

Les nombres de voyageurs montant en gare de Hausmann-Saint-Lazare et de Magenta sont très proches, respectivement 78 363 et 78212 (voyageurs par jour, source SNCF : carte des montants 2016), aussi ce paramètre ne peut expliquer la différence de niveaux entre les deux gares.

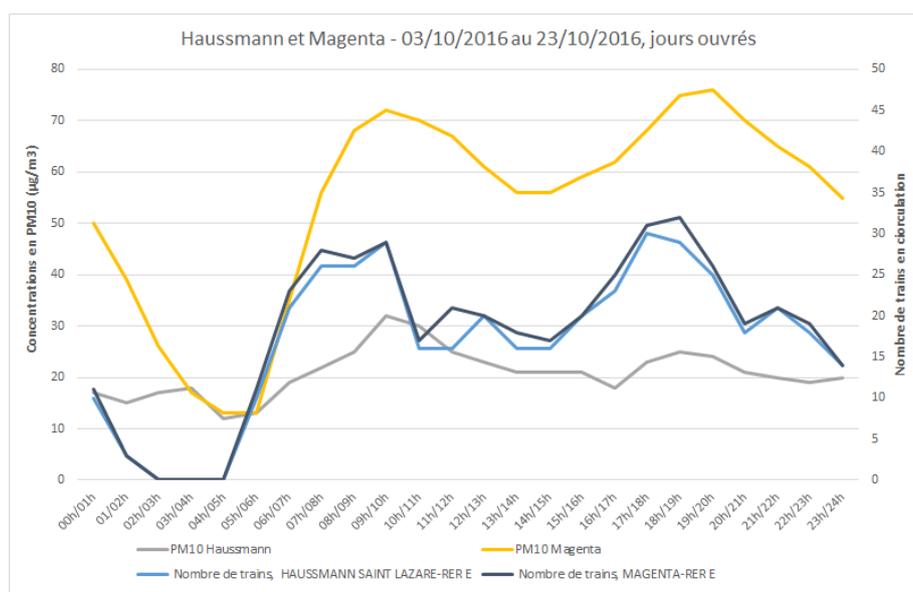


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM_{10} observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER E de Hausmann-Saint-Lazare et à la station de référence Magenta, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules en fonction du jour de la semaine (jours ouvrés, samedi et dimanche) est présenté à la Figure 25.

A Magenta, la diminution du nombre de trains se traduit clairement par une baisse des teneurs en particules (comparaison jours ouvrés/dimanche notamment) : baisse du 6 % du nombre de trains et diminution de 10% des niveaux de PM₁₀. A Haussmann-Saint-Lazare, où les niveaux de particules sont plus faibles, la diminution du nombre de trains en circulation le dimanche par rapport aux jours ouvrés (-5%) se traduit par une baisse de 8 % des teneurs en particules.

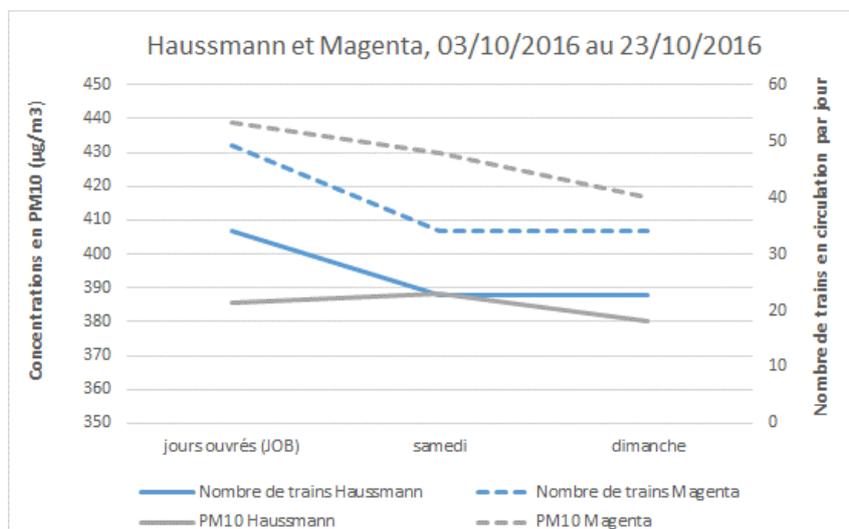


Figure 25 – Teneurs en particules PM₁₀ observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare et de Magenta, période du 03/10/2016 au 23/10/2016.

L'influence de paramètres comme l'air extérieur, la ventilation ou encore des paramètres techniques de la gare d'Haussmann-Saint-Lazare 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 CO₂, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules.
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de Haussmann-Saint-Lazare sont corrélées à celles mesurées en air extérieur, contrairement à ce qui avait été observé en gare d'Austerlitz. La présence d'un système de ventilation peut expliquer en partie ce résultat.
- La configuration en Terminus de la gare de Haussmann-Saint-Lazare semble également avoir un impact sur les niveaux de particules, comparativement à la gare de Magenta. Avec un nombre proche de trains en circulation et de voyageurs, il existe une différence en termes de niveaux de pollution.

