

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER D EN GARE SNCF DE BRAS-DE-FER (ÉVRY GÉNOPÔLE)

Novembre 2016

Septembre 2017

Le Bras de Fer
Évry Génopole



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



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



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER D EN GARE SNCF DE BRAS-DE-FER (ÉVRY GÉNOPOLE) – NOVEMBRE 2016

Septembre 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 **14/11/2016 au 04/12/2016** à la gare de **Bras-de-Fer Evry Génopôle (RER D, quai voie 1, direction Corbeilles Essonnes)**. Les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}) ont été suivies, ainsi que les métaux.



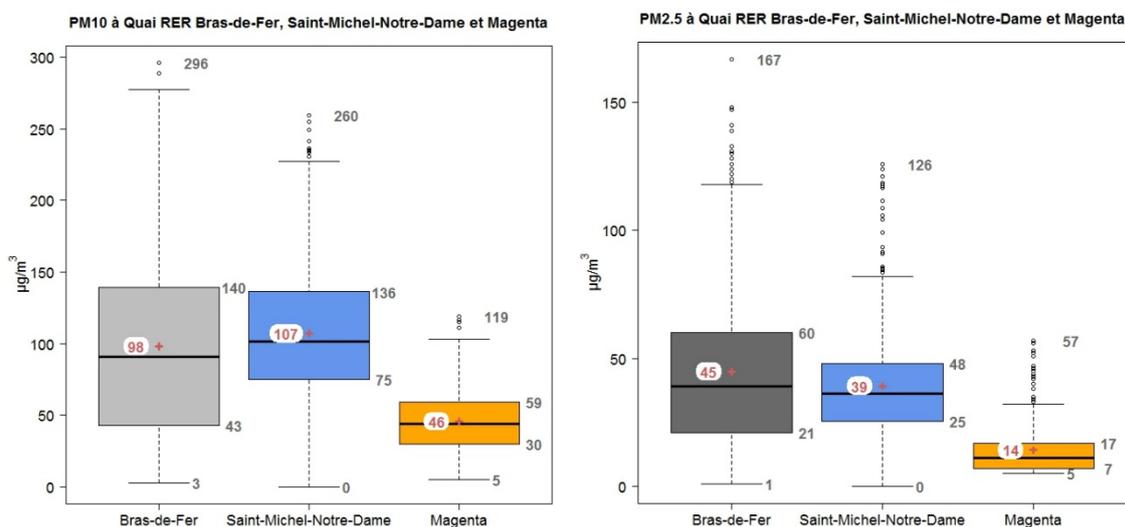
Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER D en gare de Bras-de-Fer au cours des mois de novembre/décembre 2016 étaient en moyenne de 98 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 296 µg/m³ (enregistré le soir entre 19 et 22h).

Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} atteignent 45 µg/m³, pour un maximum horaire de 167 µg/m³ (maximum atteint au même moment pour les PM₁₀ 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 PM₁₀ sont proches de ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (107 µg/m³ enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la station Magenta (46 µg/m³ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en PM_{2.5} à Bras-de-Fer (45 µg/m³) sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (39 µg/m³) et largement supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (14 µg/m³). Ce résultat s'explique par le système de ventilation en place en gare de Magenta, paramètre favorisant l'évacuation de la pollution aux particules dans cette gare de référence.



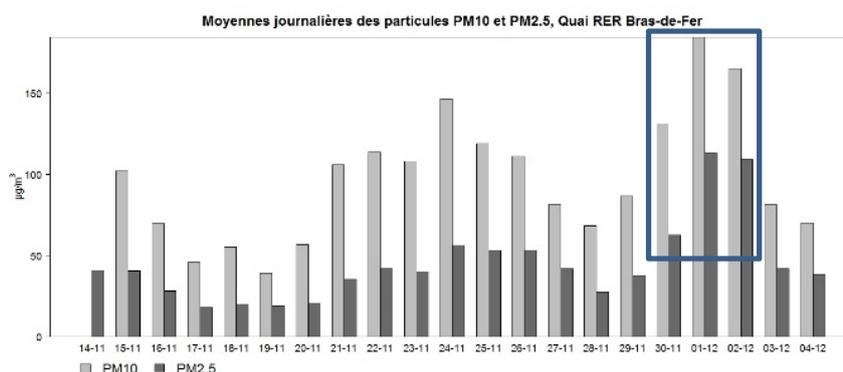
Les relevés en particules PM₁₀ à la gare de Bras-de-Fer sont également plus proches de ceux de la gare Saint-Michel-Notre-Dame que de ceux de Magenta, en termes d'évolution temporelle.

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

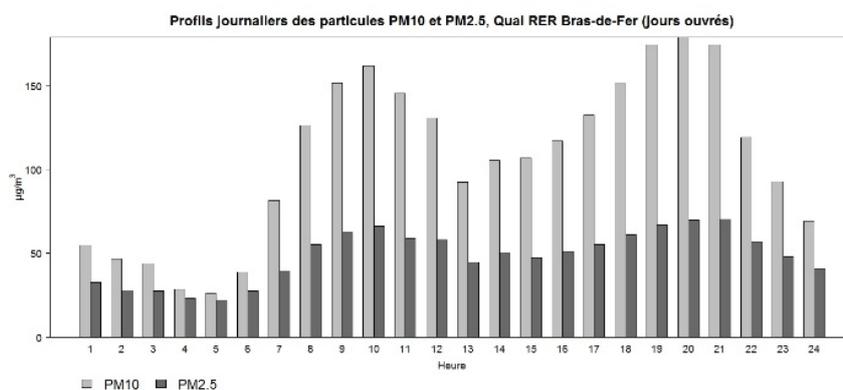
Les variations temporelles sont fortement liées au nombre de trains en circulation, qui fluctuent beaucoup au cours de la journée.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM₁₀ (- 23 %) et de façon plus modérée pour les PM_{2.5} (-5 %). Cette baisse est en lien avec la diminution de fréquentation et d'activité de la gare

le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains). De forts niveaux ont été relevés entre le 30 novembre et le 2 décembre, jours d'épisode de pollution aux particules en l'Île-de-France : + 70 % pour les PM₁₀, +150 % pour les PM_{2.5}.



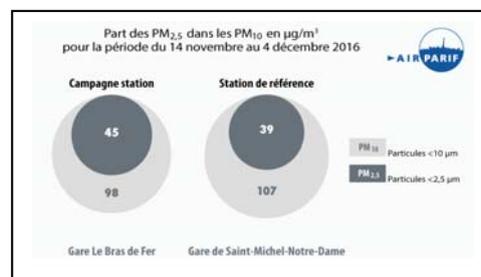
Episode de pollution aux particules



Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Bras-de-Fer, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 37 µg/m³ en PM₁₀ et 25 µg/m³ en PM_{2.5}. Les concentrations sont maximales vers 8 - 10h le matin et 18 - 21h en soirée. Les concentrations sont alors de 170 µg/m³ en moyenne sur une heure en PM₁₀ et 67 µg/m³ en PM_{2.5}. Ces profils (variabilité temporelle et niveaux observés) sont similaires à ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM₁₀. Les niveaux de PM_{2.5} et en PM₁₀ en heure de pointe sont cependant en moyenne plus élevés à Bras-de-Fer qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

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

Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ en gare de Bras-de-Fer est en moyenne de 0.51, plus élevé que ceux enregistrés aux sites de référence (0.4 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0.32 à Magenta). A Bras-de-Fer, les PM_{2.5} représentent en moyenne environ la moitié des concentrations massiques de PM₁₀.



Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A

l'échelle journalière, le ratio est stable en journée. Les pics ponctuels au-dessus de 0.6 s'observent surtout la nuit lorsque les émissions de PM₁₀ dues à l'activité de la gare diminuent fortement.

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

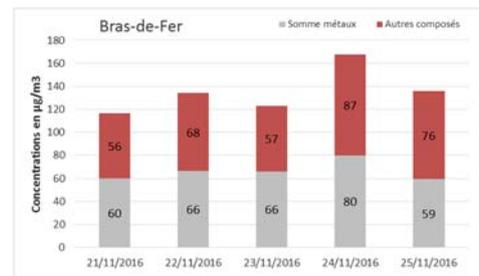
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 44 à 54% sur la semaine de mesure (21 au 25/11/2016) en gare de Bras-de-Fer. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame a été stable à 35%.

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 97 % des métaux mesurés à Bras-de-Fer (95% à Saint-Michel-Notre-Dame). Suivent ensuite le **Zinc** (1.5 % à Bras-de-Fer), le **Manganèse** (0.9 %), le **Cuivre** et le **Chrome** (0.4 %), et le **Nickel** (0.1 %). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués. Ces résultats sont très proches de ceux enregistrés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre, plus présent à la station de référence (2.5% des métaux mesurés).

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

La part de chaque métal est stable selon les 5 jours de mesure, aussi bien en gare de Bras-de-Fer qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les relevés journaliers ont évolué sur la semaine de prélèvement, en lien avec les variations de particules PM₁₀ et en fonction du métal considéré. Les résultats des mesures en métaux sont supérieurs en gare de Bras-de-Fer par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame, sauf pour le Cuivre qui présente des teneurs quatre fois plus élevées.



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	18
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	19
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	22
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	22
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	23
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	26
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	27
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	27
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	28
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES	29
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	31
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	31
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	33
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	34
4. CONCLUSION.....	37

GLOSSAIRE

µg/m³ micro gramme par mètre cube

ng/m³ nano gramme par mètre cube

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

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

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

CO₂ Dioxyde de carbone

NO Monoxyde d'azote

NO₂ Dioxyde d'azote

NO_x (NO+NO₂) Oxydes d'azote

PM₁₀ Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

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

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

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

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

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

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

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

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

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

L'objectif de ce programme est de documenter finement 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.

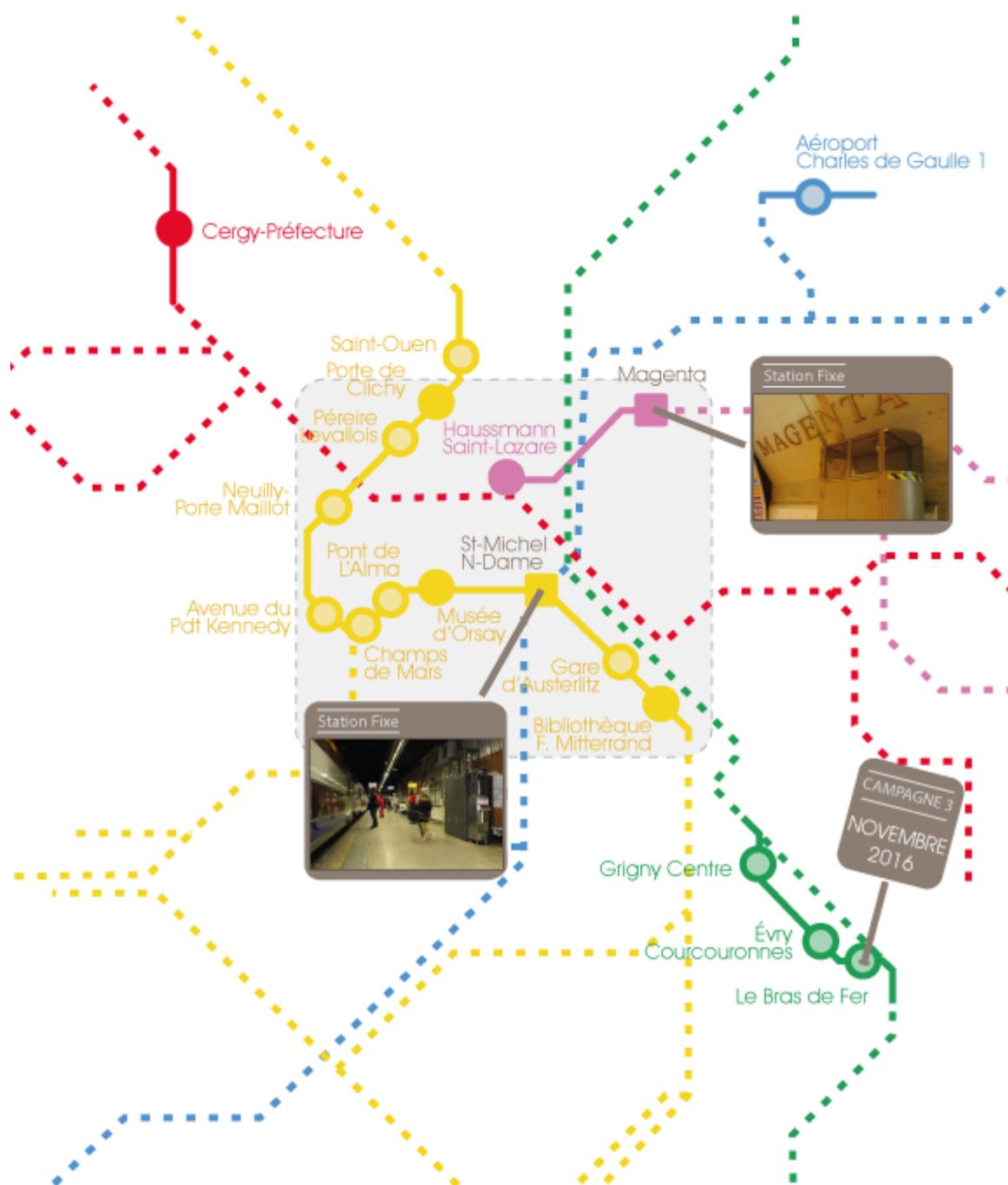
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules 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 Bras-de-Fer (Ervy Génopole) en novembre 2016, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Bras-de-Fer), 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 Bras-de-Fer, sur le RER D (en direction de Corbeil-Essonnes, Melun ou Malesherbes vers le Sud, et en direction d'Orry-la-Ville-Coye ou Creil vers le Nord) est concernée par le programme de partenariat. Elle est située Place du 19 mars 1962, à Évry (91).

