

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

Février/Mars 2017

Septembre 2017





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



# MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE SAINT-OUEN – FEVRIER / MARS 2017

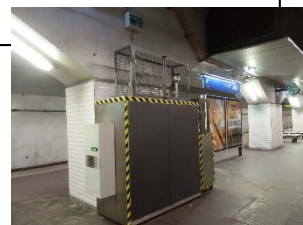
Septembre 2017

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

# SYNTHESE

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

Dans ce cadre, une campagne de mesure a été réalisée du **20/02/2017 au 12/03/2017** en gare de **Saint-Ouen (RER C, quai 1, direction Pontoise/Argenteuil)**. Les particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2,5</sub>) ont été suivies, ainsi que les métaux.



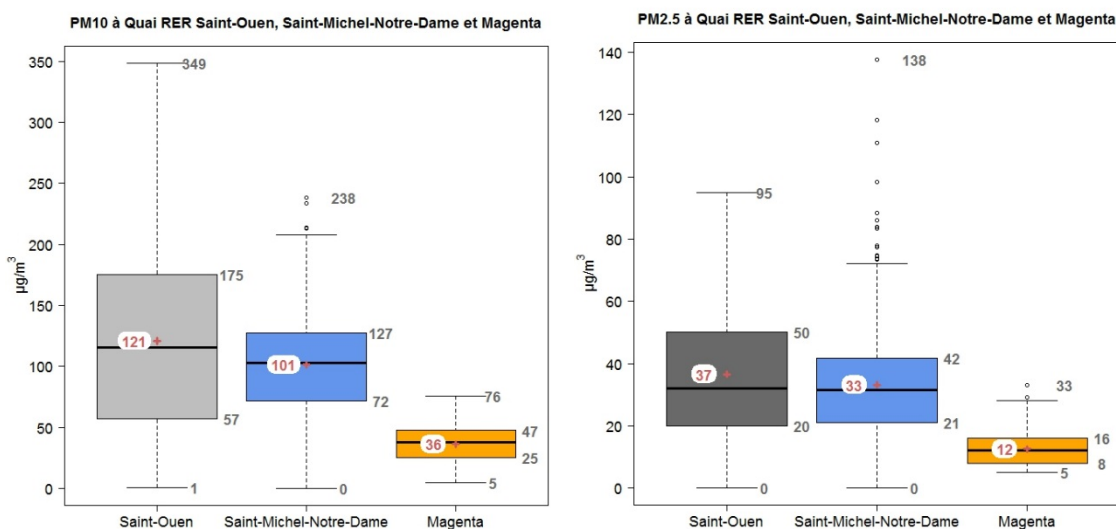
## Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare de Saint-Ouen au cours des mois de février/mars 2017 étaient en moyenne de 121 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 349 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le soir entre 19 et 22h).

Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteignent 37 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 98 µg/m<sup>3</sup> (maximum atteint à 17h pour 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 supérieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (101 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et plus de 3 fois supérieurs à ceux de la station Magenta (36 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en PM<sub>2,5</sub> à Saint-Ouen (37 µg/m<sup>3</sup>) sont similaires à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (33 µg/m<sup>3</sup>) et largement supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (12 µg/m<sup>3</sup>). 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.



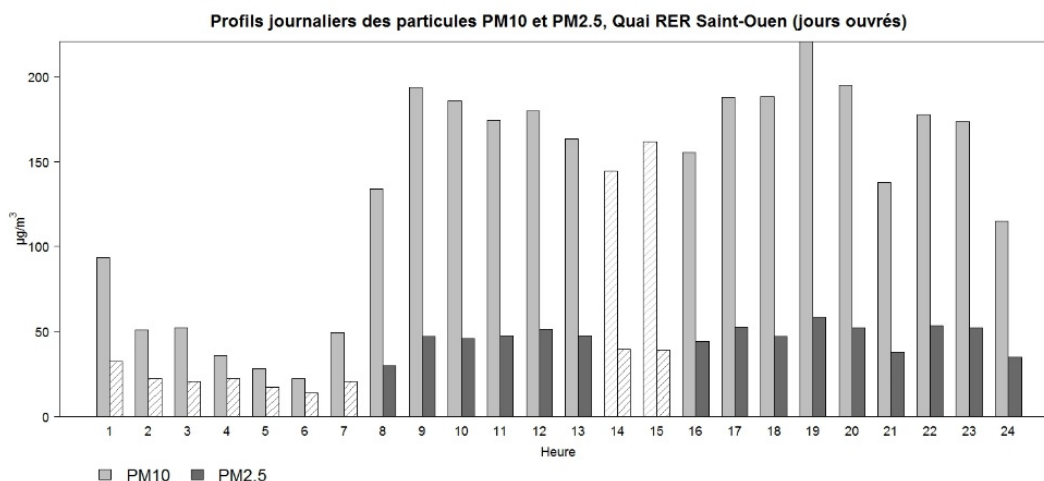
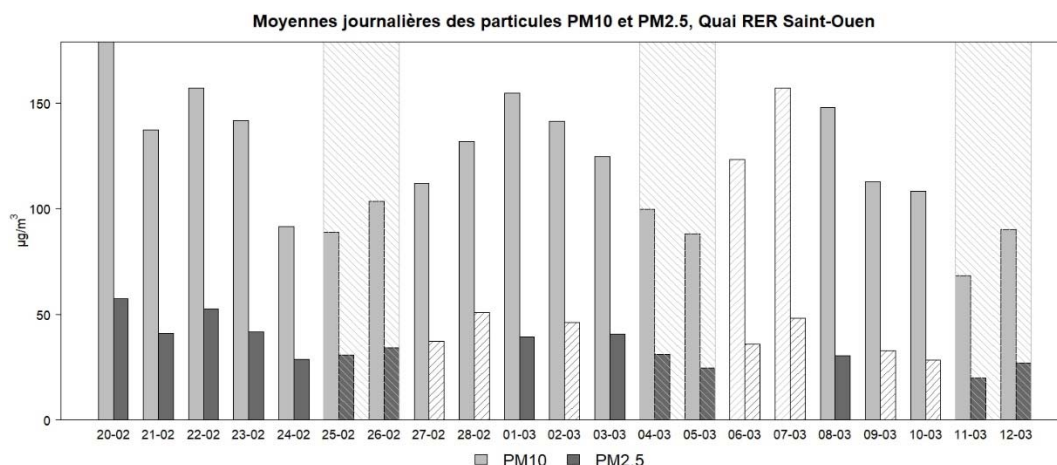
## Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

