

# MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF D'AUSTERLITZ

Septembre 2016

Mai 2017



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 C EN GARE SNCF D'AUSTERLITZ – SEPTEMBRE 2016

Mai 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 dans 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 **05/09/2016 au 25/09/2016** à la gare **d'Austerlitz (RER C, quai A, direction Terminus Ouest)**. Les particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2,5</sub>) ont été suivies, ainsi que les métaux.

## Les principaux résultats :

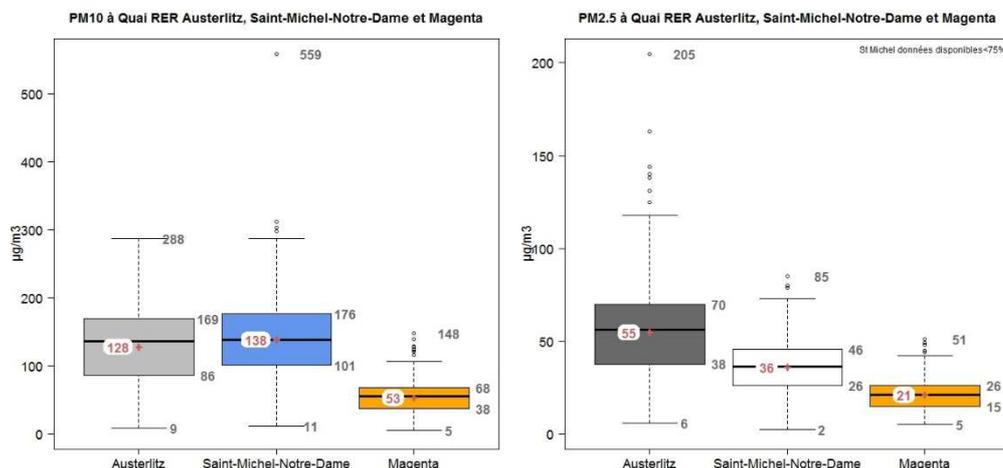
Les teneurs en particules fines PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare d'Austerlitz au cours du mois de septembre 2016 étaient en moyenne de 128 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 288 µg/m<sup>3</sup> (enregistré lors de travaux nocturnes).



Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteignent 55 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 205 µg/m<sup>3</sup> (maximum atteint au même moment pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>).

**Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ?** Les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> sont proches de ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (138 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la station Magenta (53 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

Comme pour les PM<sub>10</sub>, les niveaux moyens en PM<sub>2,5</sub> à Austerlitz (55 µg/m<sup>3</sup>) sont supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (21 µg/m<sup>3</sup>), mais également à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (36 µg/m<sup>3</sup>). Ceci démontre un fonctionnement différent de la gare RER d'Austerlitz par rapport à celle de Saint-Michel-Notre-Dame, avec probablement une source complémentaire de particules fines.

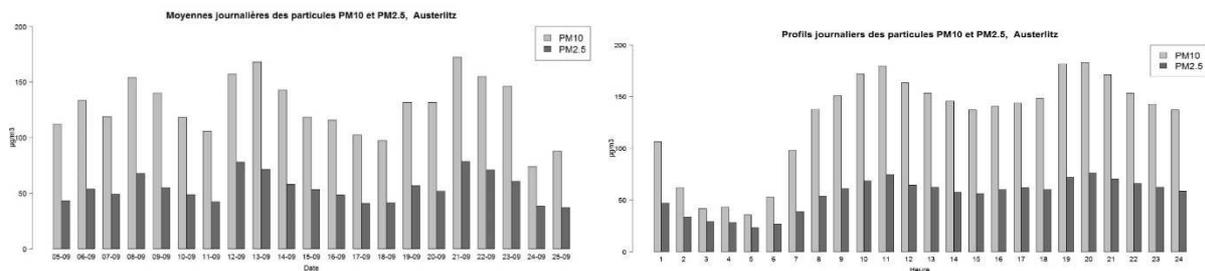


Les relevés en particules à la gare d'Austerlitz sont proches de ceux de la gare Saint-Michel-Notre-Dame, aussi bien en termes de niveaux que d'évolution temporelle, de façon plus marquée pour les PM<sub>10</sub> que les PM<sub>2,5</sub>. Cela s'explique par le positionnement voisin des deux gares sur la même ligne (RER C), d'où une similitude en termes de matériel roulant, système de freinage et d'un nombre de trains en circulation proche.

## 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 fluctue fortement au cours de la journée.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> (- 30%), en lien avec la baisse de fréquentation et de trafic le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).



Sur une journée ouvrée, les niveaux nocturnes sont les plus faibles, avec en moyenne 30 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 20 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub>. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales le matin vers 11h et du soir (20h) ». Les concentrations dépassent alors 200 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une heure en PM<sub>10</sub> et 85 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub>. Les profils (variabilité temporelle et niveaux observés) sont similaires à ceux observés à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

### Ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> s en gare d'Austerlitz est en moyenne de 0.46, comparable à ceux enregistrés aux sites de référence. En dehors des pics ponctuels observés notamment la nuit lors de travaux, le ratio est stable autour de 0.4, aussi bien les jours ouvrés que les samedis/dimanches.



### 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 ?

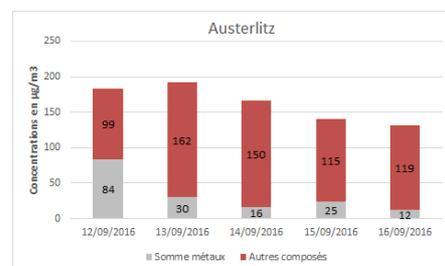
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM<sub>10</sub> varie de 9 à 46% sur la semaine de mesure en gare d'Austerlitz. La journée du lundi apparait différente des autres jours de la semaine. Cela peut être en lien avec une activité spécifique, de type travaux.

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

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés, aussi bien à Austerlitz qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite le **Zinc** et le **Cuivre** (1.3 % à Austerlitz). Le **Manganèse** représente 1% des prélèvements en métaux, le **Chrome** 0.3%, le **Nickel** 0.1%. Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

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

Les relevés journaliers ont évolué sur la semaine de prélèvement, de la même façon sur les deux sites de mesure : maximum le lundi, puis des niveaux plus faibles mais stables les autres jours de la semaine (voire des niveaux équivalents le mardi et le lundi à Saint-Michel-Notre-Dame pour certains métaux).



Ce rapport concerne les résultats de la première campagne de mesure Gare, qui ont vocation à être complétés par la suite de l'étude.

# SOMMAIRE

|  |    |
|--|----|
| SYNTHESE .....   | 4  |
| SOMMAIRE .....   | 6  |
| GLOSSAIRE .....  | 7  |
| INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS .....   | 8  |
| 1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE .....  | 10 |
| 1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....                                 | 10 |
| 1.2 PERIODE DE MESURE.....   | 11 |
| 2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE .....   | 12 |
| 2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI .....  | 12 |
| 2.1.1. PARTICULES PM <sub>10</sub> .....   | 13 |
| 2.1.2. PARTICULES PM <sub>2.5</sub> .....  | 14 |
| 2.2 VARIABILITE TEMPORELLE .....   | 15 |
| 2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE .....                        | 15 |
| 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....  | 17 |
| 2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE .....   | 17 |
| 2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES .....  | 19 |
| 2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....                                  | 20 |
| 2.3.2. REPARTITION DES METAUX .....  | 20 |
| 2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES .....  | 23 |
| 2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2.5</sub> ..... | 25 |
| 2.4.1. NIVEAUX MOYENS .....  | 25 |
| 2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....  | 25 |
| 2.4.3. VARIABILITE JOURNALIERE .....   | 26 |
| 3. FACTEURS D'INFLUENCE.....   | 28 |
| 3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR.....   | 28 |
| 3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT.....   | 29 |
| 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.....  | 30 |
| 4. CONCLUSION .....  | 32 |

# GLOSSAIRE

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

**ng/m<sup>3</sup>** 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.).

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

**NO** Monoxyde d'azote

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

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

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

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

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

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

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

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

- **Surveiller** par une combinaison de technologies (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 dans l'objectif est de mieux connaître et améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

Ce programme s'inscrit dans le cadre du renforcement de la surveillance de la qualité de l'air intérieur, prévu par le Grenelle de l'environnement<sup>1</sup>, afin de mieux documenter les niveaux et comprendre les facteurs d'influence. Aucun décret d'application spécifique aux enceintes souterraines ferroviaires n'est paru à ce jour et il n'existe pas de normes en vigueur dans ces espaces.

**L'objectif de ce programme est de documenter finement 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 PM<sub>10</sub> et les particules fines PM<sub>2.5</sub>. S'ajoutent également des mesures de métaux, dont certains sont des traceurs du trafic ferroviaire : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Chrome (Cr). Enfin, les paramètres de confort (CO<sub>2</sub>, Humidité et Température) 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 AEF<sup>2</sup>.

En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2.5</sub>). La station Saint-Michel-Notre-Dame mesure également les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Des relevés de métaux y sont également prévus. 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.

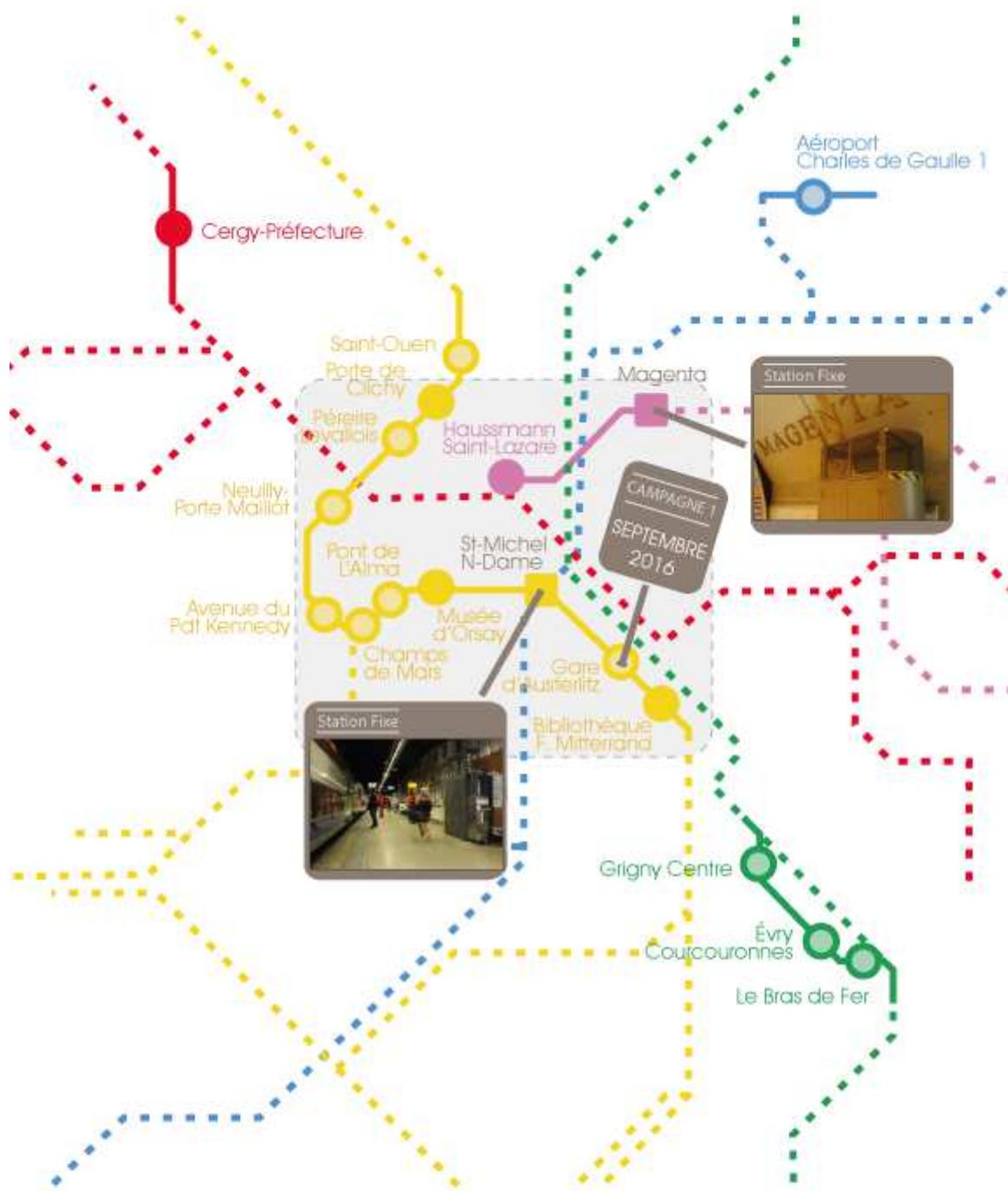
**C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare d'Austerlitz en septembre 2016, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.**

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

---

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

<sup>2</sup>AEF : Agence 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 et Saint-Michel-Notre-Dame).