Cette gare RER est mixte (il existe une partie souterraine et une partie aérienne des quais), de faible profondeur (quai au niveau -1). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle).

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

Le nombre de voyageurs montant en gare de Bras-de-Fer (RER D) est de 5 150 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Bras-de-Fer (2 sens confondus) est de 189 les jours ouvrés (jours JOB), 137 les samedis et 121 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée presque au milieu du quai voie 1, en direction de Corbeil-Essonnes (point bleu sur la figure 2 ci-dessous).



Site de mesure

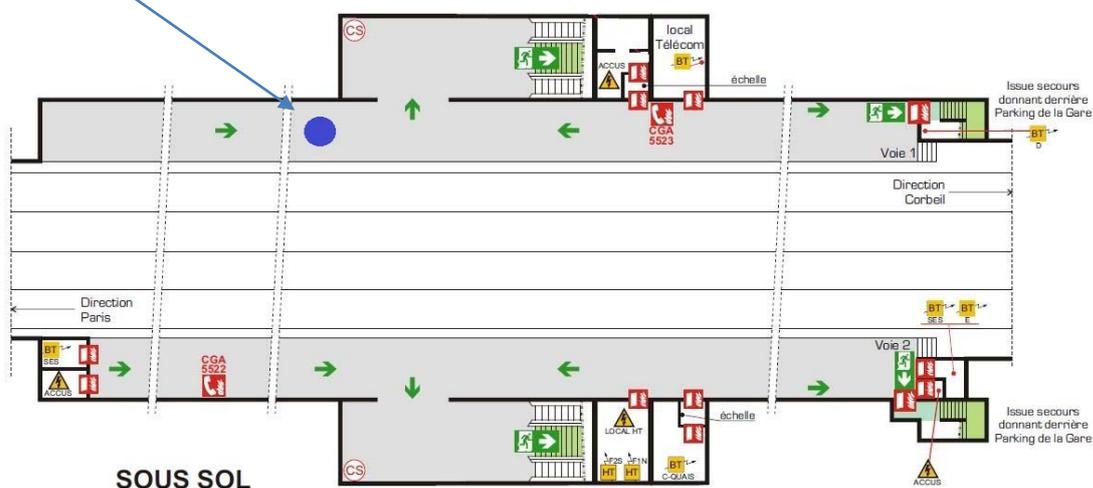


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Bras-de-Fer, ligne RER D, quai voie 1), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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

Pour rappel, des mesures en particules PM₁₀, PM_{2.5} et en métaux, ainsi que des relevés en CO₂, humidité et température ont été réalisés à cette station.

1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de pollution atmosphérique à la gare de Bras-de-Fer ont été réalisées pendant 3 semaines, du **14/11/2016 au 04/12/2016**. Cette durée a été choisie afin d'avoir suffisamment de données pour assurer la robustesse des statistiques d'une part et, d'autre part, pour rencontrer potentiellement différentes conditions météorologiques et évaluer l'impact éventuel de l'air extérieur sur les niveaux sur les quais.

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 Bras-de-Fer 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 Bras-de-Fer et les gares de référence, sur la même période.

Statistiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ (particules fines)			PM _{2.5} (particules très fines)		
	Gare Bras-de-Fer	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Bras-de-Fer	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	3	0	5	1	0	5
Percentile 25 (P25)	43	75	30	21	25	7
Médiane ou Percentile 50	91	101	44	39	36	11
Moyenne	98	107	46	45	39	14
Percentile 75 (P75)	140	136	59	60	48	17
Maximum horaire	296	260	119	167	126	57
% de données horaires valides	94	86	86	98	94	86

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

Les niveaux moyens en PM₁₀ relevés en gare de Bras-de-Fer sont comparables à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et supérieurs aux relevés de la gare de Magenta. Alors que les minima en PM₁₀ sont du même ordre de grandeur sur les trois gares (écart maximum de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), les maxima sont plus élevés à Bras-de-Fer. Ceci est également valable pour le percentile 75. Par contre, les autres paramètres statistiques (percentile 25, médiane et moyenne) en PM₁₀ à Bras-de-Fer sont inférieurs à ceux enregistrés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les éléments statistiques en PM_{2.5} à la Gare RER D de Bras-de-Fer sont supérieurs à ceux des deux stations de référence (moyenne, médiane, percentile 75 et maximum horaire), excepté pour le percentile 25. Les résultats en gare de Bras-de-Fer sont toutefois plus proches de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame que de Magenta, ici à titre d'exemple pour la moyenne : 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne enregistrés à Bras-de-Fer, contre 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame et 14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Magenta.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER D de Bras-de-Fer, 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 en Gare RER D de Bras-de-Fer montre une répartition « équilibrée » des mesures³. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER D de Bras-de-Fer sont comprises entre 43 et 140 µg/m³, pour une moyenne de 98 µg/m³ et une médiane à 91 µg/m³. Le maximum atteint à Bras-de-Fer est de 296 µg/m³ le 01/12/16 à 19h (heure de pointe du soir), lors de l'épisode de pollution aux particules ayant touché la région Ile-de-France du 30 novembre au 2 décembre. En dehors de l'épisode de pollution, un maximum de 278 µg/m³ a été atteint le 25/11/16 à 20h.

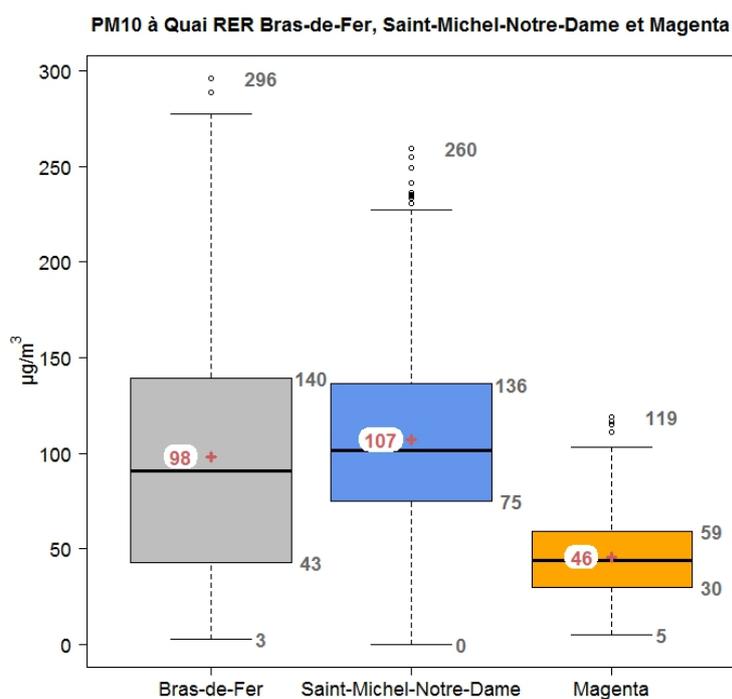


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER D de Bras-de-Fer et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

Les concentrations en PM₁₀ à la Gare RER D de Bras-de-Fer sont proches de celles de la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame en termes de statistiques (minima, moyennes, médianes et maxima). Ces paramètres statistiques mettent en avant une dispersion plus grande des concentrations sur le site de Bras-de-Fer que sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame (50 % des données se trouvent dans la fourchette de 43 - 140 µg/m³ à Bras-de-Fer, contre 75 – 136 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame) : cela s'explique en partie par des concentrations en journée moins élevées en gare de Bras-de-Fer

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

et également par l'absence de nombreuses données en gare de Saint-Michel-Notre-Dame lors des périodes classiquement de faibles niveaux (en milieu de nuit) (cf. paragraphe 2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE).

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de Bras-de-Fer, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules PM₁₀ est de 46 µg/m³ à Magenta, contre 98 µg/m³ à Bras-de-Fer.

Cette différence peut s'expliquer en partie par le système de ventilation en place en gare de Magenta (ventilation mécanique), alors qu'aux stations de Bras-de-Fer et Saint-Michel-Notre-Dame, aucun système de ventilation n'existe. De plus, la gare de Magenta est également plus grande (d'où un volume de dilution des polluants plus important).

Ces paramètres semblent plus influents que le nombre de trains en circulation : le nombre de trains circulant en gare de Bras-de-Fer est de 2 à 3 fois moins important qu'en gare de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame. C'est également vrai pour le nombre de voyageurs : 5 150 voyageurs par jour montant en gare de Bras-de-Fer, contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78 212 à Magenta (source interne SNCF : carte des montants 2016).

2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

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

La boîte à moustaches montre une moyenne proche de celle de Saint-Michel-Notre-Dame (45µg/m³ en gare de Bras-de-Fer et 39 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame). La dispersion des données est plus grande en gare de Bras-de-Fer qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, au-dessus de la médiane cette fois, avec 50 % des données horaires comprises entre 21 et 60 µg/m³ à Bras-de-Fer, contre une fourchette de 25 à 48 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations en PM_{2.5} en gare de Bras-de-Fer sont largement supérieures à celles de Magenta. A titre d'illustration, la moyenne des particules PM_{2.5} à Magenta est de 14 µg/m³.

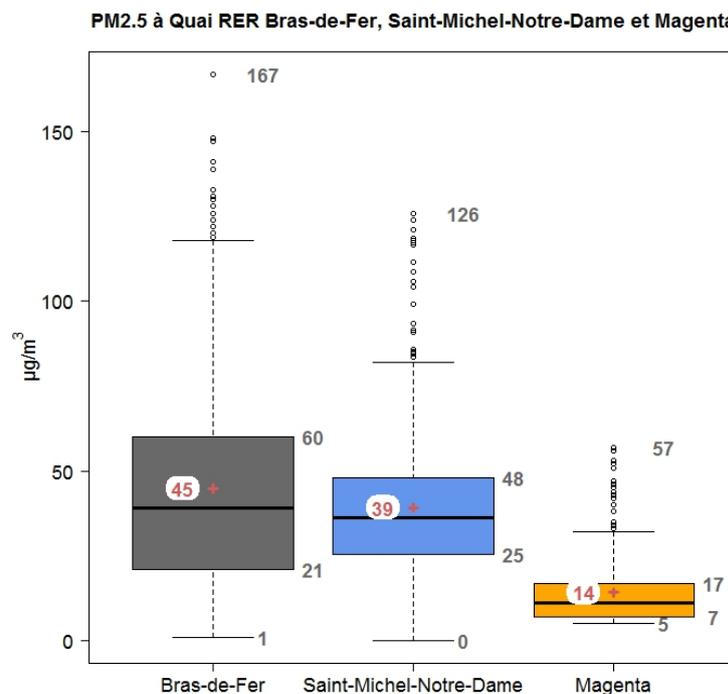


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ à la Gare RER D de Bras-de-Fer et à la station de référence RER E Magenta, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

Les teneurs en $PM_{2.5}$ en gare RER D Bras-de-Fer dépassent celles de Saint-Michel-Notre-Dame, aussi bien en termes de moyenne que de teneurs maximales, potentiellement pour plusieurs raisons : il s'agit de deux lignes de RER distinctes, présentant des caractéristiques propres en termes de trains, freinage, etc.). De plus, l'impact de l'air extérieur peut également expliquer en partie ce résultat (cf. 3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR).

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER D de Bras-de-Fer est de $98 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en particules PM_{10} pendant la campagne et $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $PM_{2.5}$.

Les niveaux moyens en particules PM_{10} en gare de Bras-de-Fer sont proches de ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame ($107 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la station Magenta ($46 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules $PM_{2.5}$ en gare de Bras-de-Fer sont supérieurs à ceux des deux stations de référence ($39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période à Saint-Michel-Notre-Dame et $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés à Magenta).