Les relevés en particules PM<sub>10</sub> à la gare de Saint-Ouen sont également plus proches de ceux de la gare Saint-Michel-Notre-Dame que de ceux de Magenta, en termes d'évolution temporelle.

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 PM<sub>10</sub> (- 33 %) et les PM<sub>2,5</sub> (-32 %). 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 20/02 et le 5/03 à la gare de Saint-Ouen, comparativement aux niveaux mesurés à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, potentiellement en lien avec les travaux à l'extérieur de la gare de Saint-Ouen.

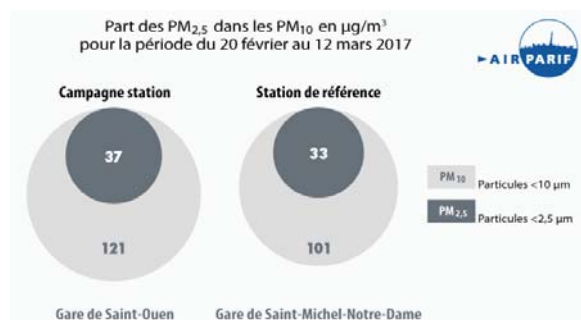


Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Saint-Ouen, les niveaux nocturnes (entre 1h et 7h) sont les plus faibles, avec en moyenne 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{10}$  et 21  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$  (disponibilité des données <75% pour les  $\text{PM}_{2.5}$ ). Les concentrations sont maximales vers 8-10h le matin et 16-20h en soirée. Les concentrations sont alors de 195  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne sur une heure en  $\text{PM}_{10}$  et 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $\text{PM}_{2.5}$ . Ces profils (variabilité temporelle) sont similaires à ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les  $\text{PM}_{10}$ . Toutefois, de forts niveaux s'observent à 22/23h à Saint-Ouen et non à Saint-Michel-Notre-Dame. Les niveaux de  $\text{PM}_{2.5}$  et de  $\text{PM}_{10}$  en heure de pointe sont en moyenne plus élevés à Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les différences de niveaux entre gares s'expliquent en partie par le nombre de trains et de voyageurs mais aussi et surtout par le système de ventilation, le volume de la gare, et les activités environnantes.

### 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 de Saint-Ouen est en moyenne de 0,32, équivalent à ceux enregistrés aux sites de référence (0,34 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,39 à Magenta). Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée. Les pics ponctuels de 0,5/0,6 s'observent surtout la nuit entre 4 et 6h lorsque les émissions de PM<sub>10</sub> 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 Magenta ou Saint-Michel-Notre-Dame ?

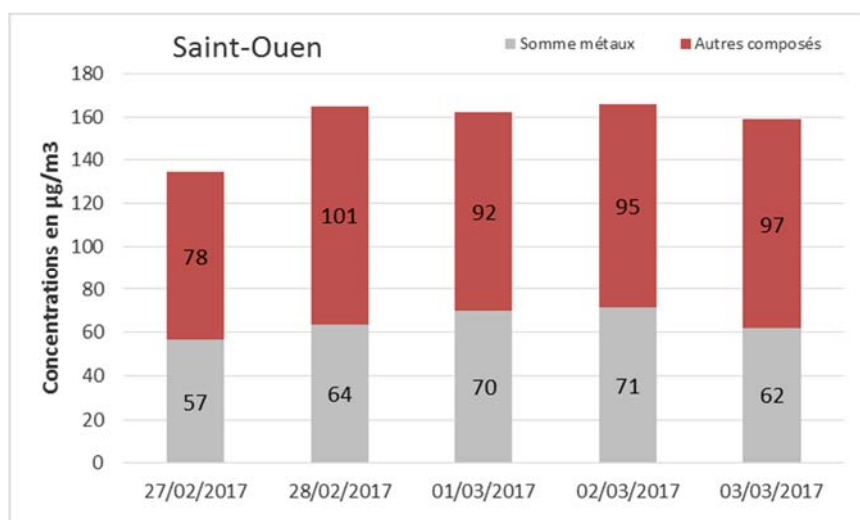
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM<sub>10</sub> varie de 39 à 43% sur la semaine de mesure (27/02 au 03/03/2016) en gare de Saint-Ouen. Peu de fluctuations sont observées sur la semaine de mesure. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame varie entre 24 et 36%.