# 1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

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

La gare d'Austerlitz, sur le RER C (Pontoise/Versailles Château/Saint-Quentin-en-Yvelines – Saint-Martin d'Etampes/Dourdan la Forêt), est concernée par le programme de partenariat.

Cette gare est de configuration multiple, c'est-à-dire avec des correspondances. Elle est connectée avec les lignes 5 et 10 du métro, et aux réseaux TER et Intercités (Gare de Paris Austerlitz). Elle est située au 85 quai d'Austerlitz, à Paris (XIII<sup>ème</sup>).

La gare Grandes Lignes est aérienne, mais la gare RER est souterraine, de profondeur moyenne. 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 d'Austerlitz (RER C) est de 27 536 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare d'Austerlitz (2 sens confondus) est de 514 les jours ouvrés (jours JOB), 456 les samedis et 392 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai A en direction de Terminus Ouest (Pontoise/Versailles Château/Saint-Quentin-en-Yvelines).



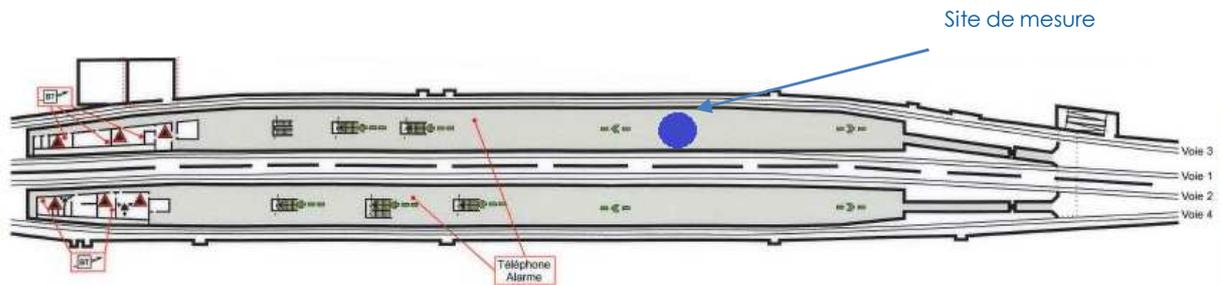


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Austerlitz, ligne RER C, quai A) et photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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

Pour rappel, des mesures en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et en métaux, ainsi que des relevés en CO<sub>2</sub>, humidité et température ont été réalisés à cette station.

## 1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de pollution atmosphérique à la gare d'Austerlitz ont été réalisées pendant 3 semaines, du **05/09/2016 au 25/09/2016**. 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 (l'impact de l'air extérieur étant potentiellement variable).

## 2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE

Ce paragraphe présente une analyse fine des données : statistiques, boîtes à moustaches, évolution temporelle des relevés à l'échelle horaire et journalière, profils journaliers et horaires.

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.

Les résultats présentent les niveaux observés dans la gare étudiée. Ils 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 d'Austerlitz et les gares de référence, sur la même période.

| Statistiques ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) | PM10 (particules fines) |                         |         | PM2.5 (particules très fines) |  |         |
|---|-------------------------|-------------------------|---------|-------------------------------|--|---------|
|   | Gare Austerlitz         | Saint-Michel-Notre-Dame | Magenta | Gare Austerlitz               | Saint-Michel-Notre-Dame                              | Magenta |
| Minimum horaire                           | 9                       | 11                      | 5       | 6                             | Moins de 75% de résultats disponibles sur la période | 5       |
| Percentile 25 (P25)                       | 86                      | 99                      | 37      | 38                            |  | 15      |
| Médiane ou Percentile 50                  | 137                     | 138                     | 55      | 56                            |  | 21      |
| Moyenne                                   | 128                     | 138                     | 53      | 55                            |  | 21      |
| Percentile 75 (P75)                       | 169                     | 176                     | 68      | 70                            |  | 26      |
| Maximum horaire                           | 288                     | 559                     | 147     | 205                           |  | 51      |
| % de données horaires valides             | 99                      | 79                      | 99      | 98                            | < 75   | 99      |

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare d'Austerlitz, période du 05/09/2016 au 25/09/2016.

Les niveaux moyens en  $\text{PM}_{10}$  relevés en gare d'Austerlitz 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 sont du même ordre de grandeur sur les trois gares, les maxima sont plus élevés à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les éléments statistiques en  $\text{PM}_{2.5}$  à la Gare RER C d'Austerlitz sont supérieurs à ceux de la station de référence Magenta.

## 2.1.1. PARTICULES PM<sub>10</sub>

Les relevés en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C d'Austerlitz, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel et Magenta, sont présentés à la Figure 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> en Gare RER C d'Austerlitz montre une répartition « équilibrée » des mesures. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C d'Austerlitz sont comprises entre 86 et 169 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 128 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 137 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum atteint à Austerlitz est de 288 µg/m<sup>3</sup> le 21/09/16 à 4h (heure locale), lorsque la gare est fermée au public (probablement des travaux de maintenance).

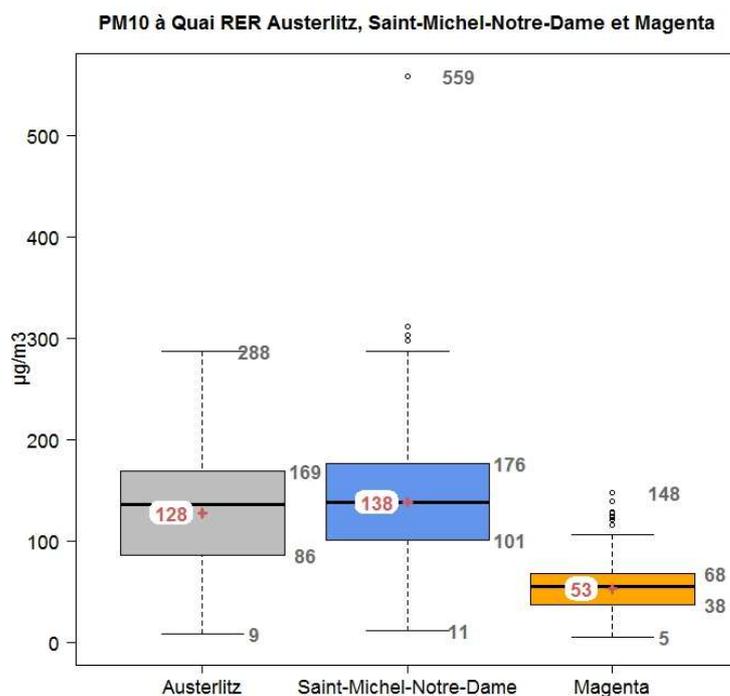


Figure 3 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C d'Austerlitz et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 05/09/2016 au 05/09/2016).

Les résultats en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C d'Austerlitz sont proches de ceux de la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame en terme de statistiques (minimum, moyenne, médiane), exception faite des maxima : des relevés horaires supérieurs à 300 µg/m<sup>3</sup> ont été relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame, liés à des travaux de maintenance. Les niveaux observés à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles (par exemple, en moyenne, 53 µg/m<sup>3</sup> sont enregistrés à Magenta, contre 128 µg/m<sup>3</sup> à Austerlitz).

Les boîtes à moustaches réalisées pour les particules PM<sub>10</sub> mettent en avant une dispersion des données comparable sur les sites d'Austerlitz et Saint-Michel-Notre-Dame (50 % des données se trouvent approximativement dans la fourchette de 100 - 170 µg/m<sup>3</sup>, ceci pour les deux gares).

Cette similitude s'explique par une activité très proche dans ces deux gares : il s'agit de deux gares situées sur la même ligne (RER C) et qui se suivent sur la ligne. Aussi la fréquentation en terme de trains en circulation est proche (514 circulant les jours ouvrés JOB à Austerlitz pendant la campagne de mesure, 477 trains théoriques circulant en gare de Saint-Michel-Notre-Dame). La gare de Magenta, qui est plus récente, plus grande et dotée d'une meilleure ventilation (ventilation mécanique), présente des teneurs plus faibles. Il existe une différence du nombre de voyageurs entre les deux gares, mais cette variable n'est pas corrélée avec les niveaux donc elle n'explique pas à elle seule les différences de niveaux observés : 27 536 voyageurs par jour (montant) en gare

d'Austerlitz, 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<sub>2.5</sub>

La boîte à moustaches des niveaux en PM<sub>2.5</sub> relevés à la gare RER C d'Austerlitz est présentée Figure 4, ainsi que celle des relevés de Magenta.

La boîte à moustaches montre une moyenne et une médiane très proches, ainsi que quelques valeurs « atypiques ». 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C d'Austerlitz sont comprises entre 38 et 70 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 55 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 56 µg/m<sup>3</sup>. A titre de comparaison, à Magenta, la moyenne des particules PM<sub>2.5</sub> sur la même période est de 21 µg/m<sup>3</sup>.

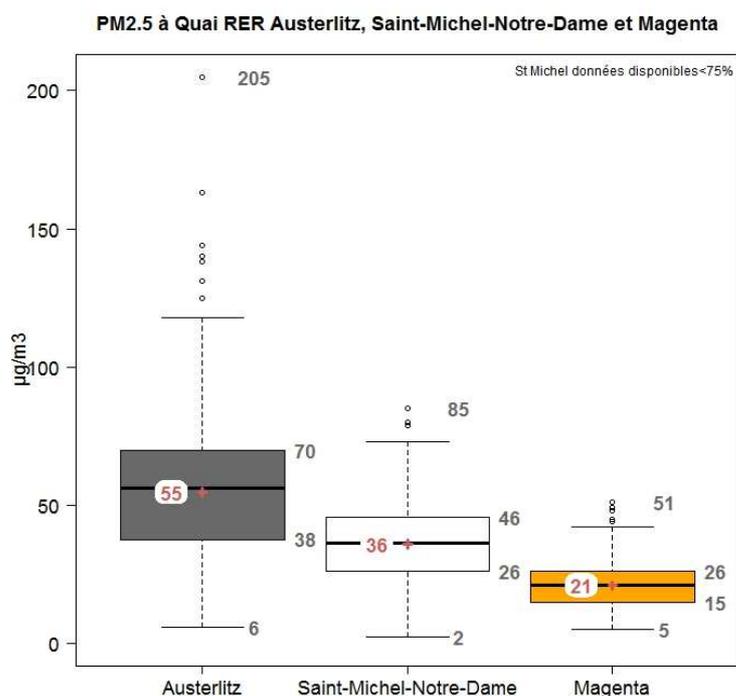


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C d'Austerlitz et à la station de référence Magenta, période du 05/09/2016 au 25/09/2016).