4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Haussmann-Saint-Lazare, pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} :

- Les concentrations en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER E en gare de Haussmann-Saint-Lazare, au cours du mois d'octobre 2016 étaient en moyenne de 21 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 53 µg/m³.
- Les concentrations moyennes en particules très fines PM_{2.5} sont de 13 µg/m³, pour un maximum horaire de 41 µg/m³ (maximum atteint au même moment pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}).

Ces concentrations sont très inférieures à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée) et inférieures à celles de Magenta, station qui suit la gare de Haussmann-Saint-Lazare sur la ligne E du RER. La configuration « Terminus » de la gare étudiée explique en partie des teneurs moindres (moins d'émissions au freinage).

Les concentrations de particules en gare de Haussmann sont corrélées avec celles de l'air extérieur, le système de ventilation en place pourrait expliquer ce résultat.

L'analyse complémentaire sur les particules PM₁₀ montre que la concentration totale de tous les métaux mesurés à Haussmann-Saint-Lazare est très inférieure à celle mesurée à Saint-Michel-Notre-Dame. La part des métaux dans les particules PM₁₀ est également plus basse à Haussmann-Saint-Lazare qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. L'analyse confirme la présence de métaux, surtout du Fer. Une proportion plus importante en Cuivre et Zinc à Haussmann-Saint-Lazare par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame a également été mise en évidence. Cela pourrait s'expliquer en partie par la différence de ligne RER suivie, notamment de composition de câbles d'alimentation, de semelles de freinage ou encore de composition des rails.

Ce rapport concerne les résultats de la deuxième campagne de mesure Gare, après celle réalisée en gare RER C d'Austerlitz, résultats qui ont vocation à être complétés par la suite de l'étude.

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

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE HAUSSMANN-SAINT-LAZARE

Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation :

Mécanique contrôlée

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/)) : 78 363
(source SNCF, carte des montants 2016)

Caractéristiques du matériel roulant :

Matériel : type RER

Modèle : automotrices

Véhicules compartimentés (4 à 8voitures par rame)

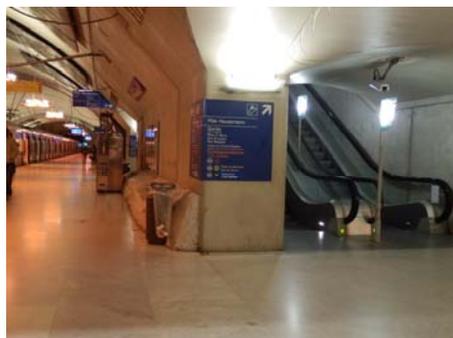
Véhicules à 1 ou 2 niveaux), entre 872 et 1536 places totales par train.

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

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



ANNEXE 2 :

DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

Indicateurs de la pollution retenus

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

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

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

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

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

Moyens techniques mis en œuvre

ANALYSEURS AUTOMATIQUES

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

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

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



Les concentrations en particules (PM₁₀)⁶ et particules fines (PM_{2,5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame.

PRELEVEMENTS MANUELS

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

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant⁷.

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES³ dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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

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



VALIDATION DES MESURES

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

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

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

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

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

⁶ Mesures des PM₁₀ et PM_{2,5} selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2,5} par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

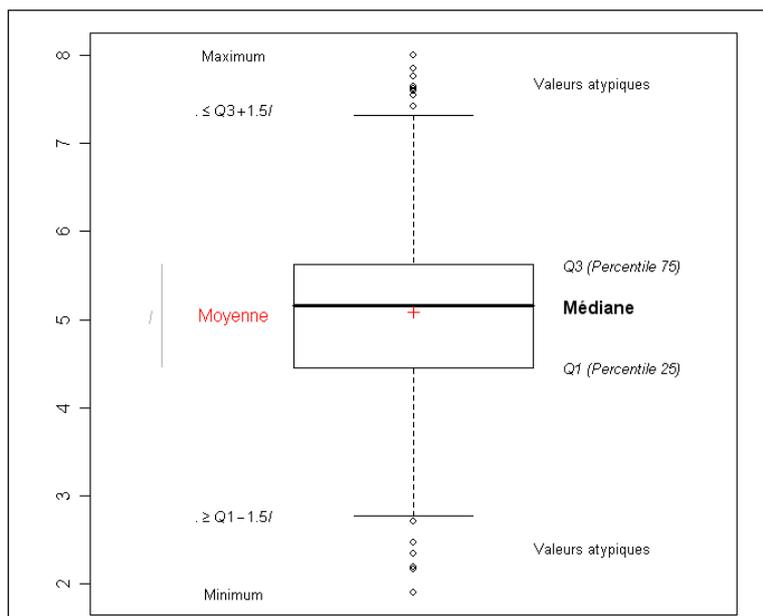
⁷ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 :