Pour les PM_{10} comme les $PM_{2.5}$, les maxima ont été enregistrés sur le quai de la gare Bras-de-Fer.

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 trois stations sont présentés à la Figure 5. Les fluctuations des niveaux observés à l'échelle horaire sont importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par la fréquentation de la gare, aussi bien en termes de trains que de voyageurs : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules PM_{10} et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à Bras-de-Fer, les teneurs dépassent $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en journée, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hors périodes éventuelles de travaux nocturnes ou d'épisodes de pollution. Les plus forts niveaux ont été observés lors de l'épisode de pollution aux particules ayant touché la région Ile de France (du 30 novembre au 2 décembre inclus), de jour comme de nuit. La relation entre les niveaux observés et le nombre de trains en circulation est présenté au paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER D de Bras-de-Fer avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels très proches à partir du 26 novembre, aussi bien en termes d'évolution que de niveaux. Avant cette date, les maxima sont plus élevés à la station Bras-de-Fer (en comparaison avec Saint-Michel-Notre-Dame), notamment lors des pointes du soir. L'évolution temporelle des relevés de Magenta est analogue à celles des gares de Bras-de-Fer et Saint-Michel-Notre-Dame, mais avec des niveaux plus faibles : les concentrations sont minimales la nuit, elles augmentent en journée en lien avec la fréquentation de la gare.

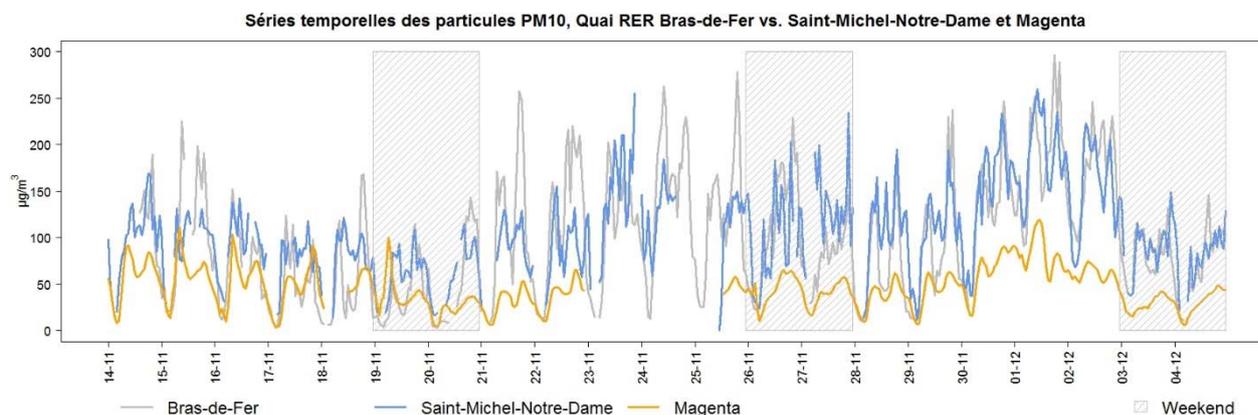


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare RER D de Bras-de-Fer et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 14/11/2016 au 04/12/2016).

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

Les relevés horaires, présentés en

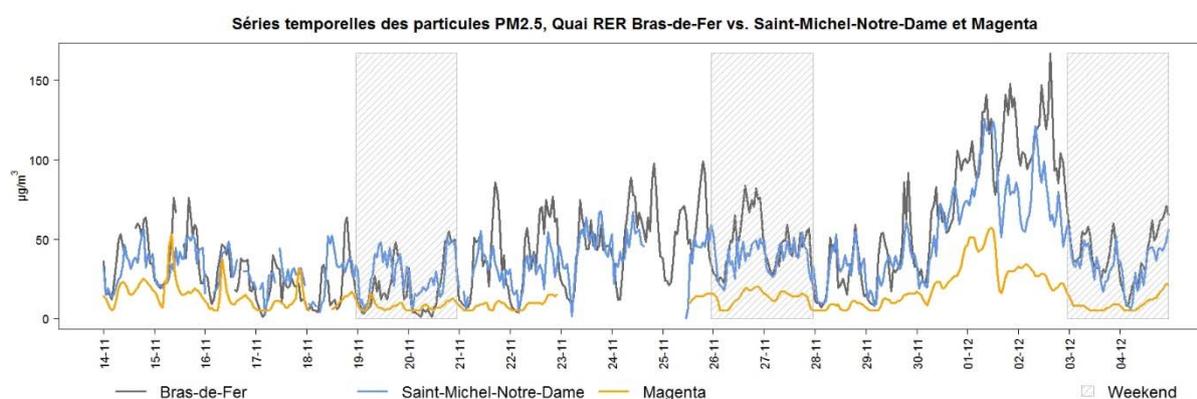


Figure 6, montrent, comme pour les PM₁₀, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par le nombre de trains en circulation : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée (cf. paragraphe 3.3 *PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE*). Ainsi, en journée, les teneurs en PM_{2.5} atteignent 30 µg/m³, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m³. L'épisode de pollution (du 30 novembre au 2 décembre) est mis en évidence dans les trois gares et de manière plus marquée à la gare de Bras-de-Fer.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER D de Bras-de-Fer avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels très proches. Concernant les teneurs moyennes, les niveaux en PM_{2.5} à la Gare RER D de Bras-de-Fer sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame. En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à Bras-de-Fer (167 µg/m³, contre 126 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame).

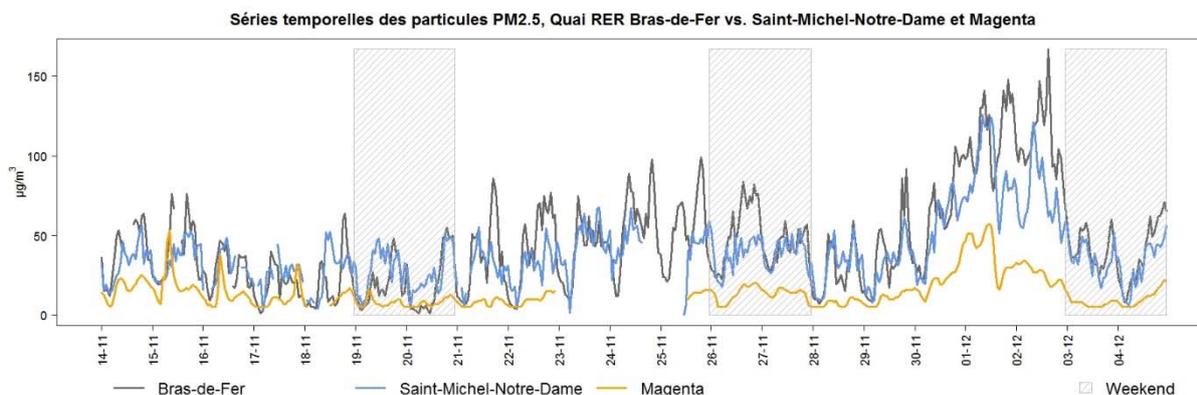
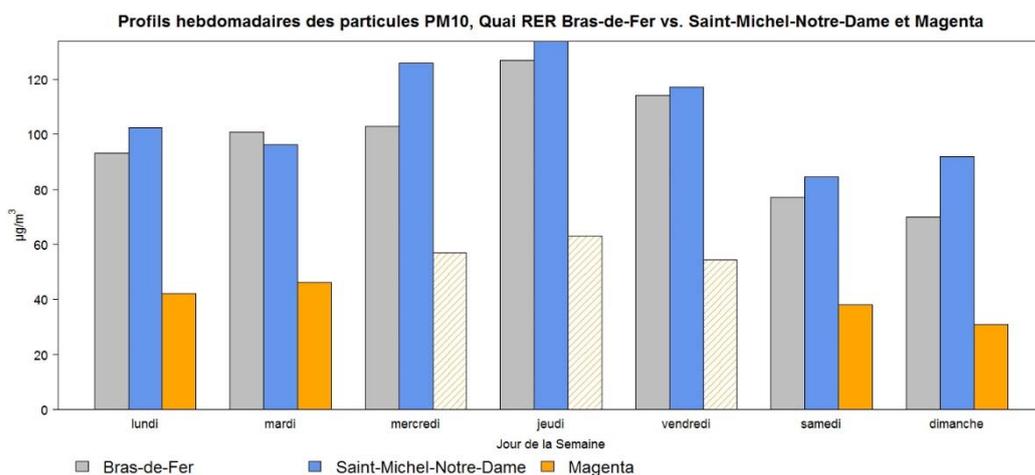


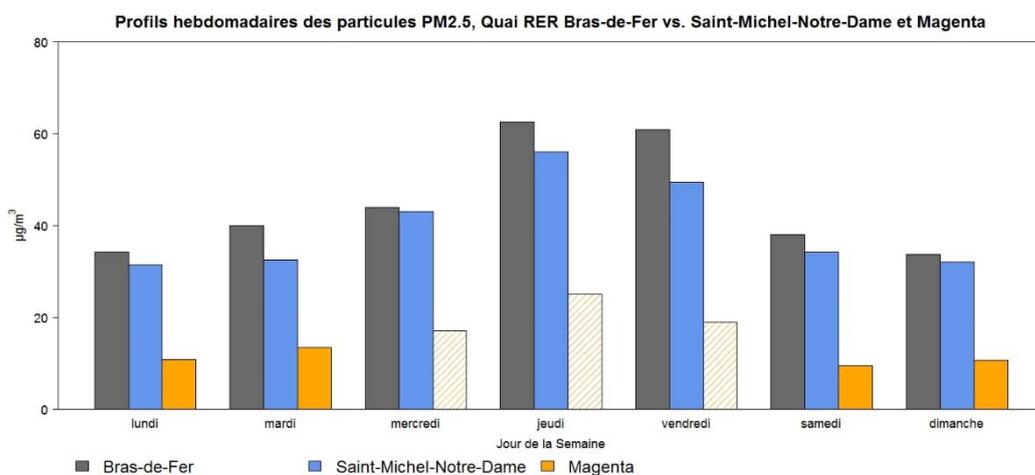
Figure 6 – Evolution des relevés horaires en $PM_{2.5}$, en $\mu g/m^3$ (gare RER D de Bras-de-Fer et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 14/11/2016 au 04/12/2016).

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Bras-de-Fer sont présentés à la Figure 7 pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Bras-de-Fer et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 7 – Evolution des profils hebdomadaires en PM_{10} (a) et $PM_{2.5}$ (b) à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

Les niveaux moyens en particules PM_{10} avoisinent $110 \mu g/m^3$ sur une journée ouvrée et $35 \mu g/m^3$ pour les $PM_{2.5}$. Les valeurs moyennes du mercredi, jeudi et vendredi sont plus élevées, influencées

par l'épisode de pollution aux particules sur la région Ile de France entre le mercredi 30 novembre et le vendredi 2 décembre. Ils diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 23% par rapport aux jours ouvrés pour les PM₁₀ et de 5% pour les PM_{2.5} (en ne comptant pas les jours d'épisode). A Saint-Michel-Notre-Dame, la baisse sur les teneurs en PM₁₀ le week-end par rapport aux jours ouvrés est de l'ordre de 10%, aucune diminution n'ayant été observée concernant les PM_{2.5}.

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

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

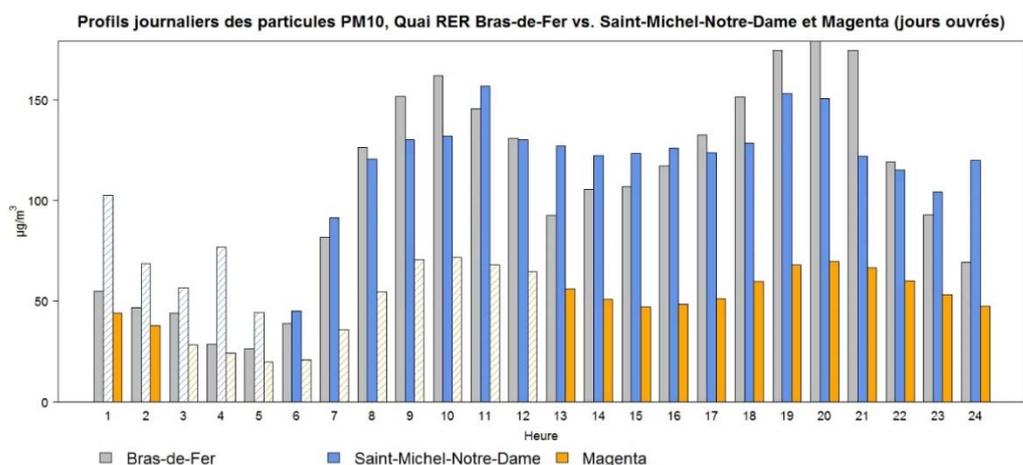
Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 8, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés. Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules le matin (8-10h) et le soir (18h - 21h). Sur ces plages horaires, les niveaux sont en moyenne de 170 µg/m³ pour les PM₁₀ et 67 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare de Bras-de-Fer.