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C d'Austerlitz est de 128 µg/m<sup>3</sup> en particules PM<sub>10</sub> pendant la campagne, et 55 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>2.5</sub>.

Les niveaux moyens en particules PM<sub>10</sub> sont proches de ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (138 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la station Magenta (53 µg/m<sup>3</sup> enregistrés 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<sub>10</sub>

Les relevés horaires, présentés à la Figure 5, montrent des fluctuations importantes des niveaux 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 et de la remise en suspension, non présentes la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, en journée, les teneurs atteignent facilement 100 µg/m<sup>3</sup>, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de µg/m<sup>3</sup>, hors périodes éventuelles de travaux nocturnes. 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.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER C d'Austerlitz avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels très proches, aussi bien en termes d'évolution que de niveaux. Ceci à l'exception du pic nocturne du 08/09/2016 en Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (dû à des travaux nocturnes), non observé à Austerlitz. Cette similitude s'explique encore une fois par une activité très proche dans les deux gares : il s'agit de deux gares situées sur la même ligne (RER C) et qui se suivent sur la ligne. L'évolution temporelle des relevés de Magenta est analogue à celles des gares d'Austerlitz et Saint-Michel-Notre-Dame : niveaux faibles la nuit, teneurs plus élevées en journée en lien avec la fréquentation de la gare.

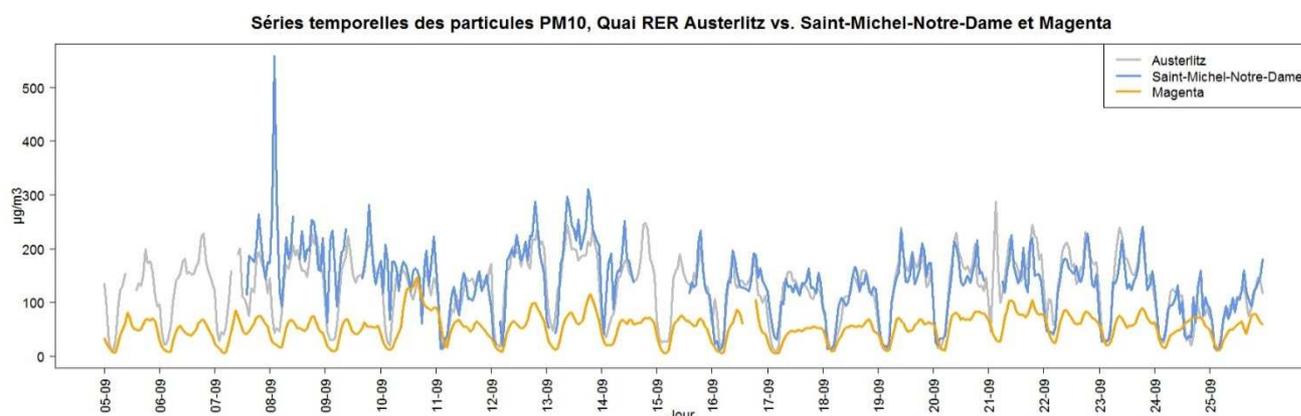


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C d'Austerlitz et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 05/09/2016 au 25/09/2016).

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

Les relevés horaires, présentés en Figure 6, montrent, comme pour les PM<sub>10</sub>, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit. Comme pour les particules PM<sub>10</sub>, cela 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). Ainsi, en journée, les teneurs atteignent facilement 50 µg/m<sup>3</sup>, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m<sup>3</sup>. Il est noté deux pics nocturnes en PM<sub>2.5</sub> lors de la période de mesure, un pic à 205 µg/m<sup>3</sup> le 21/09/2016 à 4h (simultané avec le maximum enregistré en PM<sub>10</sub>), un second à 163 µg/m<sup>3</sup> le 08/09/16 à 11h.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER C d'Austerlitz avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (période de disponibilité des données) montre des profils temporels très proches.

Concernant les teneurs, sur la période de données disponibles à Saint-Michel-Notre-Dame (8 jours environ), les niveaux en  $PM_{2.5}$  à la Gare RER C d'Austerlitz sont en moyenne supérieurs de 25 % ( $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne à Saint-Michel-Notre-Dame, contre  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Austerlitz). En termes de teneurs maximales, il existe également une différence :  $106 \mu\text{g}/\text{m}^3$  atteint à Austerlitz, contre  $85 \mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Michel-Notre-Dame. La différence de niveaux s'observe essentiellement en journée. Ces différences entre les deux gares nécessiteraient d'être confirmées par une étude sur une plus longue période. Une source potentielle de particules  $PM_{2.5}$  à la gare d'Austerlitz (par rapport à la gare Saint-Michel-Notre-Dame) pourrait être la circulation des locomotives diesel sur les grandes lignes en gare de surface d'Austerlitz. Cette « source » de pollution n'est pas présente à Saint-Michel-Notre-Dame.

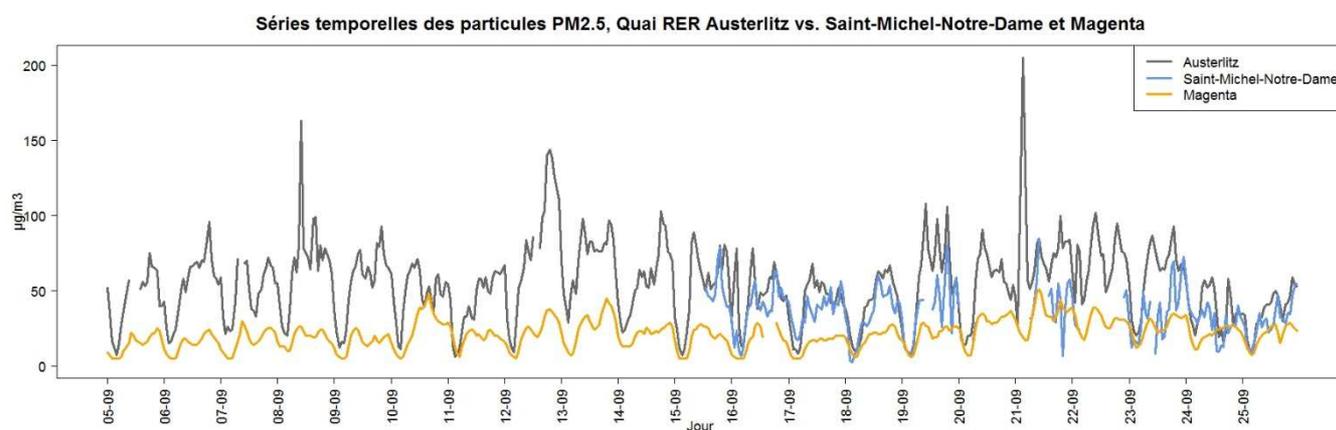


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en  $PM_{2.5}$ , en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (gare RER C d'Austerlitz et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 05/09/2016 au 25/09/2016).

Sur la période où les données sont disponibles (16 au 25/09/16), il apparaît que les relevés en  $PM_{2.5}$  en gare d'Austerlitz sont supérieurs de 25% de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame. Ceci démontre un fonctionnement différent de la gare RER d'Austerlitz par rapport à celle de Saint-Michel-Notre-Dame, avec probablement une source complémentaire de particules fines.

## 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare d'Austerlitz sont présentés à la figure suivante pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare d'Austerlitz et ceux de Saint-Michel-Notre-Dame et de Magenta.

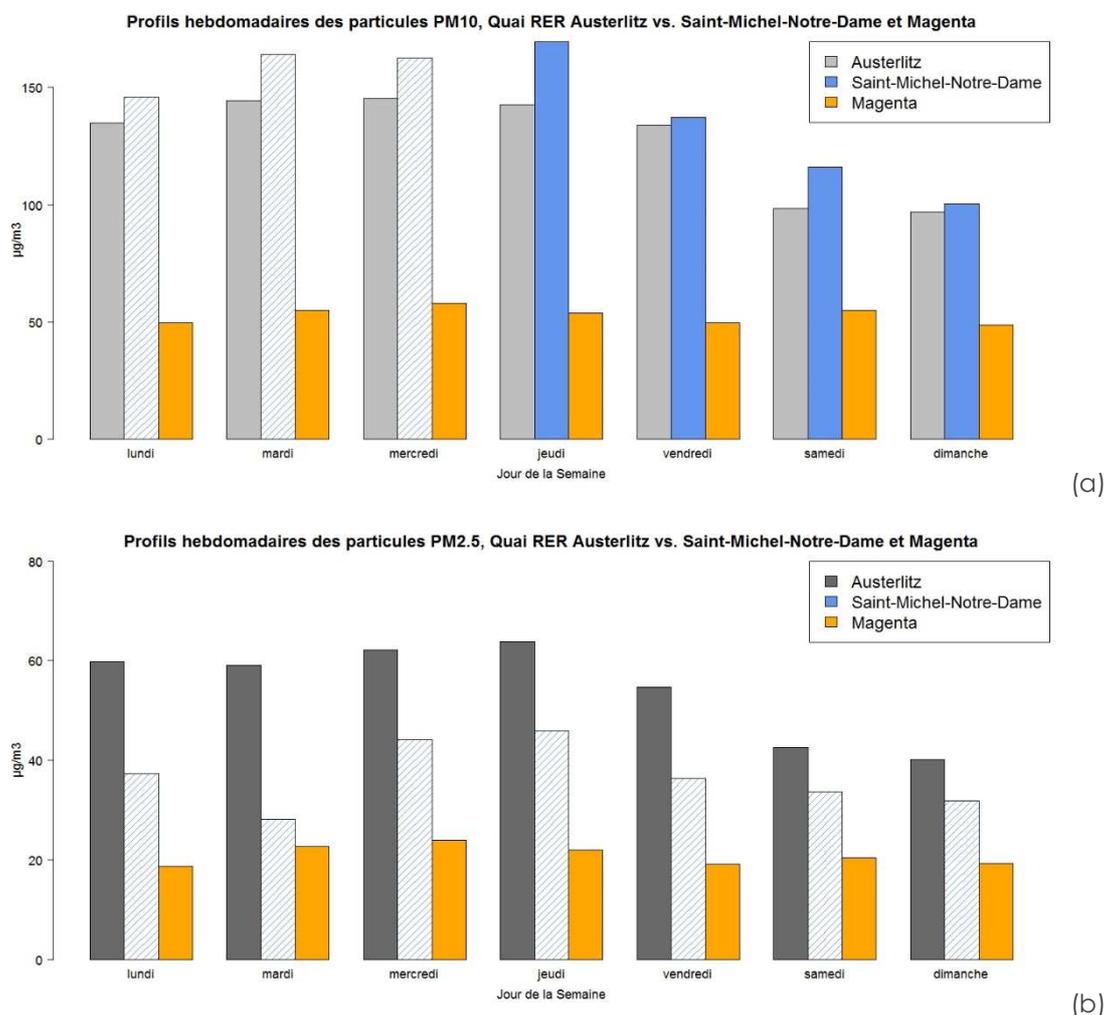


Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>2.5</sub> (b) et PM<sub>10</sub> (a) à la gare RER C d'Austerlitz, période du 05/09/2016 au 25/09/2016, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, ceci pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. En hachuré, données disponibles < 75%

Les niveaux moyens en particules sont stables les jours ouvrés (autour de 140 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une journée pour les PM<sub>10</sub>, 60 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>2.5</sub>). Ils diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 30% par rapport aux jours ouvrés, aussi bien pour les teneurs en PM<sub>10</sub> qu'en PM<sub>2.5</sub> : 100 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, 40 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>2.5</sub>. Ce résultat est en lien direct avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

La station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame présente également une diminution des niveaux les samedis/dimanches par rapport aux vendredis. La baisse sur les niveaux en PM<sub>10</sub> est d'environ 25% à Saint-Michel-Notre-Dame.