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

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 97 % des métaux mesurés, aussi bien à Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (96%). Suivent ensuite le **Zinc** et le **Cuivre** (1,1 % à Saint-Ouen), le **Manganèse** (0,9 %), 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 (où la proportion en Cuivre est plus élevée, à 2,4%).

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

Les relevés journaliers ont évolué sur la semaine de prélèvement de manière similaire sur les deux sites de mesure : le maximum a été atteint le jeudi, les niveaux ayant été légèrement plus faibles mais stables les autres jours de la semaine.





# 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 <sub>10</sub> .....	14
2.1.2. PARTICULES PM <sub>2,5</sub> .....	15
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	17
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE .....	17
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 <sub>10</sub> .....	22
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	23
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	25
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2,5</sub> .....	27
2.4.1. NIVEAUX MOYENS .....	27
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	28
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES .....	29
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	31
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR .....	31
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT .....	32
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE .....	34
4. CONCLUSION.....	36

# GLOSSAIRE

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

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

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

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

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

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

**NO** Monoxyde d'azote

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

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

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

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

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

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

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

**Airparif est l'Observatoire indépendant de la qualité de l'air** (association loi 1901) en Ile-de-France. Conformément à la Loi sur l'Air et l'utilisation rationnelle de l'Energie, Airparif rassemble les différents acteurs impliqués dans les enjeux atmosphériques et susceptibles d'agir pour son amélioration. Les quatre 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 SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif est de mieux connaître et d'améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

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

**L'objectif de ce programme est de documenter finement 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 sont, à tour de rôle, équipées d'une station de mesure de la qualité de l'air. Dans chaque gare sont mesurées en continu pendant 3 semaines les particules 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 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.

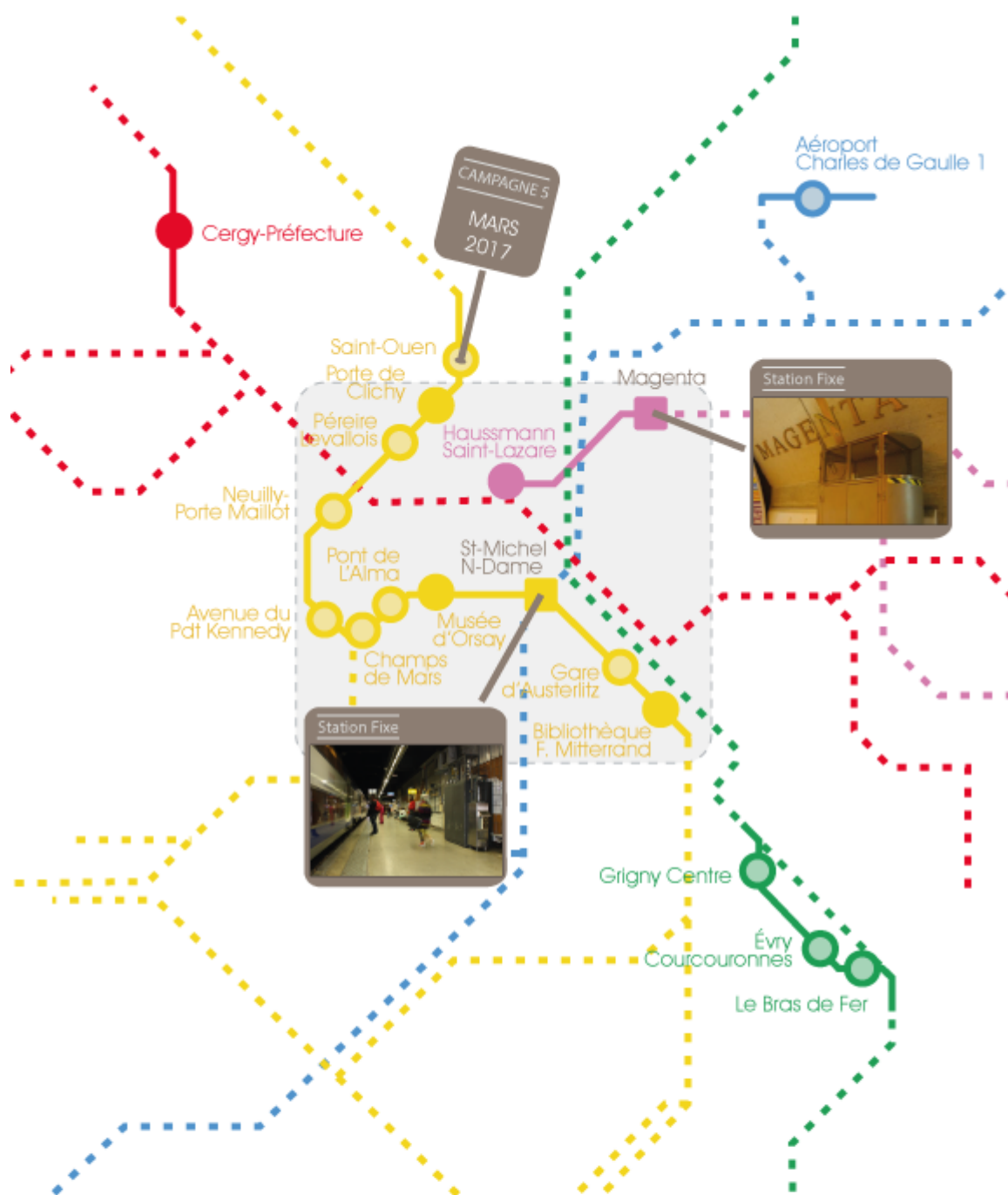
**C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de Saint-Ouen en février/mars 2017, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.**