L'heure matinale des niveaux maximaux intervient ainsi plus tôt qu'à Notre-Dame-Saint-Michel (entre 10 et 11h) ou plus tard pour le pic en soirée (18-20h à Saint-Michel-Notre-Dame).

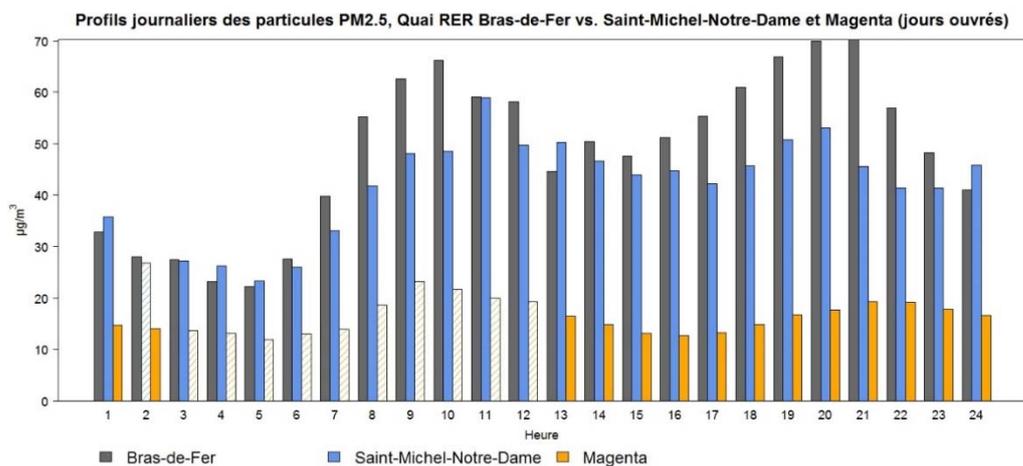
Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 37 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et environ 25 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

Ces profils journaliers en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) fluctuent en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est également maximale (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ce constat, observable à la gare de Bras-de-Fer, l'est également aux gares de référence.

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



(a)



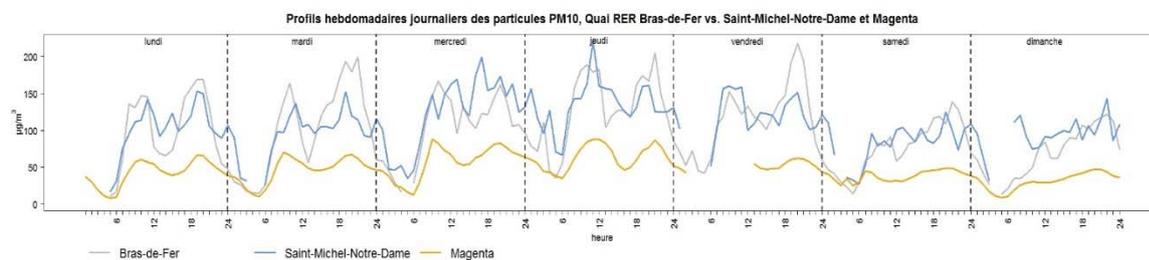
(b)

Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

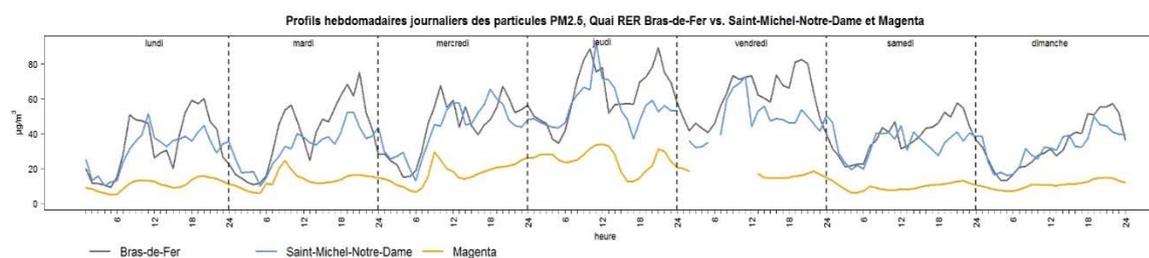
2.2.3.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne sur les trois semaines de la campagne) est présenté en Figure 9. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM₁₀ et des PM_{2.5}, aussi bien en gare de Bras-de-Fer qu'aux stations de référence. Les variations montrent d'une part les fluctuations les jours ouvrés (niveaux les plus faibles la nuit, puis hausse des teneurs en journée avec les maxima entre 8-10h et 18-21h) et les niveaux plus faibles les samedis et dimanches, avec atténuation des niveaux aux heures des maxima.

Comme mentionné précédemment, les niveaux moyens plus élevés les mercredi, jeudi et vendredi sont dus à l'épisode de pollution du 30 novembre au 2 décembre.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER D de Bras-de-Fer, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM_{10} et $PM_{2.5}$) sont fortement liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains).

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM_{10} (-23 %) mais dans une moindre mesure pour les $PM_{2.5}$ (-5 %, chiffres hors épisode de pollution), en lien avec la baisse de fréquentation le week-end. Cette observation est aussi bien valable en gare de Bras-de-Fer qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne $37 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} et $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2.5}$. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, entre 9 et 10h le matin et entre 17h et 21h le soir en gare de Bras-de-Fer. Lors de ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent $170 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyennes pour les PM_{10} , et $67 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $PM_{2.5}$.

Il apparaît que les relevés en PM_{10} et $PM_{2.5}$ lors des pointes en journée en gare de Bras-de-Fer sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame : de l'ordre de 13 % pour les PM_{10} et 23% pour les $PM_{2.5}$.

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes souterraines, notamment des systèmes de freinage⁴, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de Bras-de-Fer chaque jour ouvré pendant une semaine (du 21 au 25 novembre). 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 littérature⁴.

2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Le graphique suivant (Figure 10) montre la part de métaux enregistrée dans les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure, en gare de Bras-de-Fer et de Saint-Michel-Notre-Dame. Les données de Saint-Michel-Notre-Dame pour le 24 et 25 novembre ne sont pas disponibles suite à un problème technique lors du prélèvement.

En gare de Bras-de-Fer, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 60 µg/m³ (le 21/11/16) à 80 µg/m³ (le 24/11/16). En comparaison avec la concentration en particules PM₁₀ enregistrée les mêmes journées, la part des métaux varie peu, de 44 à 54%.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la somme des métaux était plus faible qu'à la gare de Bras-de-Fer, variant entre 31 µg/m³ (le 21/11/16) à 50 µg/m³ (le 23/11/16). La part de métaux a été stable, autour de 35 %.

⁴ Pollution chimique de l'air dans les enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective – Septembre 2015, Edition scientifique.

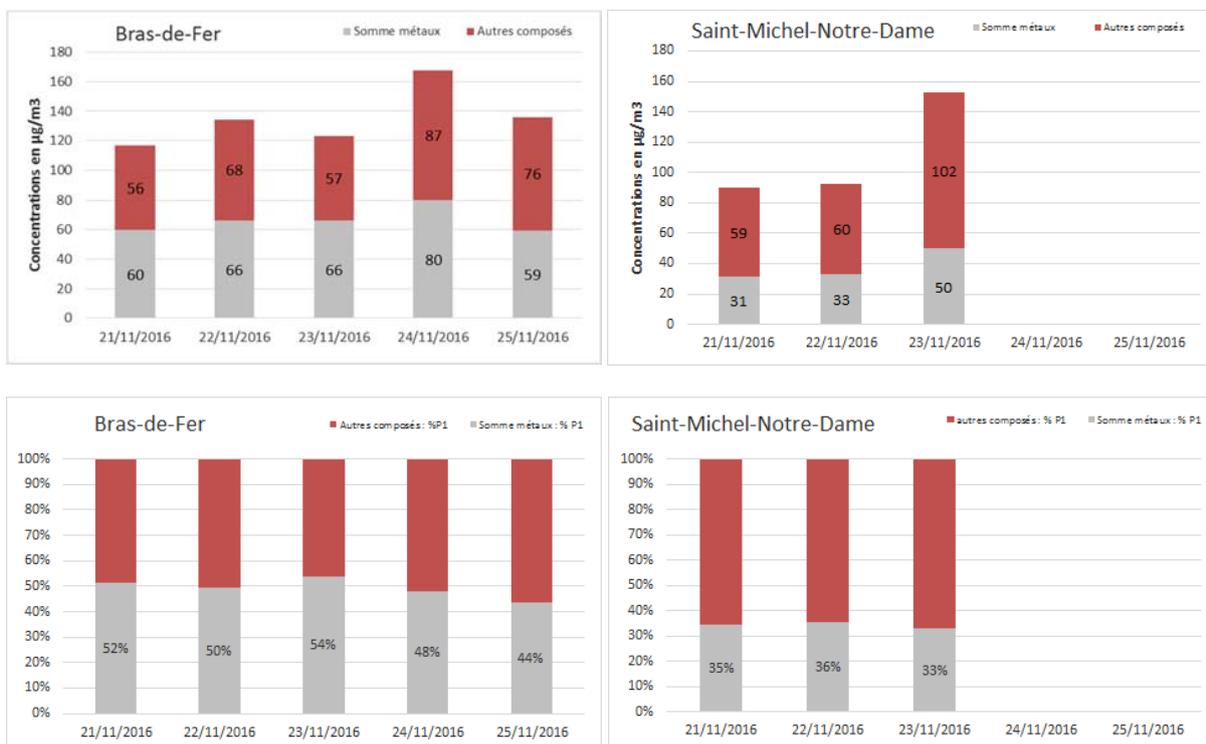


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement (en concentration et en % de particules PM₁₀), à la gare RER D de Bras-de-Fer et à Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 21/11/2016 au 25/11/2016.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés mesurés entre le 21 et le 25/11/2016, aussi bien en gare de Bras-de-Fer 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 Bras-de-Fer et de Saint-Michel-Notre-Dame.

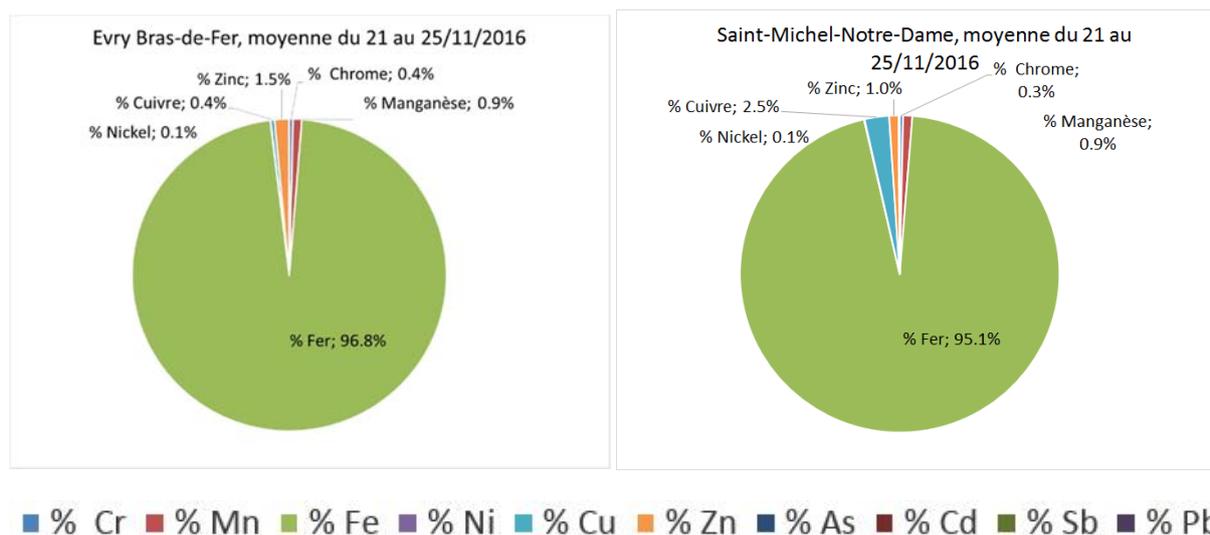


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 21 au 25/11/2016, en gare de Bras-de-Fer et à la station RER C Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente 97 % des métaux mesurés en gare de Bras-de-Fer et 95 % à Saint-Michel-Notre-Dame (chiffre légèrement

plus faible par rapport aux mesures des mois de septembre (96 %) et octobre (97 %), en parallèle des mesures réalisées en gare d'Austerlitz et de Haussmann-Saint-Lazare).