## 2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la figure suivante, résume les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés. Les particules PM<sub>10</sub> et les particules PM<sub>2.5</sub> ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules

à 11h et à 19h - 20h. En heure de pointe, les niveaux sont en moyenne sur la période de 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$  en gare d'Austerlitz.

A l'inverse, les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public. Les niveaux diminuent jusqu'à une cinquantaine de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$ , et environ 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{2.5}$ .

Ces profils journaliers en particules ( $\text{PM}_{10}$  et  $\text{PM}_{2.5}$ ) fluctuent en fonction de la circulation ferroviaire, à savoir des maxima lors des heures de pointe du matin et du soir (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ce constat, observable à la gare d'Austerlitz, l'est également aux gares de référence.

Le profil journalier en  $\text{PM}_{2.5}$  présente des variations horaires moindres que celui de  $\text{PM}_{10}$ , différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent la fraction la plus grossière des particules. Cela peut également s'expliquer en partie par un temps de déposition différent entre les particules (temps plus court pour les plus grosses particules).

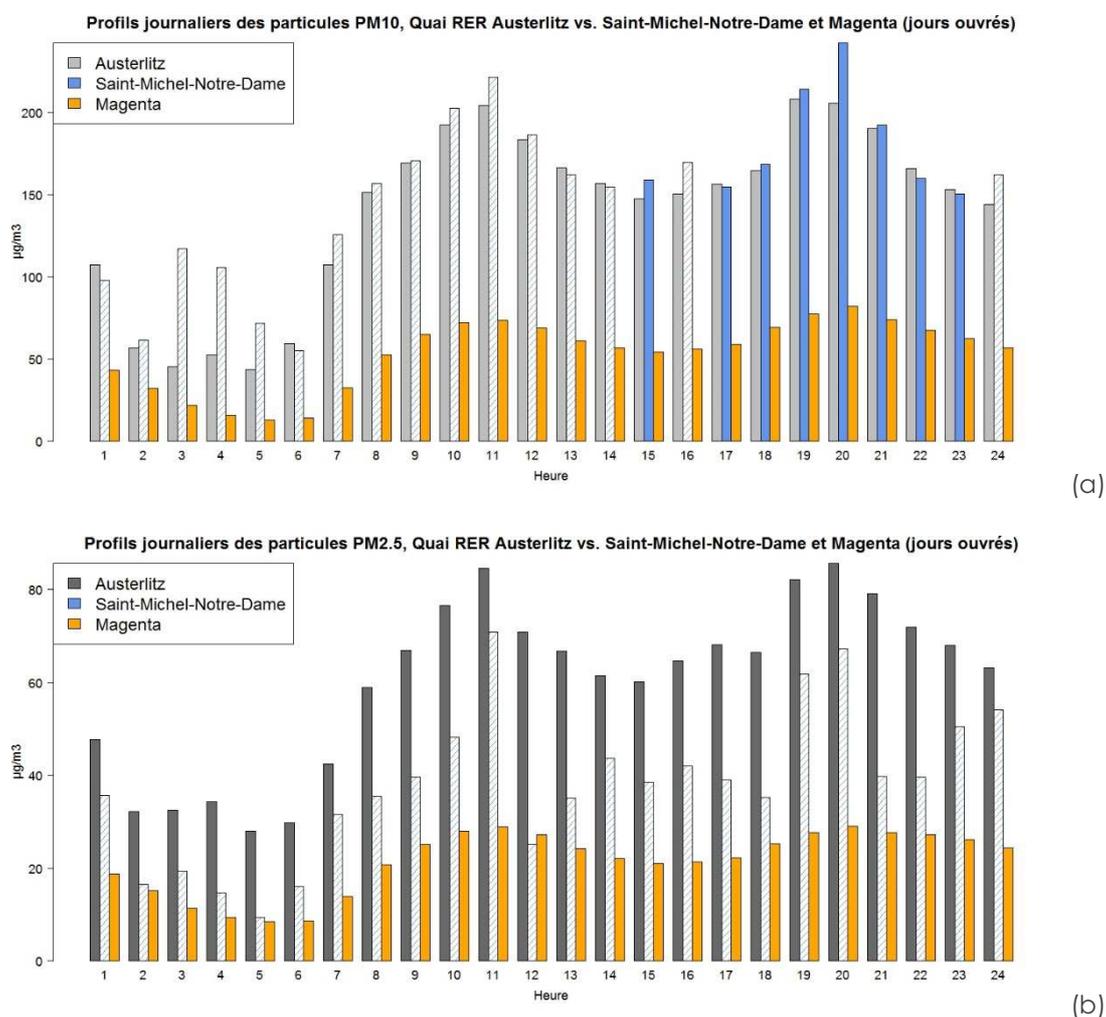


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en  $\text{PM}_{2.5}$  (b) et  $\text{PM}_{10}$  (a) à la gare RER C d'Austerlitz, période du 05/09/2016 au 25/09/2016 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

### 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  $\text{PM}_{10}$  et des  $\text{PM}_{2.5}$ , aussi en bien en gare d'Austerlitz qu'aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame. 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 aux heures de pointe) et les niveaux plus faibles avec atténuation des variations aux heures de pointe les samedis et dimanches.

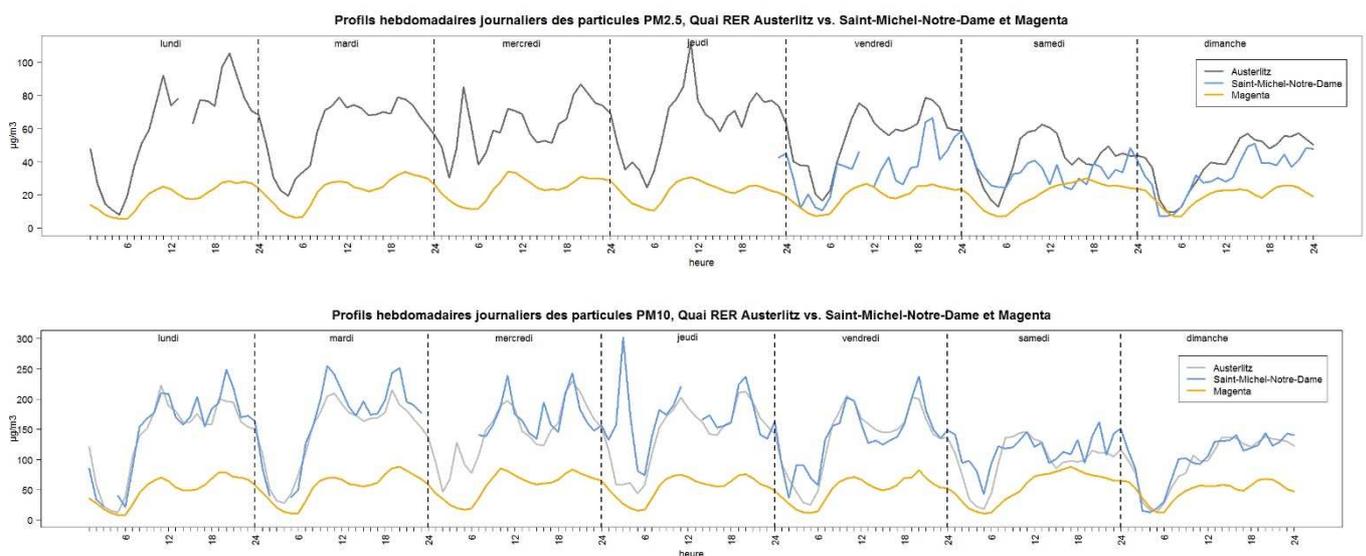


Figure 9 – Évolution des profils horaires en PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub> à la gare RER C d'Austerlitz, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/09/2016 au 25/09/2016.

Les variations temporelles 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<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> (- 30%), en lien avec la baisse de fréquentation le week-end. Cette observation est aussi bien valable en gare d'Austerlitz qu'aux stations de référence.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 50 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 30 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub>. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, lors des « pointes du matin » (maximum observé à 11h) et du soir (maximum à 20h) ». Les concentrations sur le quai dépassent alors 200 µg/m<sup>3</sup> en moyennes sur une heure en PM<sub>10</sub>, et 85 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub>.

## 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 poussières minérales. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes souterraines, notamment des systèmes de freinage<sup>3</sup>, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM<sub>10</sub> en gare d'Austerlitz chaque jour ouvré pendant une semaine (du 12 au 16 septembre). 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.

<sup>3</sup> Pollution chimique de l'air dans les enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective – Septembre 2015, Edition scientifique.

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 littérature<sup>3</sup>.

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

Le graphique suivant (Figure 10) montre la part de métaux enregistrés parmi les particules PM<sub>10</sub>, pour chaque journée de mesure, en gare d'Austerlitz et de Saint-Michel-Notre-Dame.

En gare d'Austerlitz, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 12 µg/m<sup>3</sup> (le 16/09/16) à 84 µg/m<sup>3</sup> (le 12/09/16). En comparaison avec la concentration en particules PM<sub>10</sub> enregistrée les mêmes journées, la part des métaux varie de 9 à 18% (mis à part 46% le 12/09/2016).

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la somme des métaux a varié entre 12 µg/m<sup>3</sup> (le 16/09/16) et 78 µg/m<sup>3</sup> (le 12/09/16). La part de métaux a varié de 8 % (le 16/09/16) à 35 % (le 12/09/16).

Une activité spécifique le 12/09/2016 en gare d'Austerlitz est peut-être à l'origine des concentrations particulières observées.

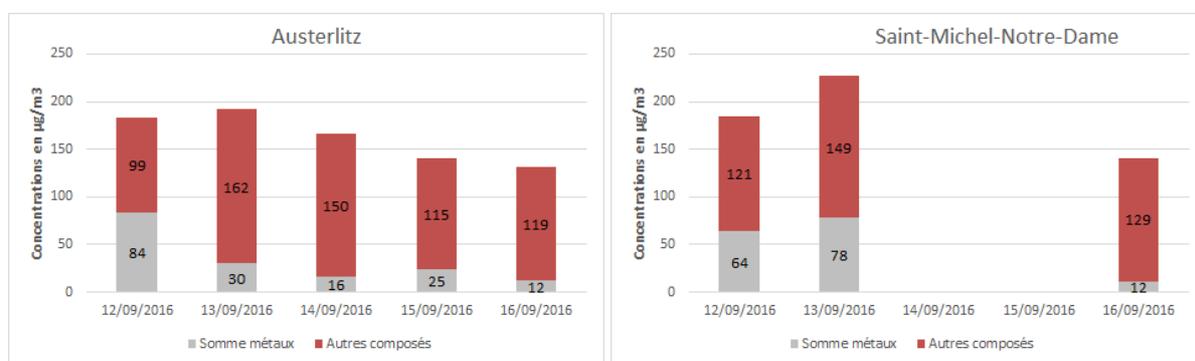


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement, à la gare RER C d'Austerlitz et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

### 2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés mesurés entre le 12 et le 16/09/2016. La contribution moyenne de chaque métal est proche à Austerlitz et Saint-Michel-Notre-Dame.

Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4. Ces graphiques montrent une répartition en métaux stables sur les différentes journées de mesure et proche entre les deux gares (Austerlitz et Saint-Michel-Notre-Dame).

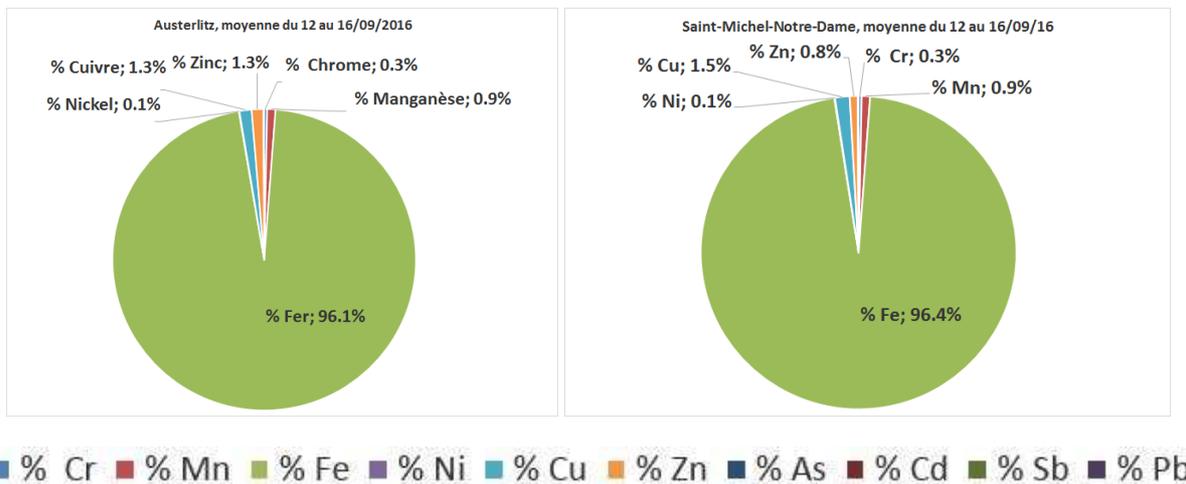


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 12 au 16 septembre 2016, en gare d'Austerlitz et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

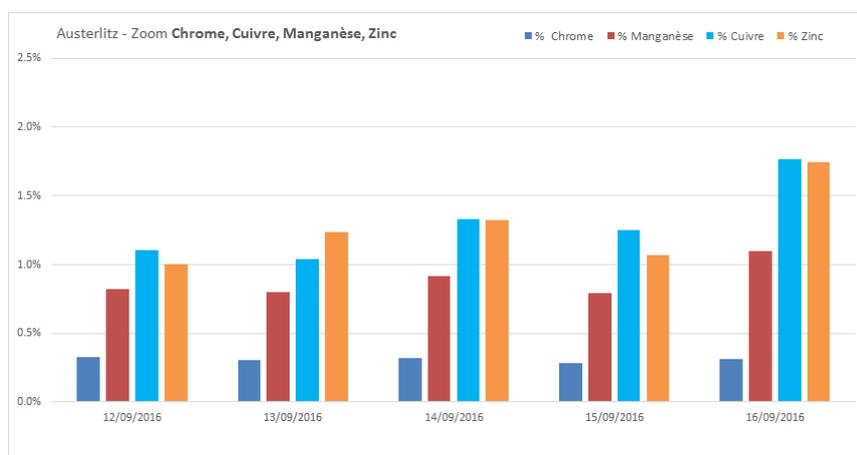
Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés, aussi bien à Austerlitz qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les deux métaux les plus retrouvés sont ensuite le zinc et le cuivre, mais dans des proportions beaucoup moins importantes : 1.3 % pour le **Cuivre** en gare d'Austerlitz (1.5 % à Saint-Michel-Notre-Dame) et 1.3 % pour le **zinc** (0.8% à la station de référence).

Le **Manganèse** représente 1% des prélèvements en métaux (proportion équivalente sur les deux sites). Suivent ensuite le **Chrome** (0.3%) et le **Nickel** (0.1%).

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

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare d'Austerlitz 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.



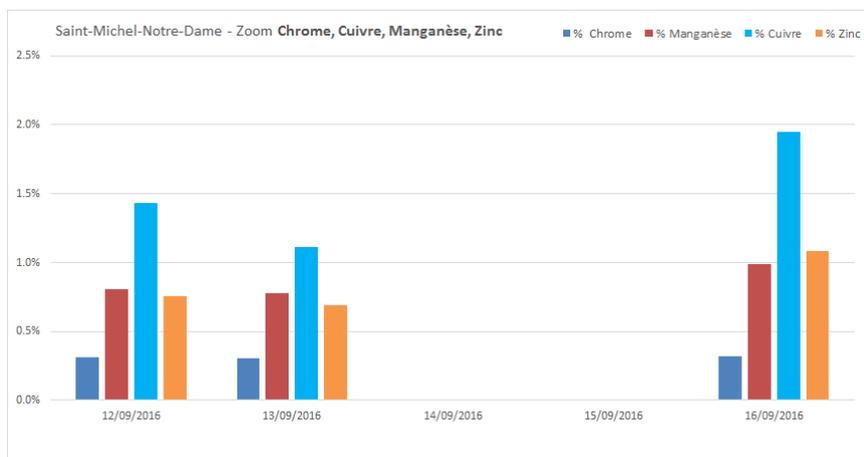


Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C d'Austerlitz et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

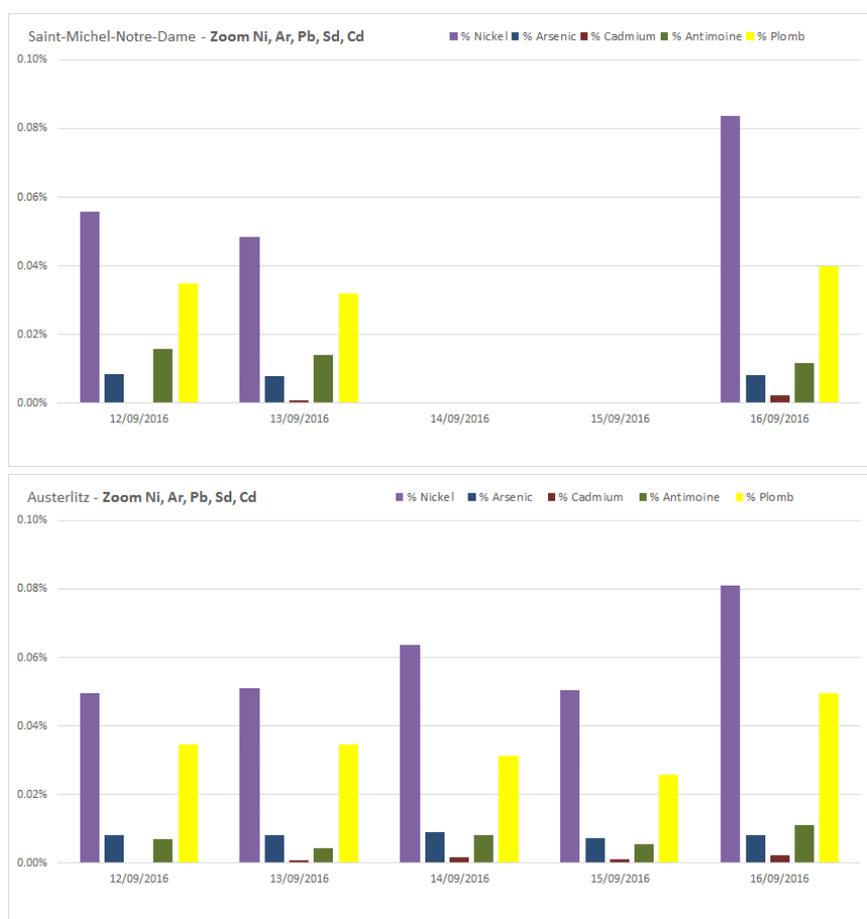


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C d'Austerlitz et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

La part de chrome dans les métaux est stable et identique à Austerlitz et Saint-Michel-Notre-Dame (0.3%). De même, la part d'arsenic et le Cadmium sont stables et identiques à Austerlitz et Saint-Michel-Notre-Dame (respectivement 0.01% et 0.001 à 0.002%). Pour les autres composés, leur part fluctue d'un jour à l'autre et d'un site à l'autre, de façon plus ou moins importante.

Les sources connues 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 freinage.

- 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.

### 2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 14) présente les concentrations observées pour le Fer. Les teneurs en **Fer** ont beaucoup varié sur les deux sites de mesure (à Austerlitz et à Saint-Michel-Notre-Dame), passant en gare d'Austerlitz de 11,55  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  le vendredi 16/09/2016, à 81  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  le lundi 12/09/2016. A Saint-Michel-Notre-Dame, les niveaux soutenus ont concerné le lundi et mardi (respectivement 61,7 et 75,5  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ). La journée du vendredi 16/09/2016 a présenté des niveaux moindres, du même ordre de grandeur sur les deux sites de mesure.

Ces niveaux sont en lien direct avec les concentrations en particules  $\text{PM}_{10}$  observées sur ces mêmes journées, comme évoqué au paragraphe précédent.

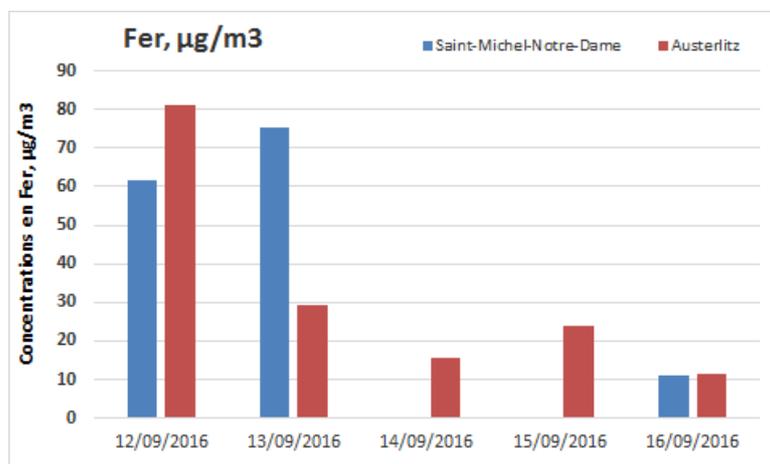


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer à la gare RER C d'Austerlitz et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

Quatre métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques dizaines de  $\text{ng}/\text{m}^3$  à quelques centaines de  $\text{ng}/\text{m}^3$ . 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 215 à 925  $\text{ng}/\text{m}^3$ , les résultats sont du même ordre de grandeur aux deux gares.

Les teneurs journalières en **Zinc** sont du même ordre de grandeur sur les deux sites de mesure (125 à 540  $\text{ng}/\text{m}^3$ ), mis-à-part la teneur journalière du 12/09 en gare d'Austerlitz (840  $\text{ng}/\text{m}^3$ ).