BOITE A MOUSTACHE

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

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



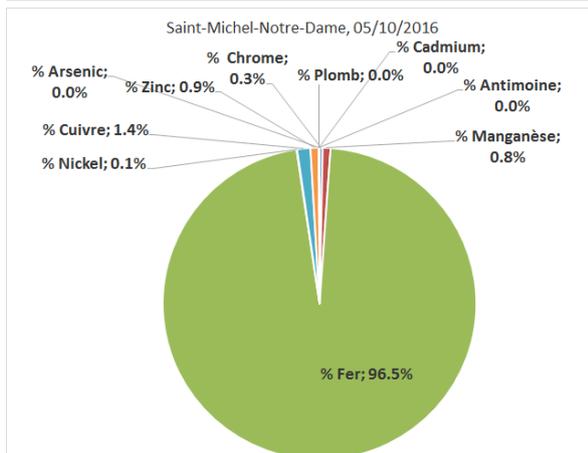
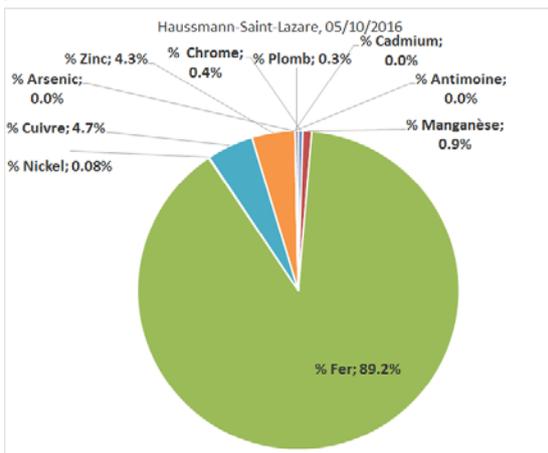
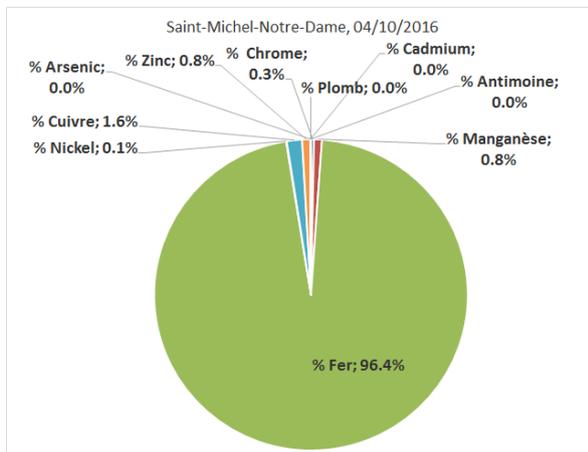
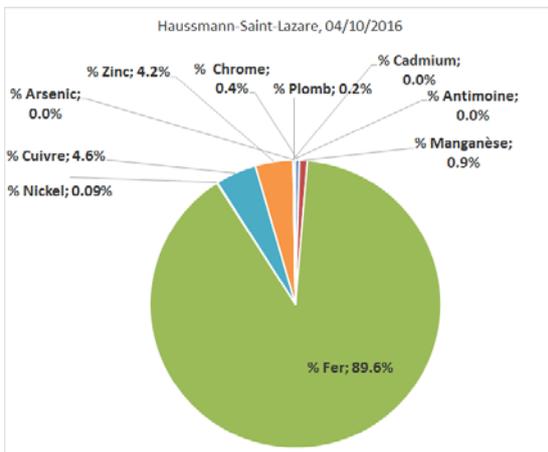
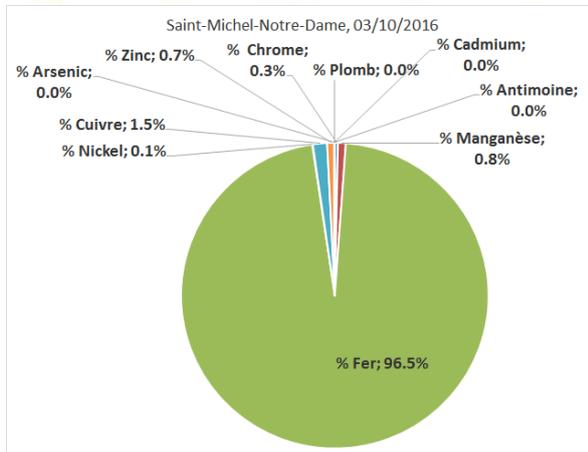
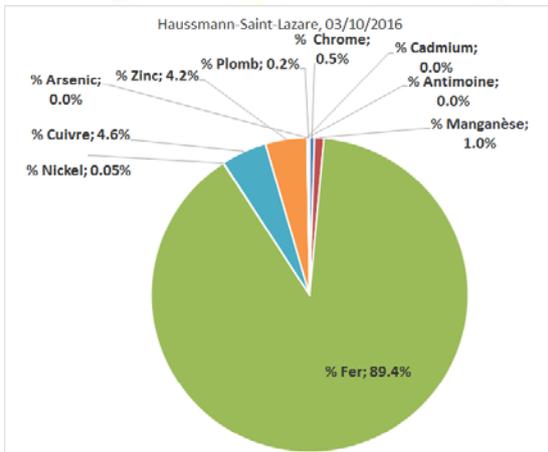
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des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