En dehors du Fer, les trois métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont le Cuivre, le Manganèse et le Zinc, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1.5 % pour le **Zinc** en gare de Bras-de-Fer (1 % à Saint-Michel-Notre-Dame), 0.9 % pour le **Manganèse** (0.9% à Saint-Michel-Notre-Dame) et 0.4 % pour le **Cuivre** (2.5 % à Saint-Michel-Notre-Dame). Le Manganèse est présent dans des proportions équivalentes aux deux gares.

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

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

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Bras-de-Fer 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.**



Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER D de Bras-de-Fer et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 21/11/2016 au 25/11/2016.

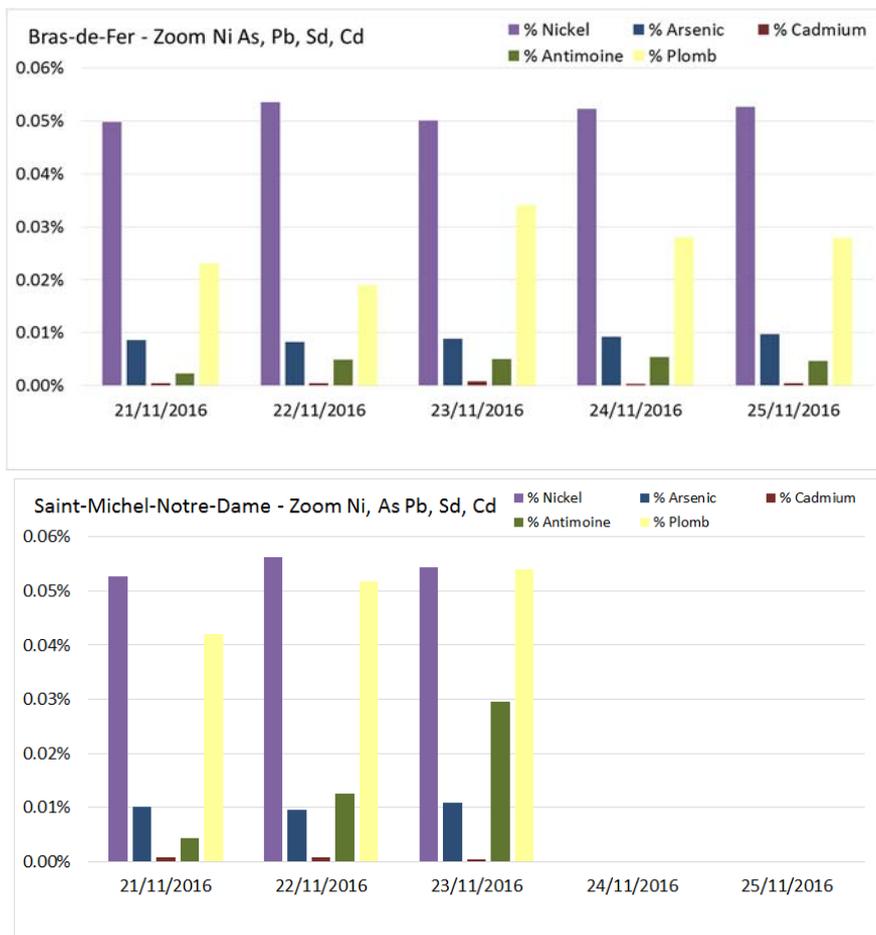


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER D de Bras-de-Fer et à Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 21/11/2016 au 25/11/2016.

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 frein.

Le Cuivre peut être présent dans les câbles d'alimentation. Dans les enceintes souterraines ferroviaires, il est émis lors du contact entre les pantographes et les caténaires (système d'alimentation). Il peut également être présent dans les semelles de frein et par conséquent il peut être émis lors du freinage.

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

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

Les différences observées entre les deux gares peuvent s'expliquer par la différence en termes de ligne de RER : à Bras-de-Fer, la ligne de RER D peut présenter des différences avec la ligne RER C à Saint-Michel-Notre-Dame en ce qui concerne les câbles d'alimentation, la composition des semelles de freinage ou encore la composition des rails.

2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 14) présente les concentrations mesurées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Bras-de-Fer et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame. Les teneurs en **Fer** sont plus élevées en gare de Bras-de-Fer qu'à Saint-Michel-Notre-Dame : les moyennes journalières ont varié entre 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (25/11/2016) et 78 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (24/11/2016) en gare de Bras-de-Fer et entre 30 et 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Ces niveaux sont en lien direct avec les concentrations en particules PM_{10} proches observées sur les deux sites.

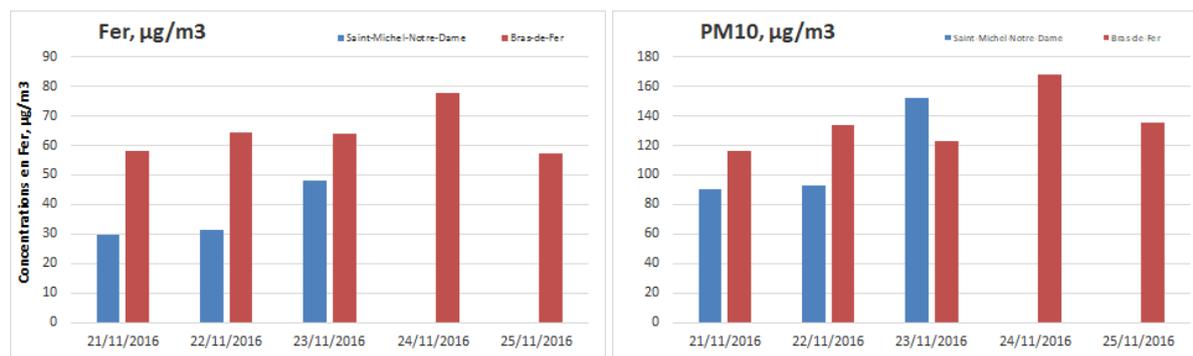


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM_{10} à la gare RER D de Bras-de-Fer et à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), période du 21/11/2016 au 25/11/2016.

Les teneurs ont été relativement stables les 5 jours de mesure à Bras-de-Fer et sur les 3 jours de mesure à Saint-Michel-Notre-Dame pour les quatre autres principaux métaux rencontrés.

Quatre métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m^3 à un millier de ng/m^3 . Il s'agit du **Chrome**, du **Manganèse**, du **Cuivre** et du **Zinc**. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 209 à 303 ng/m^3 en gare de Bras-de-Fer, teneurs inférieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame (856 à 963 ng/m^3).

Les teneurs journalières en **Zinc** ont varié entre 761 à 1149 ng/m^3 à Bras-de-Fer. Ces niveaux correspondent au double des moyennes journalières enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame lors de cette campagne (niveaux entre 303 et 449 ng/m^3).

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 528 et 704 ng/m^3 à Bras-de-Fer, contre 293 à 470 ng/m^3 à Saint-Michel-Notre-Dame.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 231 et 300 ng/m^3 en gare de Bras-de-Fer, soit le double des teneurs journalières enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame (niveaux entre 102 et 180 ng/m^3).

Les teneurs de tous les métaux ont été relativement stables sur les cinq jours étudiés en gare de Bras-de-Fer. A Saint-Michel-Notre-Dame, les maxima journaliers ont été enregistrés le mercredi 23/11/2016 (par rapport aux deux autres jours de mesure). Des fluctuations plus importantes sont enregistrées pour l'Antimoine et le Plomb à Saint-Michel-Notre-Dame.

Pour les cinq autres métaux, en gare de Bras-de-Fer, les niveaux journaliers varient :

- Entre 30 et 42 ng/m³ pour le Nickel,
- Entre 13 et 23 ng/m³ pour le Plomb,
- Entre 1 et 4 ng/m³ pour l'Antimoine,
- Entre 6 et 7 ng/m³ pour l'Arsenic,
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m³.

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare de Bras-de-Fer varie de 44 à 54% sur la semaine de mesure. A Saint-Michel-Notre-Dame, sur les trois jours de mesure, la part des métaux dans les particules PM₁₀ est stable à 35%.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 97 % des métaux mesurés à Bras-de-Fer (95% à Saint-Michel-Notre-Dame). Suivent ensuite le **Zinc** (1.5 % à Bras-de-Fer), le **Manganèse** (0.9%), le **Cuivre** et le **Chrome** (0.4%), et le **Nickel** (0.1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La part des différents composés varie peu pendant la semaine de mesure pour les quatre métaux principalement rencontrés.

A l'exception du cuivre, les concentrations en métaux sont supérieures en gare de Bras-de-Fer par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame, en relation avec les concentrations en PM₁₀ plus élevées. Concernant le Cuivre, sa concentration en gare de Bras de Fer est trois à quatre fois plus basse qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, tout comme sa proportion dans les PM₁₀ (0,4 % contre 2,5% à la station de référence).

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 Bras-de-Fer, le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ est de 0.51. A titre de comparaison, ce ratio est de 0.4 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0.32 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0.7. Cet écart s'explique par des particules PM_{2.5} présentes en plus grande proportion dans la gare du Bras-de-Fer que dans les stations de référence.

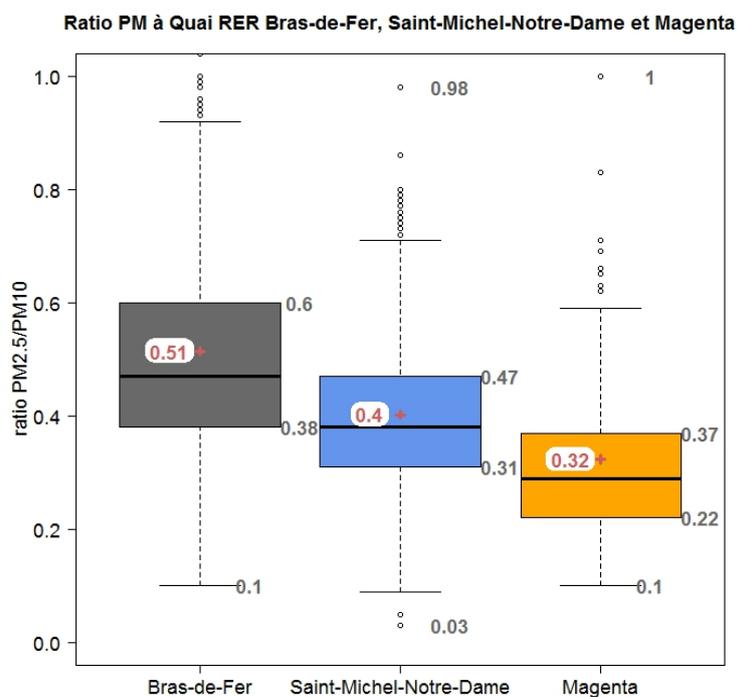


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM_{2.5}/PM₁₀, à la Gare RER D de Bras-de-Fer et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de PM_{2.5}/PM₁₀, présentées à la Figure 16, montrent une stabilité des valeurs toute la semaine, y compris les samedis/dimanches, aussi bien en gare de Bras-de-Fer qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. 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 est observée à partir du jeudi, en gare de Bras-de-Fer et de Saint-Michel-Notre-Dame, en lien avec la hausse en PM₁₀ et PM_{2.5} observées sur ces journées (cf. 2.2 VARIABILITE TEMPORELLE), en lien avec l'épisode de pollution.

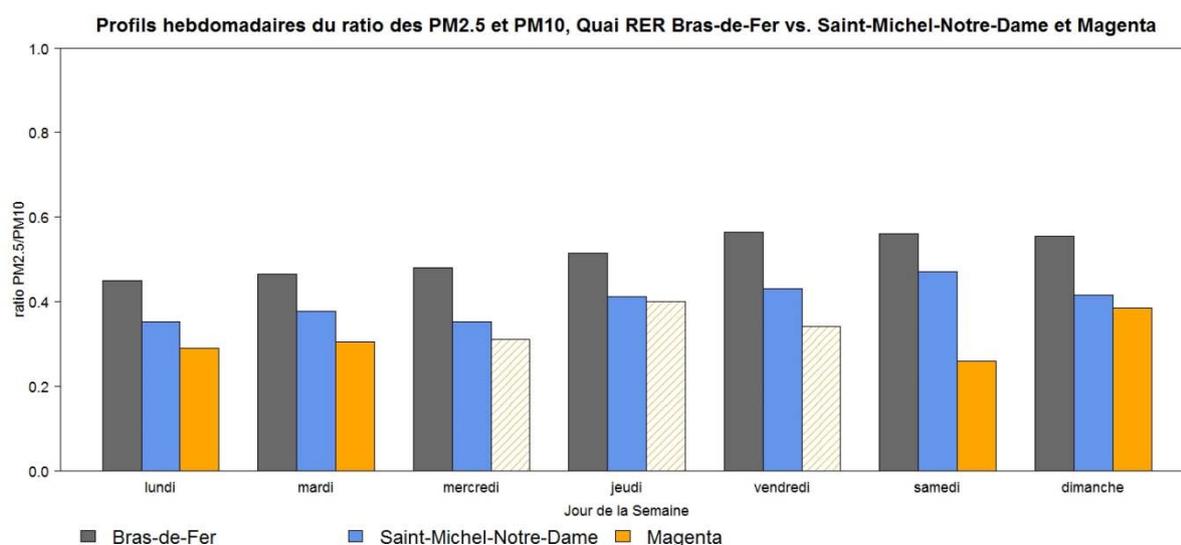


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER D de Bras-de-Fer et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame période du 14/11/2016 au 04/12/2016. En hachuré, données disponibles < 75%.