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 115 et 690 ng/m<sup>3</sup> (maximum enregistré en gare d'Austerlitz).

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** étaient moins importantes, entre 40 à 275 ng/m<sup>3</sup>, les teneurs étant proches entre les deux gares.

Même si les teneurs sont proches sur les deux sites, les maxima ne sont pas forcément enregistrés les mêmes jours. Le 13/09, les teneurs en certains métaux (cuivre, manganèse et chrome) ont été plus fortes à Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Austerlitz. L'évolution temporelle de chaque composé en gare d'Austerlitz est identique à celle déjà décrite précédemment pour le Fer, à savoir un maximum journalier le lundi 12/09/2016, puis des concentrations journalières plus faibles mais proches les mercredi, jeudi et vendredi. A Saint-Michel-Notre-Dame, selon le composé, les teneurs enregistrées le mardi 13/09/16 sont soit du même ordre de grandeur que la veille (le lundi), soit proches des valeurs observées le reste de la semaine. Aussi une activité spécifique en gare de Saint-Michel-Notre-Dame le mardi 13/09/2016 est peut-être à l'origine des niveaux observés.

Pour les cinq autres métaux, l'évolution temporelle est identique que celles précédemment décrite pour les autres métaux, seuls les niveaux journaliers varient :

- Entre 10 et 42 ng/m<sup>3</sup> pour le nickel,
- Entre 5 et 30 ng/m<sup>3</sup> pour le Plomb.
- Entre 1 et 11 ng/m<sup>3</sup> pour l'antimoine,
- Entre 1 et 7 ng/m<sup>3</sup> pour l'Arsenic,
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m<sup>3</sup>.

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM<sub>10</sub> varie de 9 à 46% sur la semaine de mesure en gare d'Austerlitz.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés, aussi bien à Austerlitz qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite le **Zinc** et le **Cuivre** (1.3 % à Austerlitz). Le **Manganèse** représente 1% des prélèvements en métaux, le **Chrome** 0.3%, le **Nickel** 0.1%. Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La journée du lundi 12/09/2016 apparaît différente des autres jours de la semaine à Austerlitz, le mardi apparaît également spécifique pour les relevés de Saint-Michel-Notre-Dame. Cela peut être en lien avec une activité spécifique type travaux.

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

## 2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM<sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM<sub>2.5</sub>

Sachant que la part relative des PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> peut servir à identifier des sources de particules différentes, les relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> et en PM<sub>2.5</sub> peuvent être comparés entre eux.

### 2.4.1. NIVEAUX MOYENS

Les particules émises par le trafic ferroviaire (passage des trains, freinage, remise en suspension) sont de grosses tailles. En moyenne, les niveaux enregistrés en particules PM<sub>10</sub> sont 2.3 fois plus importants que ceux en PM<sub>2.5</sub> (128 µg/m<sup>3</sup> contre 55 µg/m<sup>3</sup>) en gare d'Austerlitz.

Le ratio entre particules très fines (PM<sub>2.5</sub>) et particules fines (PM<sub>10</sub>) est présenté à la Figure 15. En moyenne, en gare d'Austerlitz, le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est de 0.46. A titre de comparaison, ce ratio est de 0.42 à Magenta (non disponible à Saint-Michel-Notre-Dame). En air extérieur, le ratio est plus proche de 0.7.

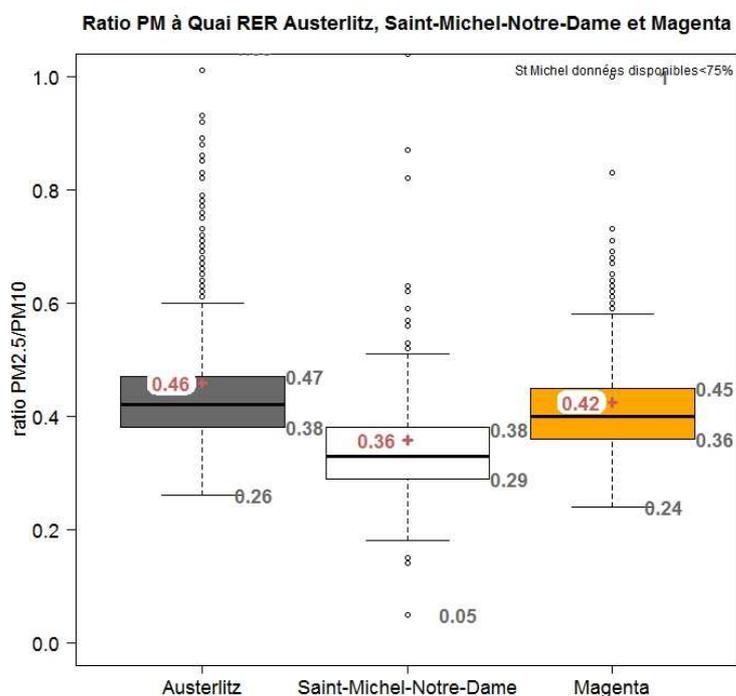


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, à la Gare RER C d'Austerlitz et à la station de Magenta (données non-disponibles à Saint-Michel-Notre-Dame), période du 05/09/2016 au 05/09/2016.

### 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 d'Austerlitz qu'à Magenta. Cela s'explique par des sources stables en PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub>, quelle que soit la journée.

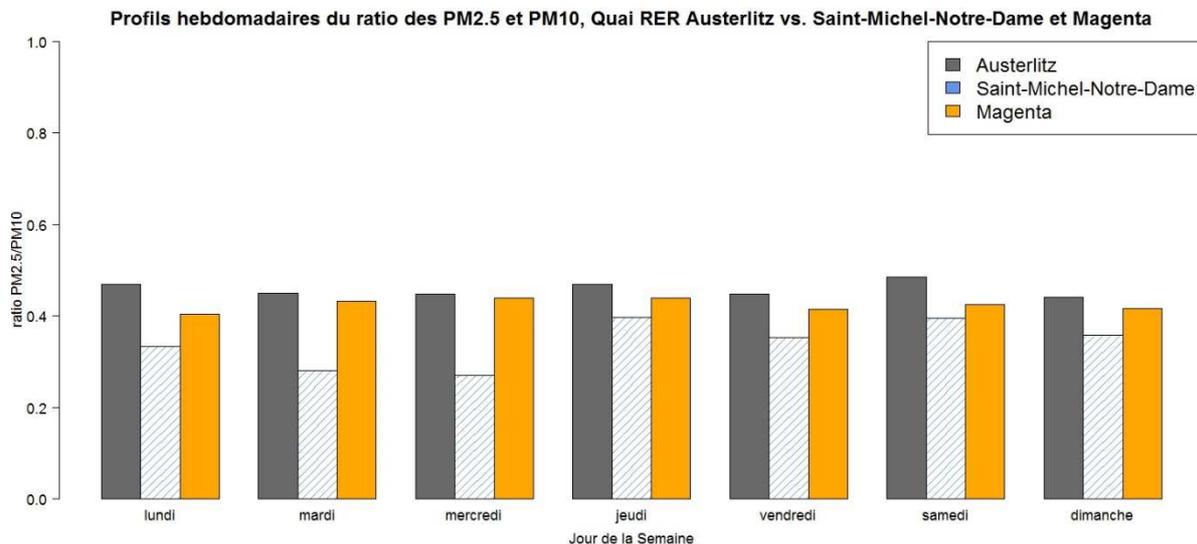


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire de ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C d'Austerlitz et à la station de référence de Magenta, période du 05/09/2016 au 25/09/2016. En hachuré, données disponibles < 75%

### 2.4.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17. Les profils sont proches à Austerlitz et Magenta. Sur les vendredi/samedi/dimanche, lorsque les données sont disponibles à Saint-Michel-Notre-Dame, les ratios à cette station en journée sont généralement inférieurs à ceux d'Austerlitz et Magenta (sauf la nuit). Cela s'explique par des concentrations en PM<sub>2.5</sub> proportionnellement moins importantes que celle de PM<sub>10</sub> à Saint-Michel-Notre-Dame (point présenté précédemment).

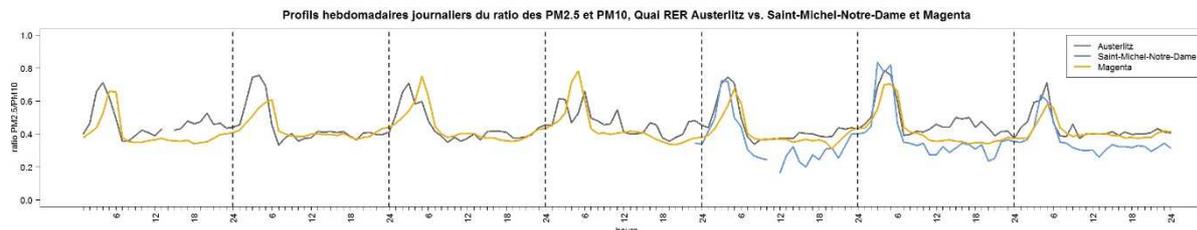


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C d'Austerlitz et aux stations de référence, période du 05/09/2016 au 25/09/2016.

L'étude des profils moyens journaliers (Figure 18) montre une certaine stabilité des ratios en journée (de 7h à 1h), aussi bien en gare d'Austerlitz qu'à Magenta, autour de 0.4, exception faite pour la nuit (entre 2h et 6h, lors de la fermeture de la gare au public), avec des ratios atteignant 0.7.

Cela s'explique par des niveaux nocturnes ponctuellement influencés par des travaux, qui se traduisent par des concentrations en particules élevées et un ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> non représentatif de l'air respiré par les usagers des enceintes souterraines ferroviaires.

Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>, peut également expliquer en partie ces différences.

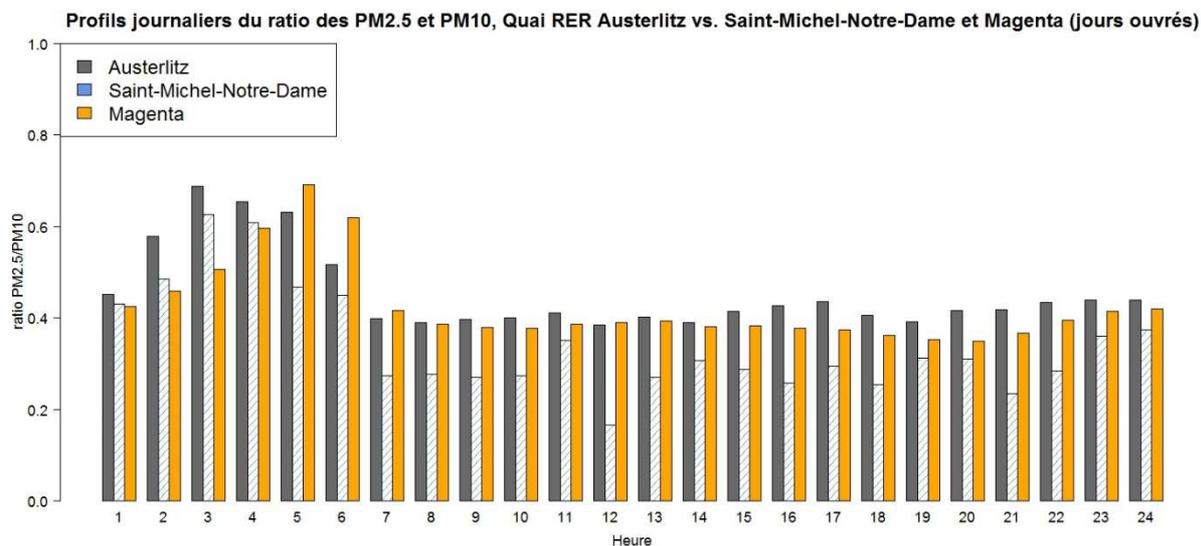


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> à la gare RER C d'Austerlitz et à Magenta, période du 05/09/2016 au 25/09/2016 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Les particules mesurées en gare d'Austerlitz sont essentiellement des particules PM<sub>10</sub> (54%). Ceci est également valable au site de référence à Magenta.