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Saint-Ouen), 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 d'Essai Ferroviaire, 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 Saint-Ouen, sur le RER C (Pontoise/Versailles Château/Saint-Quentin-en-Yvelines – Saint-Martin d'Etampes/Dourdan la Forêt/Massy-Palaiseau), est concernée par le programme de partenariat. Elle est située 94, Boulevard Victor Hugo, à Saint-Ouen (93400).

**Cette gare RER est mixte (il existe une partie souterraine et une partie aérienne des quais), de moyenne profondeur (quai au niveau -2). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle).** Elle comprend un quai central et une voie de chaque côté du quai. Tous les éléments techniques détaillés sur la gare (matériel roulant, etc.) sont présentés en ANNEXE 1.

Le nombre de voyageurs montant en gare de Saint-Ouen (RER C) est de 7459 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Saint-Ouen (2 sens confondus) est de 168 les jours ouvrés (jours JOB), 145 les samedis et 143 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 1 en direction de Pontoise/Argenteuil.

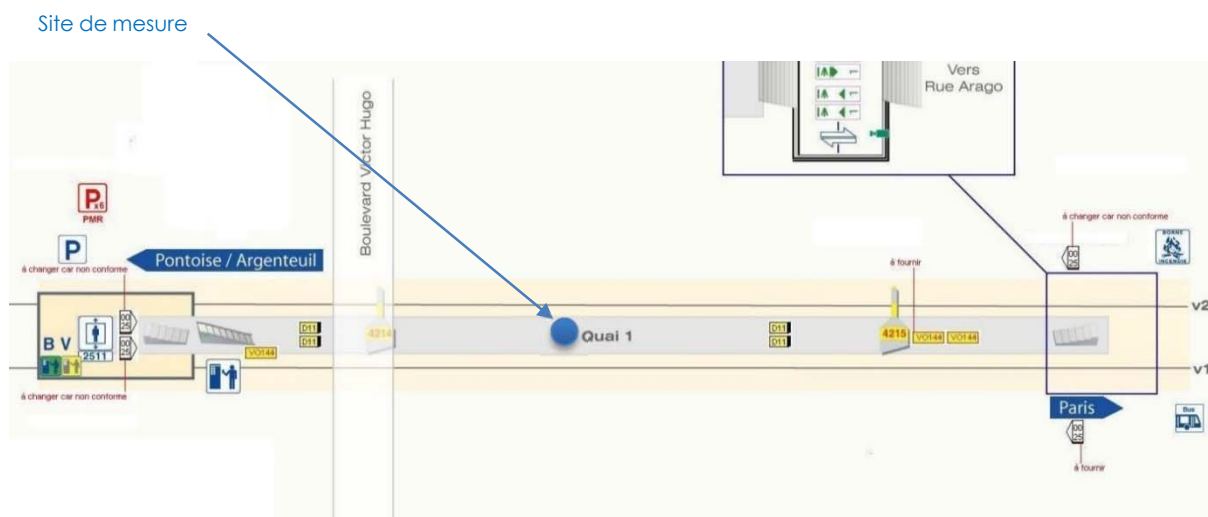


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de Saint-Ouen, ligne RER C, quai 1), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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 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 qualité de l'air à la gare de Saint-Ouen ont été réalisées pendant 3 semaines, du **20/02/2017 au 12/03/2017**. Cette durée a été choisie afin d'avoir suffisamment de données pour assurer la robustesse des statistiques d'une part et, d'autre part, pour rencontrer potentiellement différentes conditions météorologiques et évaluer l'impact éventuel de l'air extérieur sur les niveaux sur les quais. Il est à noter que durant cette période de mesures, l'environnement proche de la gare de Saint-Ouen était en travaux pour le prolongement de la ligne 14. Cette spécificité sera rappelée au fil du rapport.

## 2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE

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

Les niveaux observés sur le quai dans la gare de Saint-Ouen sont comparés aux observations sur les quais des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame), pendant la même période de mesure.

### 2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI

Les principaux résultats (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau suivant, pour la gare de Saint-Ouen et les gares de référence, sur la même période.