2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les profils hebdomadaires du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentés à la Figure 17. Les profils sont proches à Bras-de-Fer et à Saint-Michel-Notre-Dame en termes de niveaux, même si le ratio en gare de Bras-de-Fer est, la majorité du temps, supérieur à celui des autres gares. L'écart entre les trois gares s'atténue la nuit (1h-5h), période où les ratios maxima sont atteints.

En termes de variation, les ratios sont stables en journée, ils augmentent la nuit lorsque les particules PM_{10} se déposent au sol et que les concentrations en PM_{10} diminuent fortement. Un pic quotidien des ratios est observé en début d'ouverture de la gare (léger décalage temporel par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame).

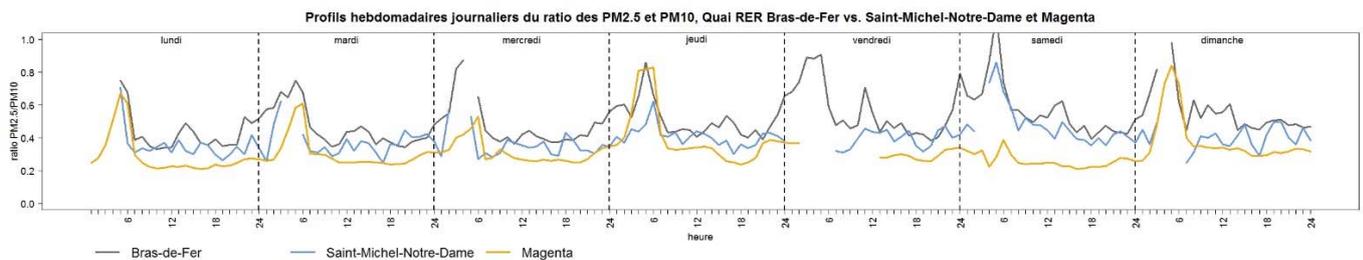


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER D de Bras-de-Fer et aux stations de référence, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

Les profils moyens journaliers du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ sont présentés à la Figure 18. Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 7h à 21h), aussi bien en gare de Bras-de-Fer qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, autour de 0.4. La nuit (entre 2h et 6h, lors de la fermeture au public, et à partir de 24h en gare de Bras-de-Fer), les ratios augmentent de 0.5 à 0.8 (autour de 0.6 aux stations de référence), traduisant une influence potentielle de l'air extérieur plus grande. 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.

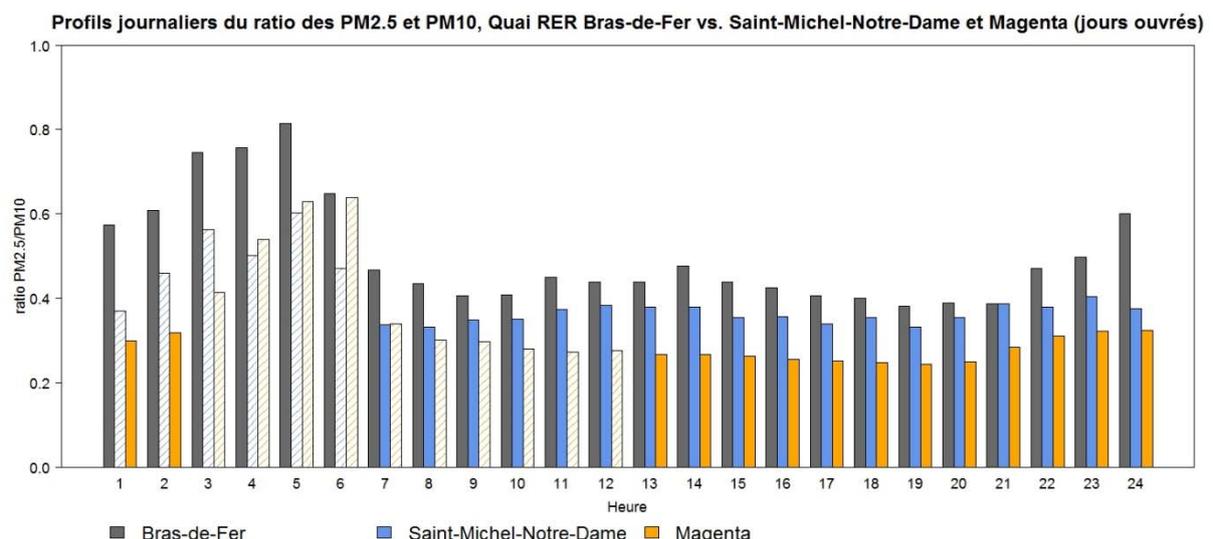


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER D de Bras-de-Fer et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 14/11/2016 au 04/12/2016 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ en gare de Bras-de-Fer atteint 0.51 à Bras-de-Fer, contre 0.4 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0.32 à Magenta.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est relativement stable, à l'échelle hebdomadaire, en gare de Bras de Fer, comme pour les deux stations de référence, avec une tendance légère à la hausse à partir du jeudi à Bras-de-Fer, comme à Saint-Michel-Notre-Dame. Cette tendance à la hausse du ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ peut en partie être expliquée par l'épisode de pollution aux particules observé sur la région Ile de France entre le 30 novembre et le 2 décembre.

A l'échelle journalière, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0.4 en journée, ratio qui augmente la nuit, entre 0.5 et 0.8, lorsque les particules PM_{10} se déposent au sol et que leurs concentrations diminuent fortement du fait de l'arrêt de l'activité en gare.

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 globalement conformes à ceux observés habituellement au cours d'un mois de novembre, hormis lors de l'épisode de pollution aux particules sur la région (30 novembre au 2 décembre). Les conditions météorologiques étaient peu dispersives sur cette période (vents très faibles, inversions de température et faible hauteur de mélange). Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁵, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible pendant la moitié de la campagne de mesure (11 jours, soit 52% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 7 jours (33% du temps). L'épisode de pollution a donné lieu à un jour d'indice « élevé » et deux jours d'indice « très élevé ». Cet épisode s'est traduit par des concentrations en particules PM₁₀ dans l'air ambiant extérieur plus importantes que la normale.

La concentration moyenne en PM₁₀ à la gare de Bras-de-Fer était de 161 µg/m³ lors de l'épisode de pollution, contre 95 µg/m³ en moyenne pendant la campagne hors épisode (jours ouvrés). Pour les PM_{2,5}, la concentration moyenne entre le 30/1 et le 02/12/2016 était de 95 µg/m³, contre 37 µg/m³ les autres jours.

⁵ http://www.airqualitynow.eu/fr/about_indices_definition.php : A travers une échelle de 5 couleurs allant du vert au rouge en passant par l'orange (5 classes et 5 qualificatifs, qualité de l'air " très faible " à " très élevée "), l'indice CITEAIR informe sur la qualité de l'air en situation de fond à travers un indice général. Les polluants pris en compte sont les polluants les plus problématiques, à savoir le NO₂, les PM₁₀ et l'ozone. Les données de CO, PM_{2,5} et SO₂ sont facultatives.

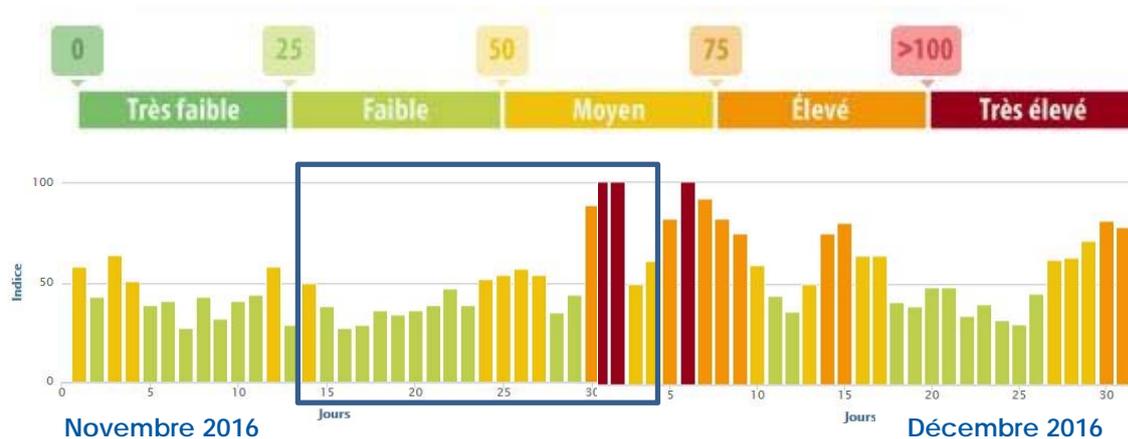


Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois de novembre et décembre 2016.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Bras-de-Fer avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée à la Figure 20, pour les particules PM_{10} et les particules fines $PM_{2.5}$. Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Bras-de-Fer sont liées aux niveaux enregistrés en air extérieur. Malgré l'absence d'un système de ventilation mécanique en place, la faible profondeur du quai (situé au 1^{er} sous-sol) permet à l'air extérieur de pénétrer jusqu'aux quais via les entrées/sorties de la gare. Un résultat similaire est observé en comparant les niveaux en air extérieur et les concentrations en particules ($PM_{2.5}$ et PM_{10}) sur les quais des stations de référence.

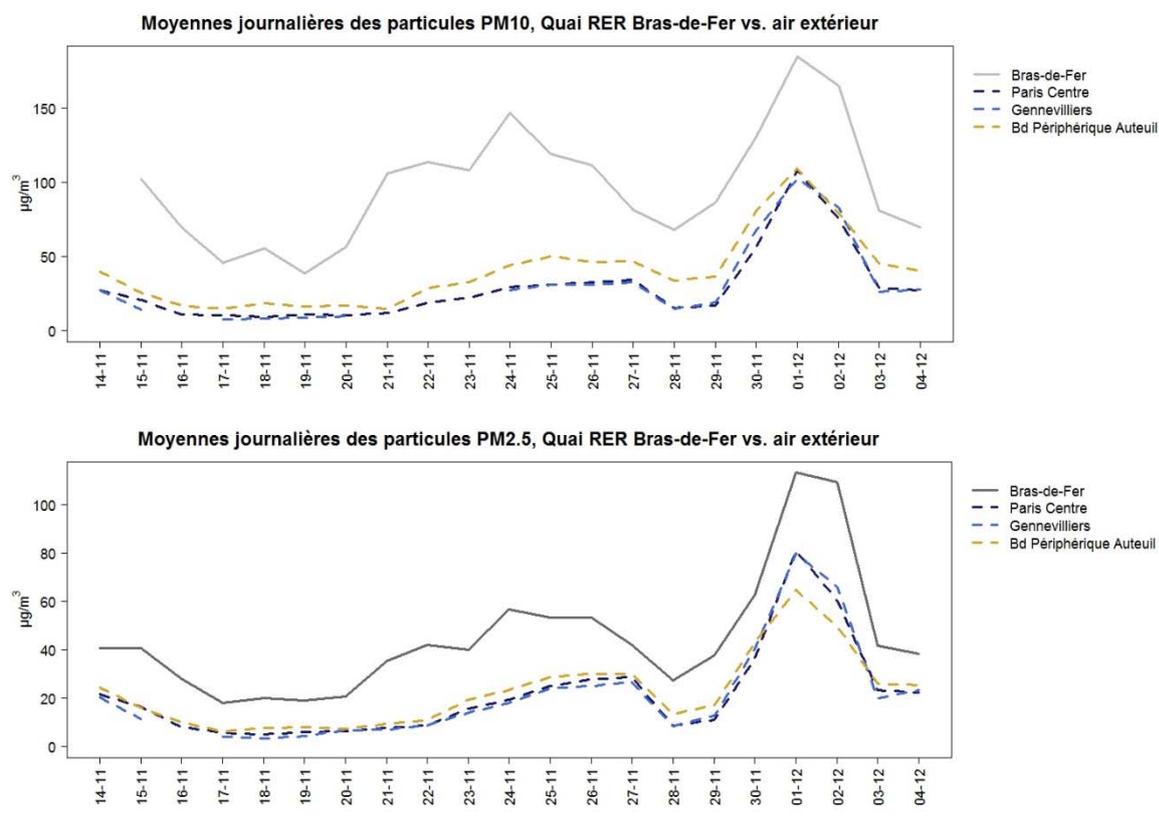


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en $PM_{2.5}$ (a) et en PM_{10} (b) en gare de Bras-de-Fer et en air extérieur (situation de fond à Paris Centre et Gennevilliers, en proximité du trafic routier à Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil), période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

La possibilité que la gare de Bras-de-Fer soit plus influencée par les niveaux extérieurs que les deux stations de référence a ainsi été exploitée. Pendant la campagne de mesure, un épisode de pollution aux particules a été observé sur l'agglomération parisienne du 30 novembre au 2

décembre. A cette occasion, des niveaux élevés de pollution en air extérieur concernant les particules PM₁₀ et PM_{2.5} ont été enregistrés. Les maxima ont été relevés dans le sud de l'agglomération parisienne : à la station de Vitry-sur-Seine, des teneurs supérieures de 5 à 10 µg/m³ aux mesures du centre de Paris (station Paris Centre) ont été observées. Pendant cet épisode de pollution, les niveaux mesurés à Bras-de-Fer atteignent en moyenne 10 à 20 µg/m³ de plus qu'à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, alors que les niveaux moyens sont similaires dans les deux gares en dehors de l'épisode de pollution. Il serait donc possible que la gare de Bras-de-Fer soit plus influencée par les niveaux extérieurs de pollution que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

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.