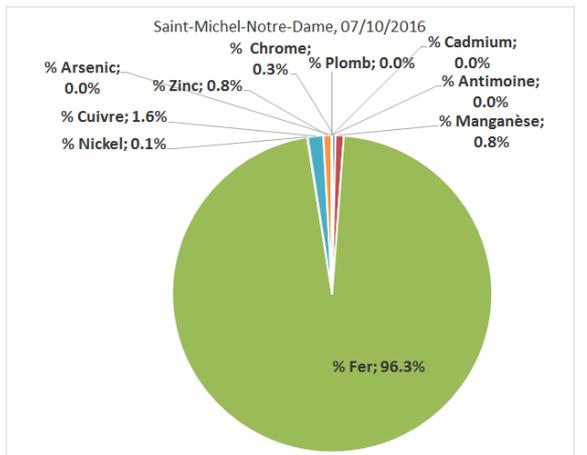
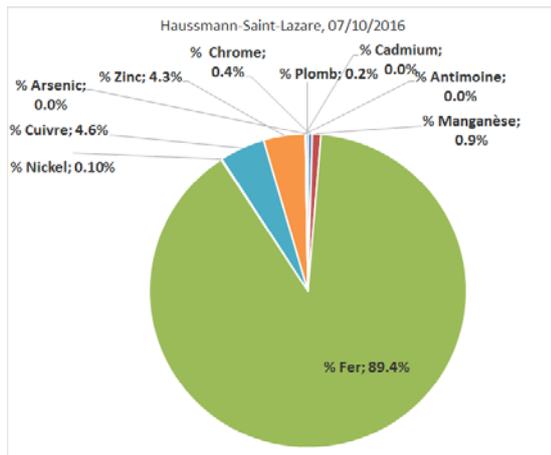
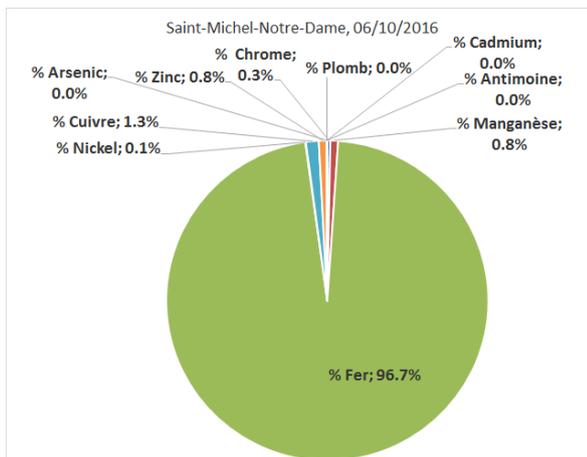
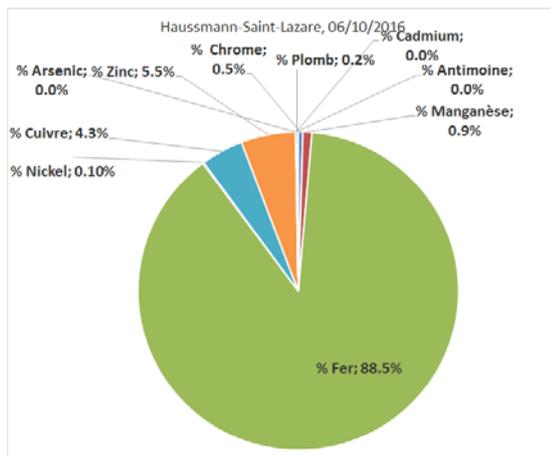
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE

■ % Cr ■ % Mn ■ % Fe ■ % Ni ■ % Cu ■ % Zn ■ % As ■ % Cd ■ % Sb ■ % Pb





■ % Cr ■ % Mn ■ % Fe ■ % Ni ■ % Cu ■ % Zn ■ % As ■ % Cd ■ % Sb ■ % Pb

ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE RER E DE HAUSSMANN-SAINT-LAZARE ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 03/10/2016 AU 07/10/2016.