Statistiques ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> (particules fines)			PM <sub>2,5</sub> (particules très fines)		
	Gare Saint-Ouen	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Saint-Ouen	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	1	0	5	0	0	5
Percentile 25 (P25)	57	72	25	20	21	8
Médiane ou Percentile 50	115	103	38	32	32	12
Moyenne	<b>121</b>	<b>101</b>	<b>36</b>	<b>37</b>	<b>33</b>	<b>12</b>
Percentile 75 (P75)	175	127	47	50	42	16
Maximum horaire	349	238	76	95	138	33
% de données horaires valides	92	97	97	83	97	97

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

Les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> relevés en gare de Saint-Ouen sont supérieurs à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et ceux de la gare de Magenta, pour la médiane, la moyenne, le percentile 75 et le maximum horaire, alors que le minimum horaire est du même ordre de grandeur sur les trois gares.

Les résultats pour les PM<sub>2,5</sub> à la Gare RER C de Saint-Ouen sont comparables à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et supérieurs à ceux de la gare de Magenta. Le maximum horaire est inférieur à celui mesuré en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

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

La variabilité des concentrations en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C de Saint-Ouen, 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 PM<sub>10</sub> en Gare RER C de Saint-Ouen montre une répartition « équilibrée<sup>3</sup> » des mesures. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C de Saint-Ouen sont comprises entre 57 et 175 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 121 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 115 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum atteint à Saint-Ouen est de 349 µg/m<sup>3</sup> le 23/02/17 à 20h (heure de pointe du soir). Ce maximum très élevé (supérieur à celui atteint dans d'autres gares lors par exemple de l'épisode de pollution de décembre 2016) est probablement à mettre en lien avec les travaux pour le prolongement de la ligne 14 qui se situent à proximité immédiate de la gare.

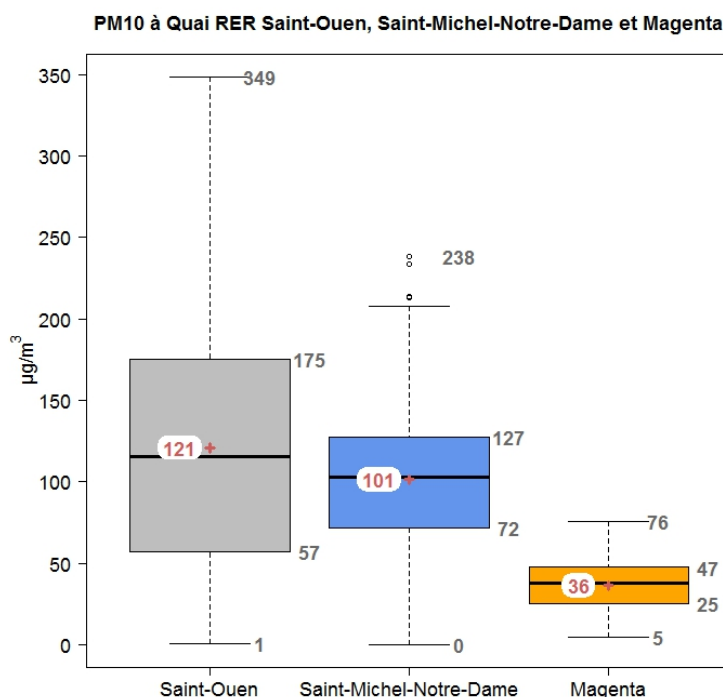


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Saint-Ouen et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

Les concentrations en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C de Saint-Ouen sont relativement proches de celles de la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (minima, moyennes, médianes), mais pas pour les maxima. Cette représentation des résultats met en avant une dispersion plus grande des concentrations sur le site de Saint-Ouen par rapport au site de Saint-Michel-Notre-Dame parmi les

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

données supérieures à la médiane (50 % des données se trouvent dans la fourchette de 115 - 349  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Ouen, contre la fourchette 103 – 238  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Michel-Notre-Dame) : cela s'explique par des hauts niveaux de particules en gare de Saint-Ouen lors des 2 premières semaines de mesure, qui ne se retrouvent pas en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Les travaux importants en surface de la gare peuvent avoir généré ces forts niveaux.

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de Saint-Ouen, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules  $\text{PM}_{10}$  est de 36  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Magenta, contre 121  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Ouen.

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

Les autres potentiels facteurs d'influence, comme le nombre de trains en circulation, sont étudiés au chapitre 3.

### 2.1.2. PARTICULES $\text{PM}_{2,5}$

La boîte à moustaches des concentrations de  $\text{PM}_{2,5}$  relevées à la gare RER C de Saint-Ouen 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 (37  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en gare de Saint-Ouen et 33  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Michel-Notre-Dame). La dispersion des données est légèrement plus grande en gare de Saint-Ouen qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, au-dessus de la médiane, avec 50 % des données horaires comprises entre 20 et 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Ouen, contre une fourchette de 21 à 42  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Michel-Notre-Dame. En revanche, des points singuliers allant jusqu'à 138  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  sont mesurés, seulement à Saint-Michel-Notre-Dame. Les concentrations en  $\text{PM}_{2,5}$  en gare de Saint-Ouen sont largement supérieures à celles de Magenta. A titre de comparaison, la moyenne des particules  $\text{PM}_{2,5}$  à Magenta est de 12  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .



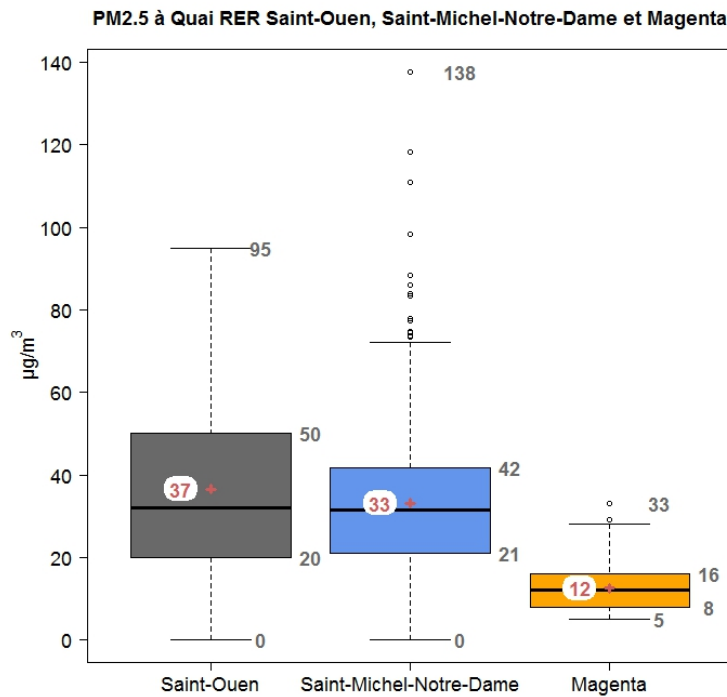


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Saint-Ouen et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

Les teneurs en PM<sub>2.5</sub> en gare RER C Saint-Ouen dépassent légèrement celles de Saint-Michel-Notre-Dame (au niveau du percentile 75 surtout). Les travaux à proximité immédiate de l'entrée de la gare de Saint-Ouen (prolongement de la ligne 14) ont probablement une influence sur les niveaux de particules mesurés sur le quai. L'origine des particules PM<sub>2.5</sub> est différente de celle des PM<sub>10</sub>, et serait ici par exemple liée à l'utilisation d'engins de manutention émettant des PM<sub>2.5</sub> en surface et pouvant influencer les niveaux souterrains. Cependant cette influence reste faible pour les PM<sub>2.5</sub>.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C de Saint-Ouen pendant la campagne est de 121 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et de 37 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>2.5</sub>.

**Les niveaux moyens en particules PM<sub>10</sub> en gare de Saint-Ouen sont supérieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame** (101 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la station Magenta (36 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

**Les niveaux moyens en particules PM<sub>2.5</sub> en gare de Saint-Ouen sont comparables à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame** (33 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et nettement supérieurs à ceux de Magenta (12 µg/m<sup>3</sup>).

Les moyennes horaires les plus élevées ont été enregistrées sur le quai de la gare Saint-Ouen pour les PM<sub>10</sub> et de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM<sub>2.5</sub>.

Ces niveaux élevés de PM<sub>10</sub> pourraient en partie s'expliquer par des travaux importants dans l'environnement extérieur de la gare lors de la campagne.

## 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 des trois stations sont présentés à la Figure 5. Les différences de 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 et de la remise en suspension, non présentes la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à Saint-Ouen, les moyennes horaires dépassent volontiers 200  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  en journée, voire les 300  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  ponctuellement, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , hors périodes éventuelles de travaux nocturnes.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER C de Saint-Ouen avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre, lors des 2 premières semaines, des niveaux nettement plus élevés à la station Saint-Ouen toute la journée, particulièrement en heures de pointe mais aussi hors heures de pointe, en comparaison de ceux relevés à Saint-Michel-Notre-Dame. Ces niveaux mesurés à Saint-Ouen retombent cependant à partir du 6 mars (hormis le 8 mars). Les niveaux de 7h à 23h en gare de Saint-Ouen avant le 6 mars sont plus élevés de 53% par rapport à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, et de seulement 20% après le 6 mars. Cela dénote un changement de situation, qui pourrait être lié à des travaux aux abords de la gare.

L'évolution temporelle des relevés de Magenta est analogue à celles des gares de Saint-Ouen 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.

En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à Saint-Ouen le 23 février (349  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , contre 238  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  à Saint-Michel-Notre-Dame atteint le 2 mars).