Des problèmes techniques n'ont pas permis de disposer des données pendant la première semaine de la campagne de mesure.

La température moyenne en gare de Bras-de-Fer est de 12°C, les relevés horaires ayant varié entre 6 et 16°C (3°C de moins en moyenne qu'à Saint-Michel-Notre-Dame ; Une telle différence est habituelle entre Paris et les communes de la grande Couronne, comme Evry).

L'humidité relative moyenne en gare de Bras-de-Fer est de 59%, les relevés horaires ayant varié de 37% à 79%. Ces relevés sont proches de ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO₂ sont fluctuants (mais moins que dans les gares de référence), en lien avec la fréquentation de la gare et l'épisode de pollution (les niveaux de CO₂ le 30 novembre, 1^{er} et 2 décembre ont augmenté de 20% par rapport au reste de la période de mesure). En moyenne de 448 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 376 ppm et 629 ppm lors des heures de pointe lors du pic de pollution. Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, seuil correspondant à une condition normale d'occupation d'un bâtiment non résidentiel⁶.

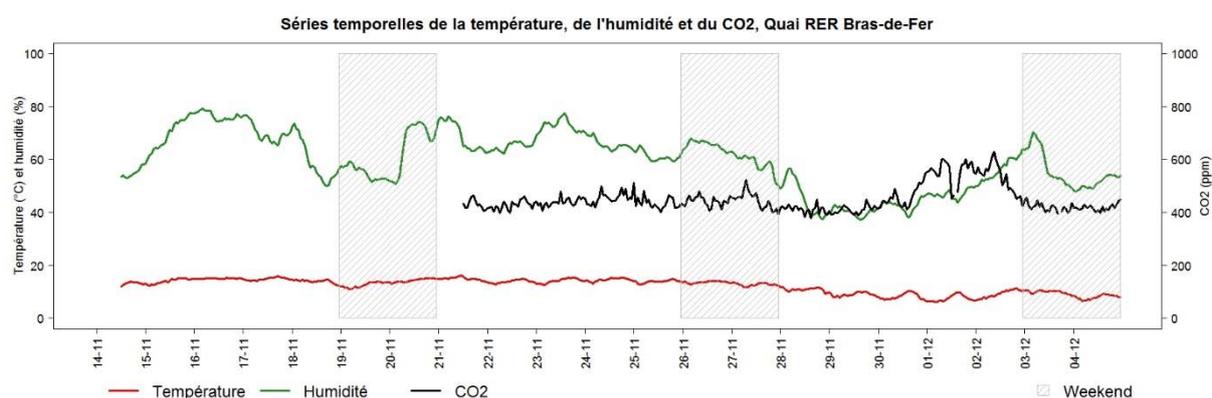


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés (cf. Figure 22) montre que les teneurs maximales en particules et en CO₂ sont simultanées (léger décalage le matin), à savoir à 10h le matin et 18-19h en fin de journée. Les variations des

⁶ Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.

concentrations de CO₂ sont en moyenne très faibles dans la gare de Bras-de-Fer, en lien avec la caractéristique « gare mixte » de la gare de Bras-de-Fer.

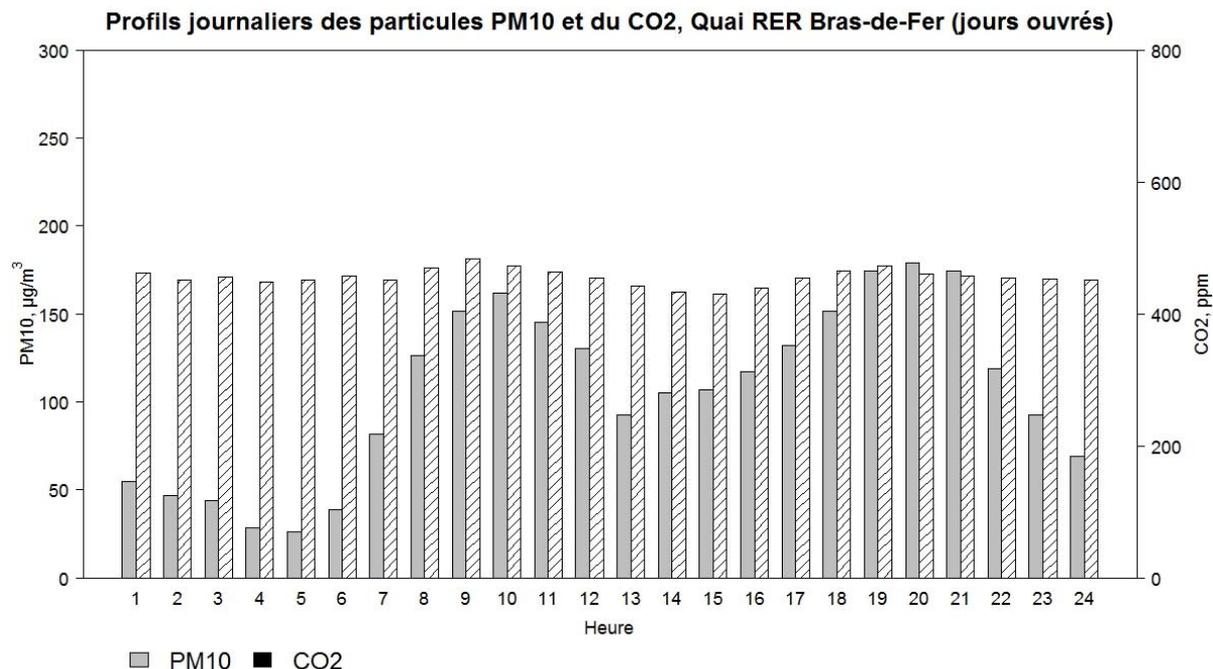


Figure 22 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%.

3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

Certains paramètres techniques de la gare doivent être pris en compte en tant que facteurs potentiels explicatifs des niveaux de particules, en comparaison avec les deux stations de référence :

- Fréquence des trains circulant sur les voies,
- Influence de la ventilation,
- Perturbations sur la circulation des trains.

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

En moyenne, les jours ouvrés, 189 circulent en gare de Bras-de-Fer (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 137 trains qui ont circulé en gare de Bras-de-Fer (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 121 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres, pour la gare de Bras de Fer, sont présentés en Figure 23 à l'échelle horaire.

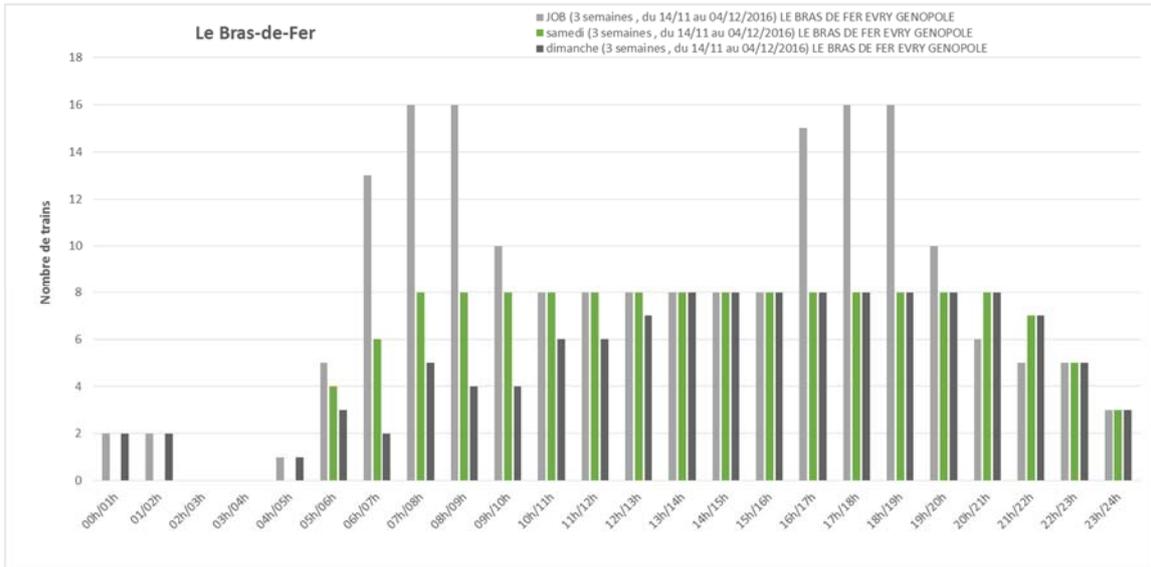


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

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 Bras-de-Fer. Le profil des teneurs en particules PM₁₀ est corrélé au nombre de trains en circulation.

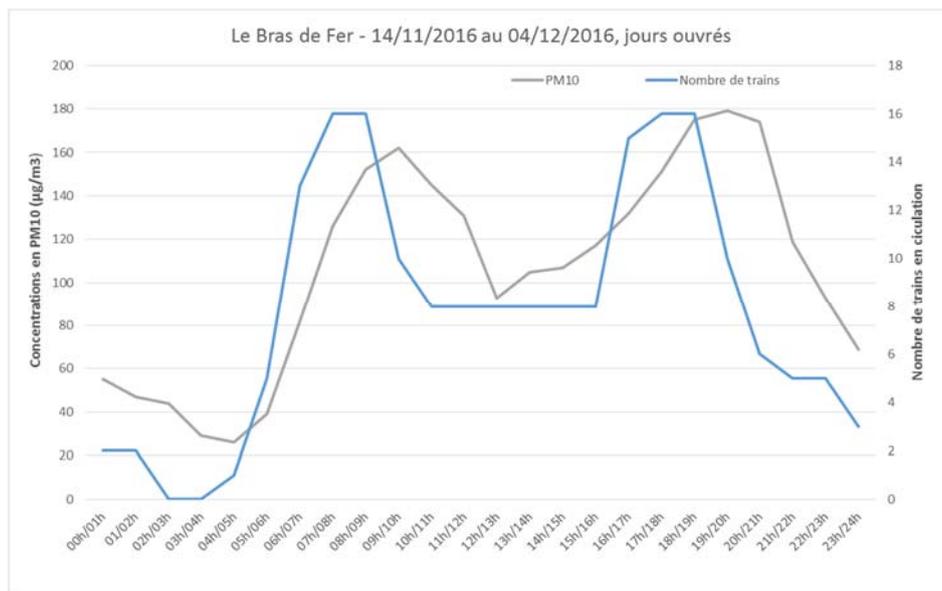


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules en fonction du jour de la semaine est présenté à la Figure 25.

En gare de Bras-de-Fer, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit clairement par une baisse des teneurs en particules (comparaison jours ouvrés/dimanche notamment) : baisse du 30 % du nombre de trains et diminution de 30% des niveaux de PM₁₀.