Le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> a été en moyenne de 0.46 en gare d'Austerlitz. Il varie dans le temps, en fonction des relevés horaires, il est sensible aux pics ponctuels observés notamment la nuit lors de travaux. Le reste du temps, le ratio est stable autour de 0.4, aussi bien les jours ouvrés que les samedis/dimanches.

### 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).

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 de septembre. Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR<sup>4</sup>, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») majoritairement faible pendant la campagne de mesure (11 jours, soit 52% du temps). L'indice « très faible » a été observé une journée, et un indice « moyen » a été enregistré pendant 9 jours (43% 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 de septembre 2016.

<sup>4</sup> [http://www.airqualitynow.eu/fr/about\\_indices\\_definition.php](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 NO<sub>2</sub>, les PM<sub>10</sub> et l'ozone. Les données de CO, PM<sub>2,5</sub> et SO<sub>2</sub> sont facultatives.

## 3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en CO<sub>2</sub>, qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces potentiellement soumis à diverses sources (combustion, respiration humaine). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les relevés horaires sont présentés à la Figure 20. La température moyenne en gare d'Austerlitz est de 25°C, les relevés horaires ayant varié entre 21 et 30°C (relevés comparables à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare d'Austerlitz est de 50%, les relevés horaires ayant varié de 39% à 64%. Ces relevés sont également proches de ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO<sub>2</sub> sont plus fluctuants, ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 450 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 400 ppm (observés la nuit) et 800 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 résidentiel<sup>5</sup>.

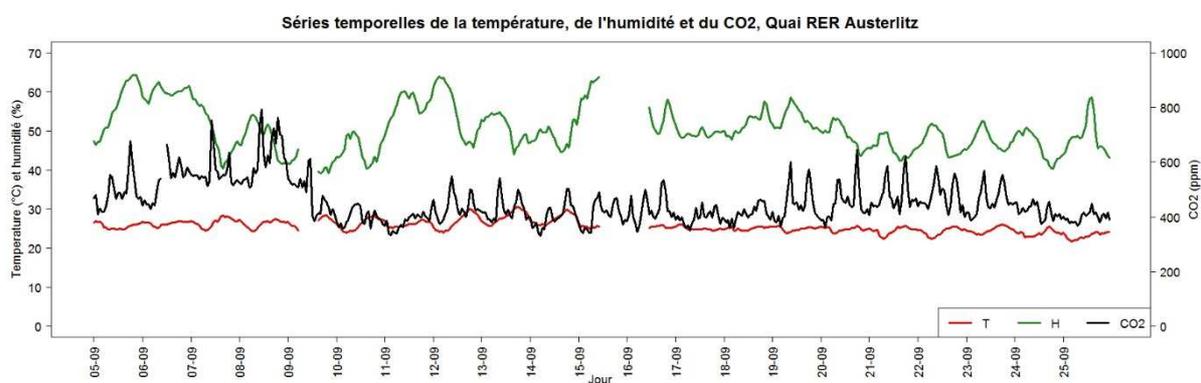


Figure 20 – Relevés horaires dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C d'Austerlitz, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM<sub>10</sub>) et en CO<sub>2</sub> les jours ouvrés (cf. Figure 21) montre effectivement que les teneurs maximales en particules sont observées en même temps que pour le CO<sub>2</sub> (léger décalage le matin), à savoir aux heures de pointe (10h le matin, 18-19h en fin de journée).

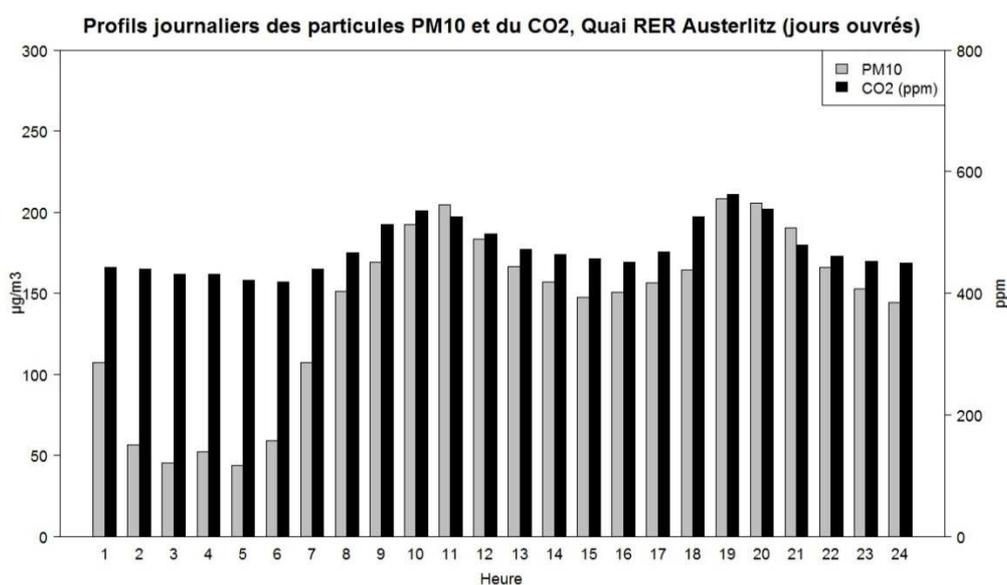


Figure 21 – Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> à la gare RER C d'Austerlitz, période du 05/09/2016 au 25/09/2016 – jours ouvrés.

<sup>5</sup> Concentrations de CO<sub>2</sub> dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.

### 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 d'Austerlitz ne bénéficie pas de ventilation mécanique, aussi aucune influence de changement de ventilation, au cours de la campagne de mesure, ne peut être observée.
- Perturbations sur la circulation des trains : aucune perturbation de grande ampleur n'a été signalée sur la ligne ou dans la gare d'Austerlitz.

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

En moyenne, les jours ouvrés, 514 circulent en gare d'Austerlitz (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 456 trains qui ont circulé (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 392 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 22.

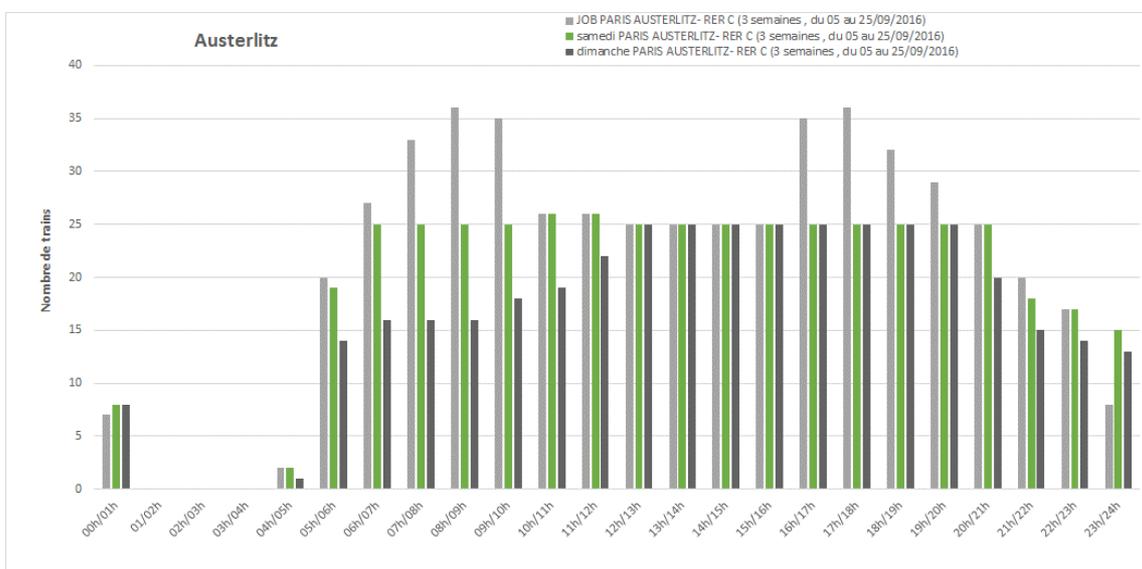


Figure 22 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C d'Austerlitz, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière, est présenté à la Figure 23 pour les jours ouvrés. Le profil des teneurs en particules PM<sub>10</sub> 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.

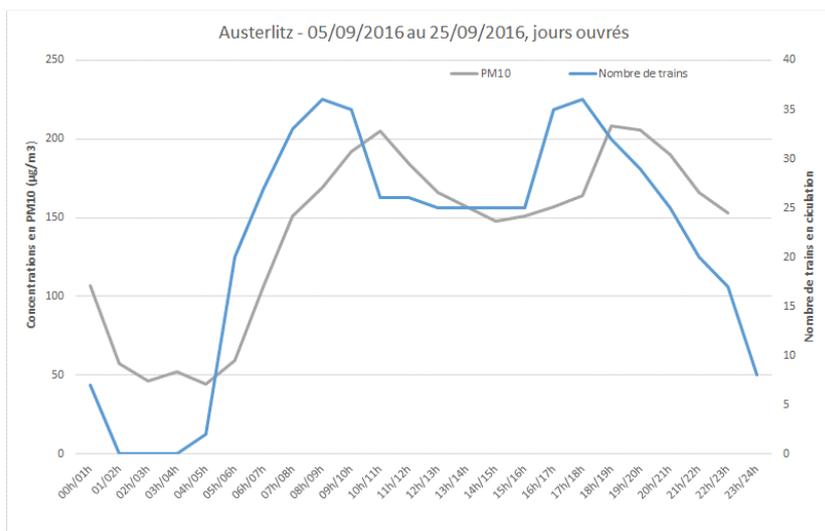


Figure 23 – Teneurs en particules PM<sub>10</sub> et nombre de trains en circulation à la gare RER C d'Austerlitz, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

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 24. Les teneurs observées sont liées au nombre de trains en circulation.

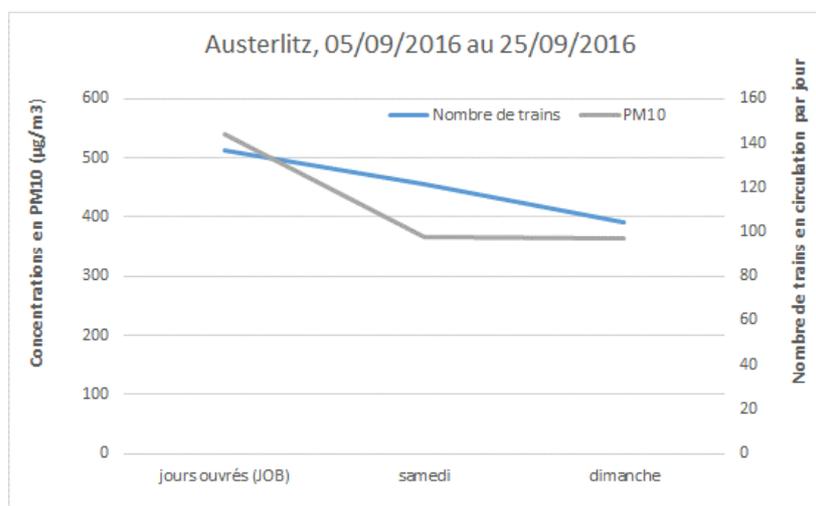


Figure 24 – Teneurs en particules PM<sub>10</sub> observées et nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C d'Austerlitz, période du 12/09/2016 au 16/09/2016.