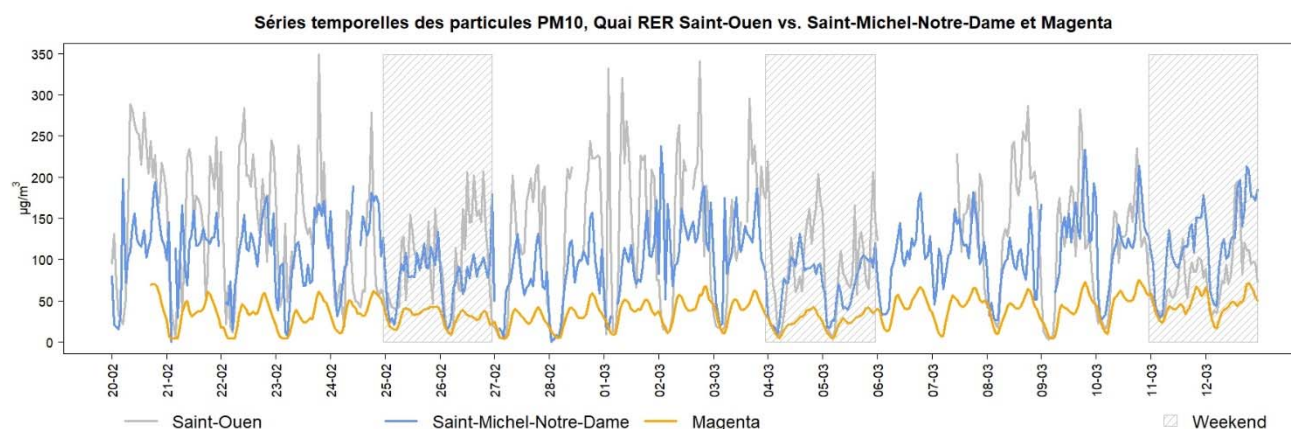


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  (gare RER C de Saint-Ouen et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 20/02/2017 au 12/03/2017)

#### 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, en lien, comme pour les PM<sub>10</sub>, avec la fréquentation de la gare (trains et voyageurs). Ainsi, en journée, les teneurs en PM<sub>2,5</sub> atteignent 30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  voire 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , et ponctuellement plus de 80  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ .

La comparaison des teneurs à la Gare RER C de Saint-Ouen avec les relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels proches mais avec des niveaux plus élevés en journée avant la semaine du 6/03/2017, de la même manière que pour les PM<sub>10</sub>. Les niveaux de 7h à 23h en gare de Saint-Ouen avant le 6 mars sont plus élevés de 58% par rapport à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, et de seulement 19% après le 6 mars, de manière très similaire à ce qui est observé pour les PM<sub>10</sub>.

En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à Saint-Michel-Notre-Dame le 3 mars entre 5 et 6h (138 µg/m<sup>3</sup>, contre 95 µg/m<sup>3</sup> à Saint-Ouen atteint le même jour mais entre 16 et 17h).

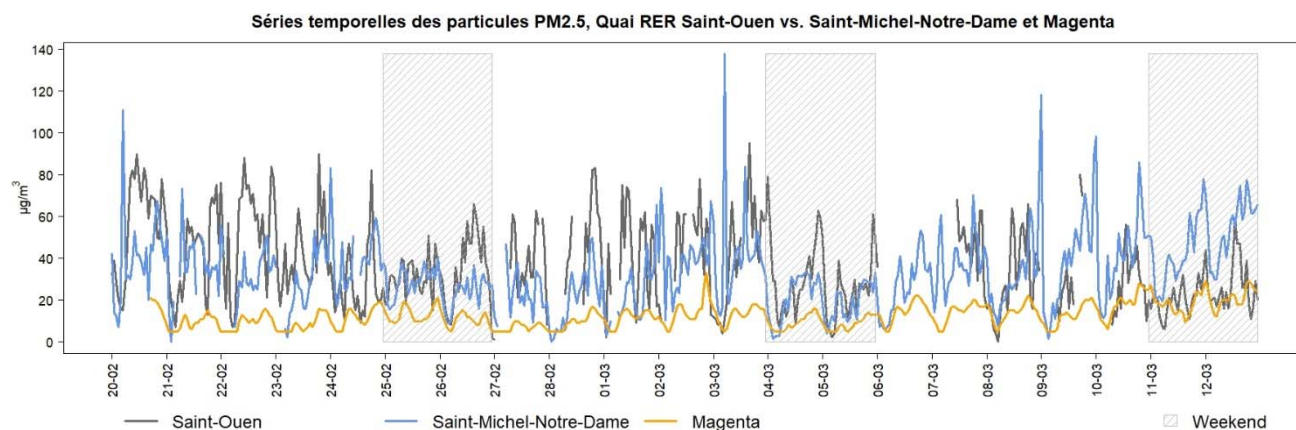
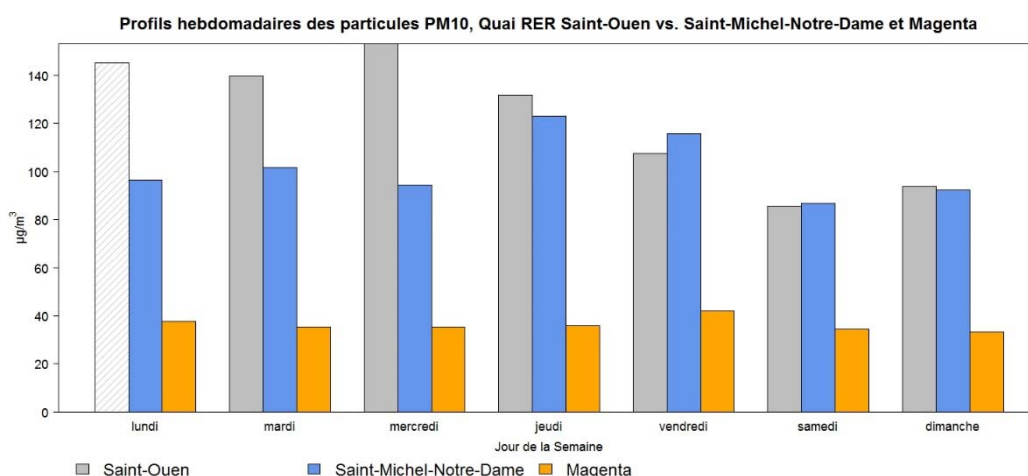