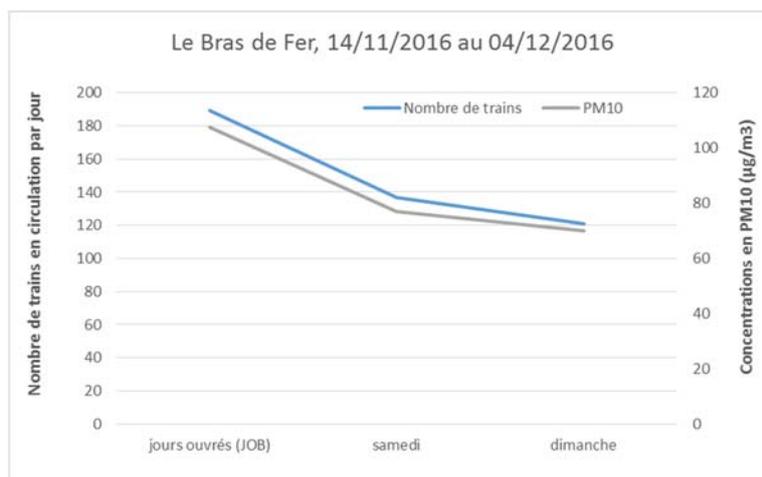


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER D de Bras-de-Fer, période du 14/11/2016 au 04/12/2016.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, la ventilation ou encore les paramètres techniques de la gare de Bras-de-Fer 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 faiblement corrélés avec les niveaux de particules en gare de Bras-de-Fer car les variations en CO₂ sont minimales.
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de Bras-de-Fer sont corrélées à celles mesurées en air extérieur. La faible profondeur du quai, permettant des échanges avec l'air extérieur par les entrées/sorties de la gare, qui ne dispose pas de système de ventilation mécanique, ainsi que la caractéristique « gare mixte » de Bras-de-Fer, peut expliquer en partie ce résultat. Ainsi l'épisode régional de pollution aux particules (air extérieur) du 30 novembre au 2 décembre a influencé les teneurs de particules sur le quai de la gare de Bras de fer, de façon plus nette que pour la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

4. CONCLUSION

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

- Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER D en gare de Bras-de-Fer au cours des mois de novembre/décembre 2016 étaient en moyenne de 98 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 296 µg/m³ (enregistré lors des heures de pointe du soir, lors de l'épisode de pollution).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} atteignent 45 µg/m³, pour un maximum horaire de 167 µg/m³ (maximum atteint aux mêmes dates et heures pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}).

Ces concentrations en particules PM₁₀ à la gare de Bras-de-Fer sont proches de celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée), aussi bien en termes de niveaux que d'évolution temporelle.

Ces concentrations en PM_{2.5} en gare de Bras-de-Fer sont supérieures à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame, et largement supérieures à celles de Magenta (RER E, station ventilée).

L'analyse complémentaire sur les particules PM₁₀ montre que la concentration totale de tous les métaux mesurés à Bras-de-Fer est supérieure à celle mesurée à Saint-Michel-Notre-Dame. L'analyse confirme la présence majoritaire du Fer (97 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Zinc et le Manganèse, dans des proportions nettement moins importantes que le Fer (1.5 % et 0.9 % des particules). En gare de Saint-Michel-Notre-Dame, les teneurs en Cuivre sont plus importantes, d'où une part dans les particules PM₁₀ plus élevée (2.5 % en moyenne à la station de référence, contre 0.4% en gare de Bras-de-Fer).

Les concentrations de particules en gare de Bras-de-Fer sont corrélées avec celles de l'air extérieur. Aussi les teneurs ont clairement augmenté sur le quai de la gare de Bras-de-Fer (et aux stations de référence) pendant l'épisode de pollution aux particules qui a touché la région Ile-de-France du 30/11 au 02/12/2016.

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

Ce rapport concerne les résultats de la troisième campagne de mesure Gare, après celle réalisée en gare RER C d'Austerlitz et celle réalisée en gare RER E de Haussmann-Saint-Lazare. Ces résultats 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 d'exposition des travailleurs.

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE BRAS-DE-FER

Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs montants /jour :
5 150 (source SNCF, carte des montants 2016)

Caractéristiques du matériel roulant :

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5300, Z20500

Véhicules compartimentés (4 à 5 voitures par rame)

Véhicules à 1 ou 2 niveau(x), entre 794 et 1330 places totales par train.

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

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



ANNEXE 2 :

DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

Indicateurs de la pollution retenus

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

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

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

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

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

Moyens techniques mis en œuvre

ANALYSEURS AUTOMATIQUES

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

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

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



Les concentrations en particules (PM₁₀)⁷ et particules fines (PM_{2,5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame.

PRELEVEMENTS MANUELS

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

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant⁸.

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES⁴ dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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

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



VALIDATION DES MESURES

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

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

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

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

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

⁷ Mesures des PM₁₀ et PM_{2,5} selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2,5} par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

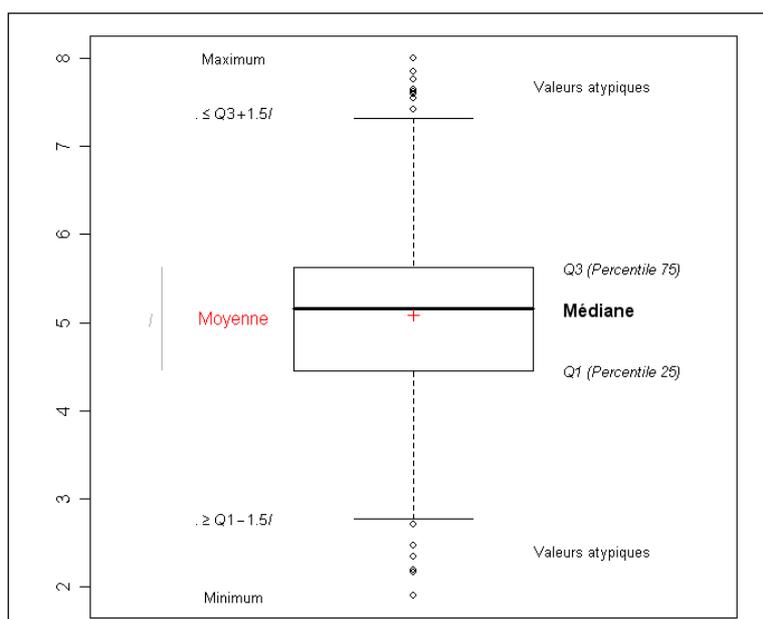
⁸ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 :

BOITE A MOUSTACHE

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

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



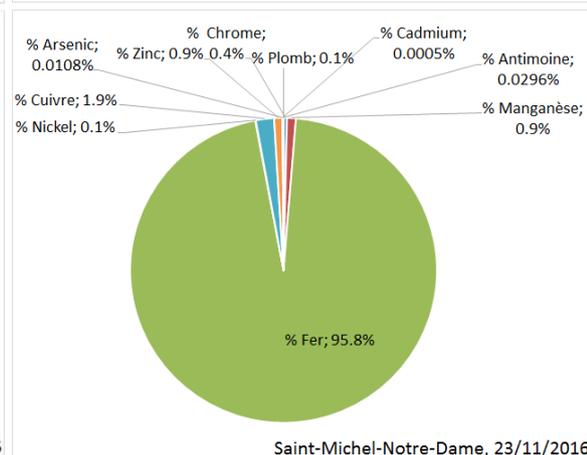
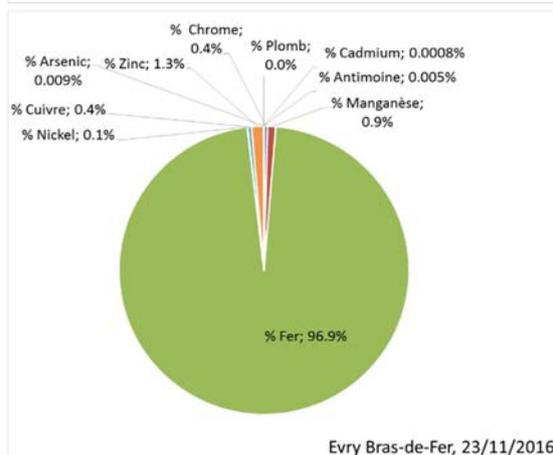
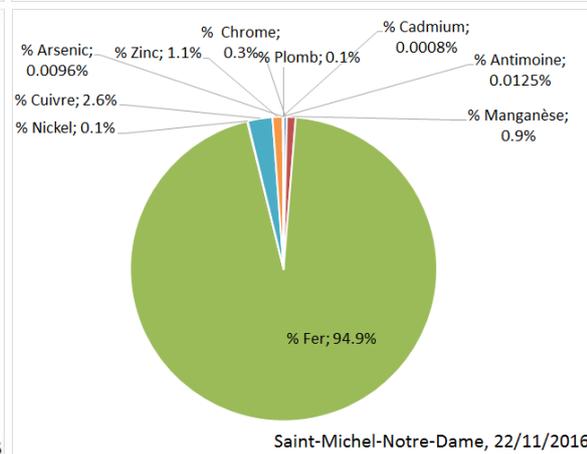
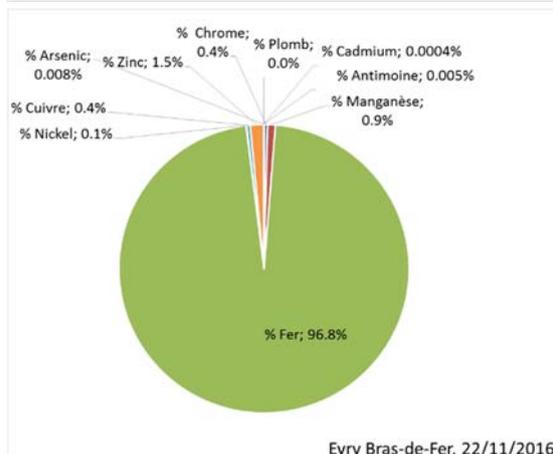
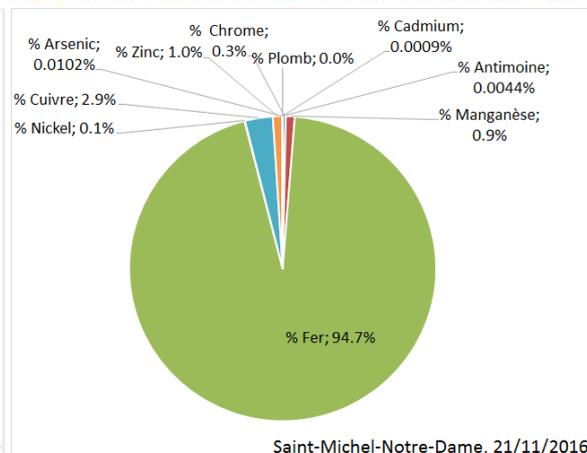
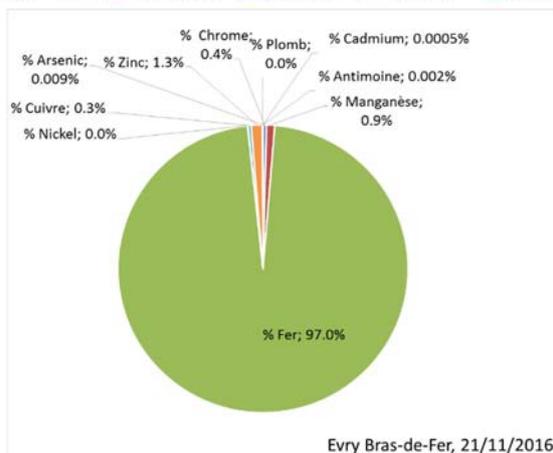
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des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

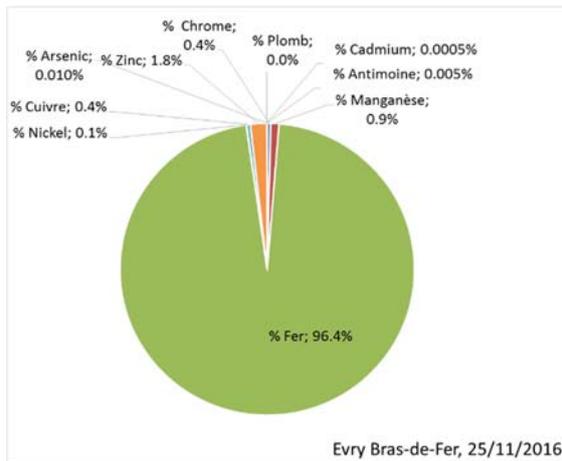
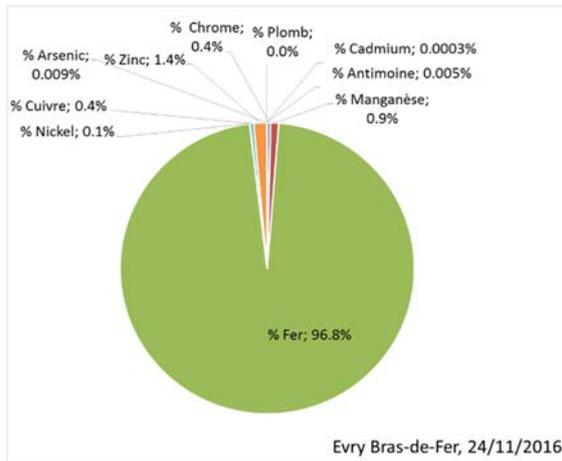
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE

■ % 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 D DE BRAS-DE-FER ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 21/11/2016 AU 25/11/2016.