L'influence de paramètres comme l'air extérieur, la ventilation ou encore paramètres techniques de la gare d'Austerlitz 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.
- La gare ne dispose pas ventilation mécanique, celle-ci ne peut donc avoir d'influence sur les teneurs observées sur le quai.
- Les niveaux en CO<sub>2</sub>, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont corrélés avec les niveaux de particules en gare d'Austerlitz.
- L'air extérieur n'a pas spécifiquement beaucoup évolué au cours de la campagne, aussi son influence n'a pas été observée sur les teneurs observées sur le quai.

## 4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare d'Austerlitz, pour les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> :

- Les teneurs en particules fines PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare d'Austerlitz au cours du mois de septembre 2016 étaient en moyenne de 128 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 288 µg/m<sup>3</sup> (enregistré lors de travaux nocturnes).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2.5</sub> atteignent 55 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 205 µg/m<sup>3</sup> (maximum atteint au même moment pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>).

Ces résultats sont similaires à ceux enregistrés sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C).

Toutefois, il existe potentiellement une source externe spécifique en particules fines PM<sub>2.5</sub> en gare d'Austerlitz, les teneurs y étant supérieures à celles observées en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

L'analyse complémentaire sur les particules PM<sub>10</sub> confirme la présence de métaux, surtout du Fer.

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

Ce rapport concerne les résultats de la première campagne de mesure Gare, 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 D'AUSTERLITZ

#### Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation : Naturelle

#### Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 27 536  
(source SNCF, carte des montants 2016)

#### Caractéristiques du matériel roulant :

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

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

Energie motrice : 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 PM<sub>10</sub> et très fines PM<sub>2.5</sub> sont mesurées.**

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

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

#### 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 (PM<sub>10</sub>)<sup>6</sup> et particules fines (PM<sub>2,5</sub>) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO<sub>x</sub> sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame.

### PRELEVEMENTS MANUELS

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

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant<sup>7</sup>.

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES<sup>3</sup> dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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

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

<sup>6</sup> Mesures des PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM<sub>10</sub> et des PM<sub>2,5</sub> par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

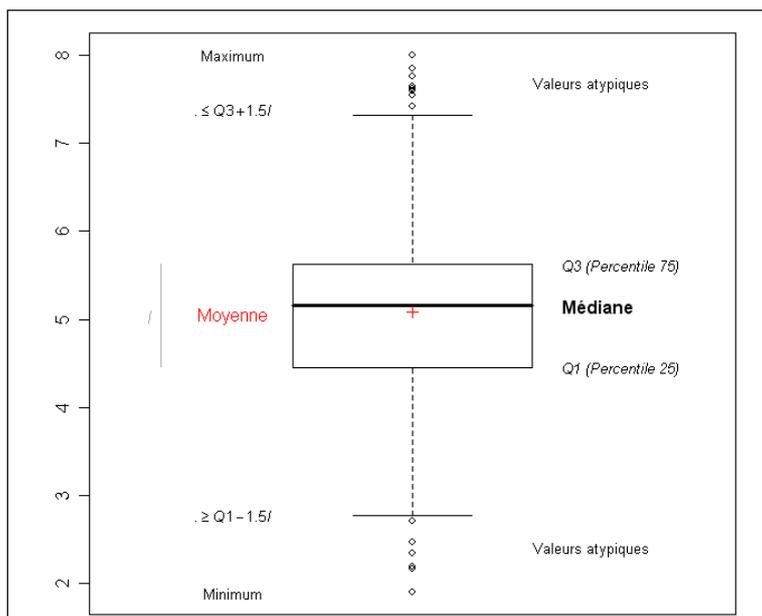
<sup>7</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

## 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).



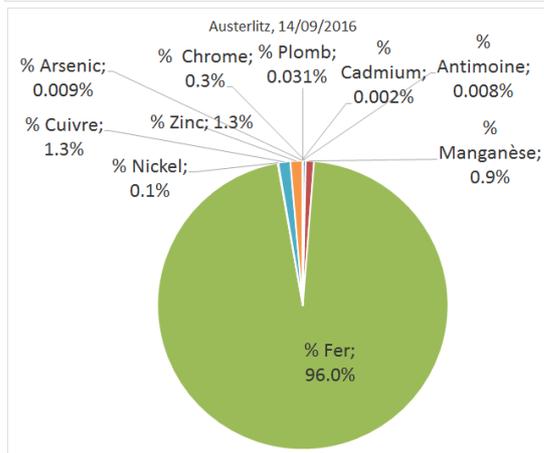
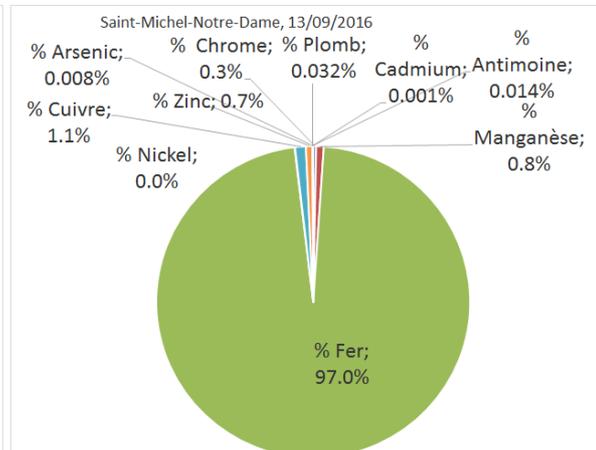
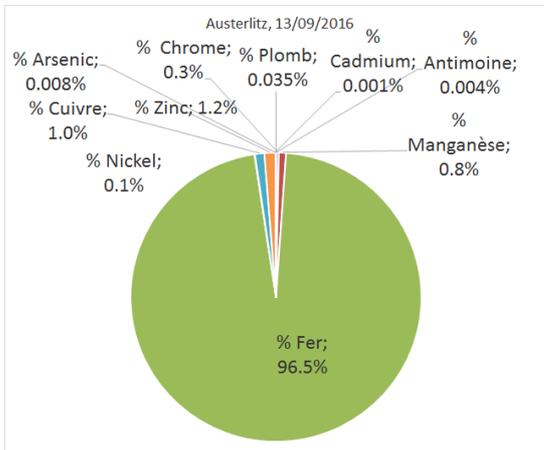
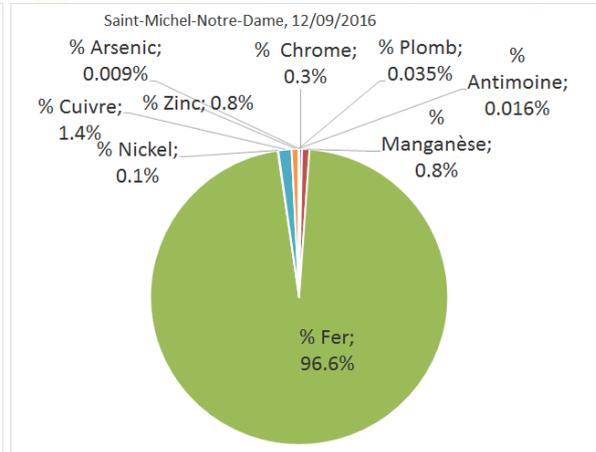
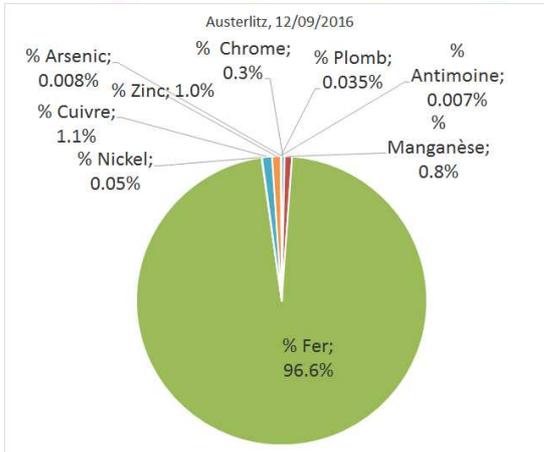
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près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

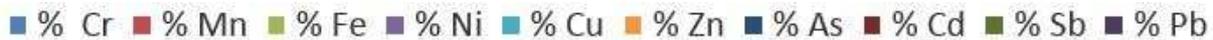
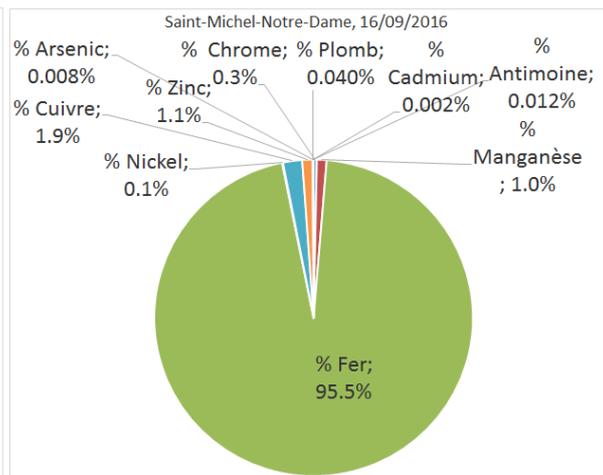
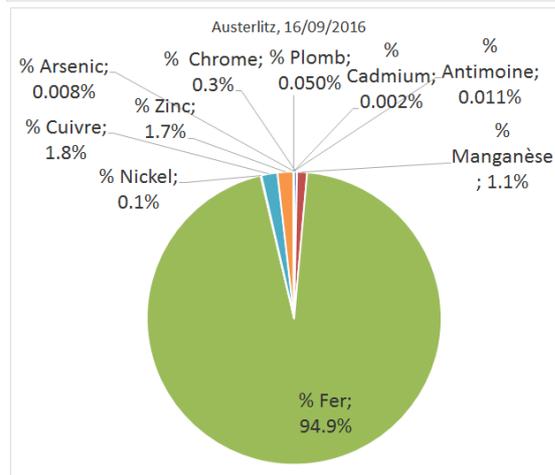
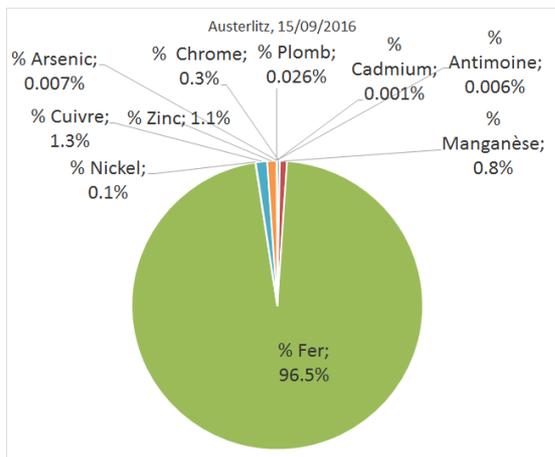
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

## ANNEXE 4 :

### REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE

■ % 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 C D'AUSTERLITZ ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME,

PERIODE DU 12/09/2016 AU 16/09/2016.