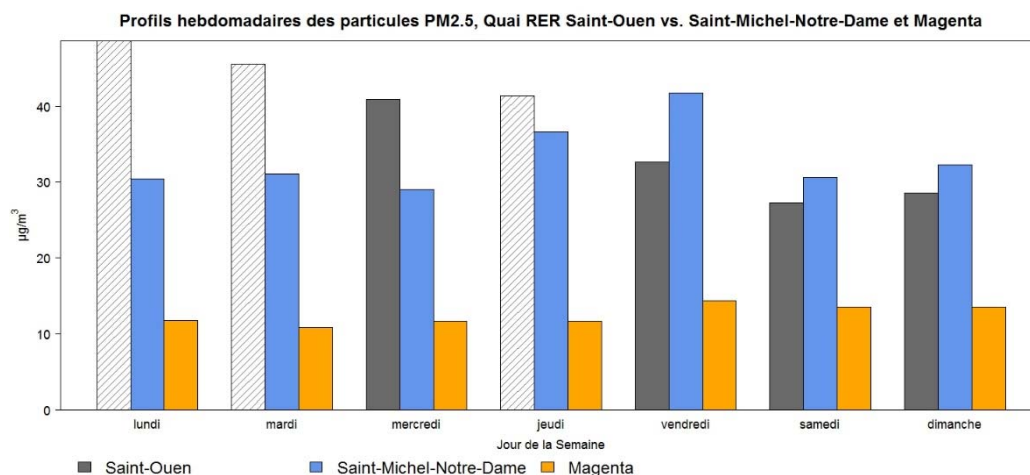
Figure 6 : Evolution des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Saint-Ouen et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 20/02/2017 au 12/03/2017)

## 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Saint-Ouen sont présentés à la Figure 7 pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Saint-Ouen et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

Les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés (autour de 135 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une journée pour les PM<sub>10</sub>, 41 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>2.5</sub>), avec un écart type de 13 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et de 5 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>. Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 33% par rapport aux jours ouvrés pour les PM<sub>10</sub> et de 32% pour les PM<sub>2.5</sub>, ce qui est atypique pour les PM<sub>2.5</sub>. En effet, les campagnes de mesure réalisées jusqu'à présent dans les autres gares montrent que, d'une façon générale, les niveaux de PM<sub>2.5</sub> sont moins affectés, de par leur nature, par l'activité ferroviaire et varient habituellement moins entre la semaine et le weekend. L'explication peut provenir d'une source de PM<sub>2.5</sub> supplémentaire, autre que ferroviaire, en semaine. A Saint-Michel-Notre-Dame, la baisse des niveaux entre la semaine et le weekend est de l'ordre de 15% pour les PM<sub>10</sub> et de 9% pour les PM<sub>2.5</sub>. Ces résultats à Saint-Michel-Notre-Dame sont en lien avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end, facteur ayant d'avantage d'influence sur les PM<sub>10</sub> que sur les PM<sub>2.5</sub> (cf. 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 PM<sub>10</sub> et les particules PM<sub>2.5</sub> ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés sur de longues plages horaires pour les deux types de particules : le matin (8-13h), en début de soirée/le soir (16h-20h) et la nuit de 21h à 23h. Alors, les niveaux sont en moyenne sur la période de 185 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 50 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> en gare de Saint-Ouen. Les heures de pointe à la gare de Notre-Dame-Saint-Michel sont entre 10 et 11h le matin et entre 18 et 21h le soir. Sur les heures de forts niveaux de particules à Saint-Ouen, les concentrations moyennes horaires enregistrées en gare de Saint-Ouen dépassent celles de Saint-Michel-Notre-Dame d'environ 49 % pour les PM<sub>10</sub> et 38% pour les PM<sub>2.5</sub>.

Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 42 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et environ 19 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>.

Ces profils journaliers en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) fluctuent en partie en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est également maximale (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ce constat, observable à la gare de Saint-Ouen, l'est également aux gares de référence. Le trafic des trains explique vraisemblablement aussi en partie les niveaux élevés de 21h à 23h, comme illustré

dans la section 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE (le nombre de trains augmente à nouveau entre 20h et 22h).

Le profil journalier en  $PM_{2.5}$  présente des variations horaires moindres (écart type de  $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ) que celui de  $PM_{10}$  (écart type de  $34 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ), 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).

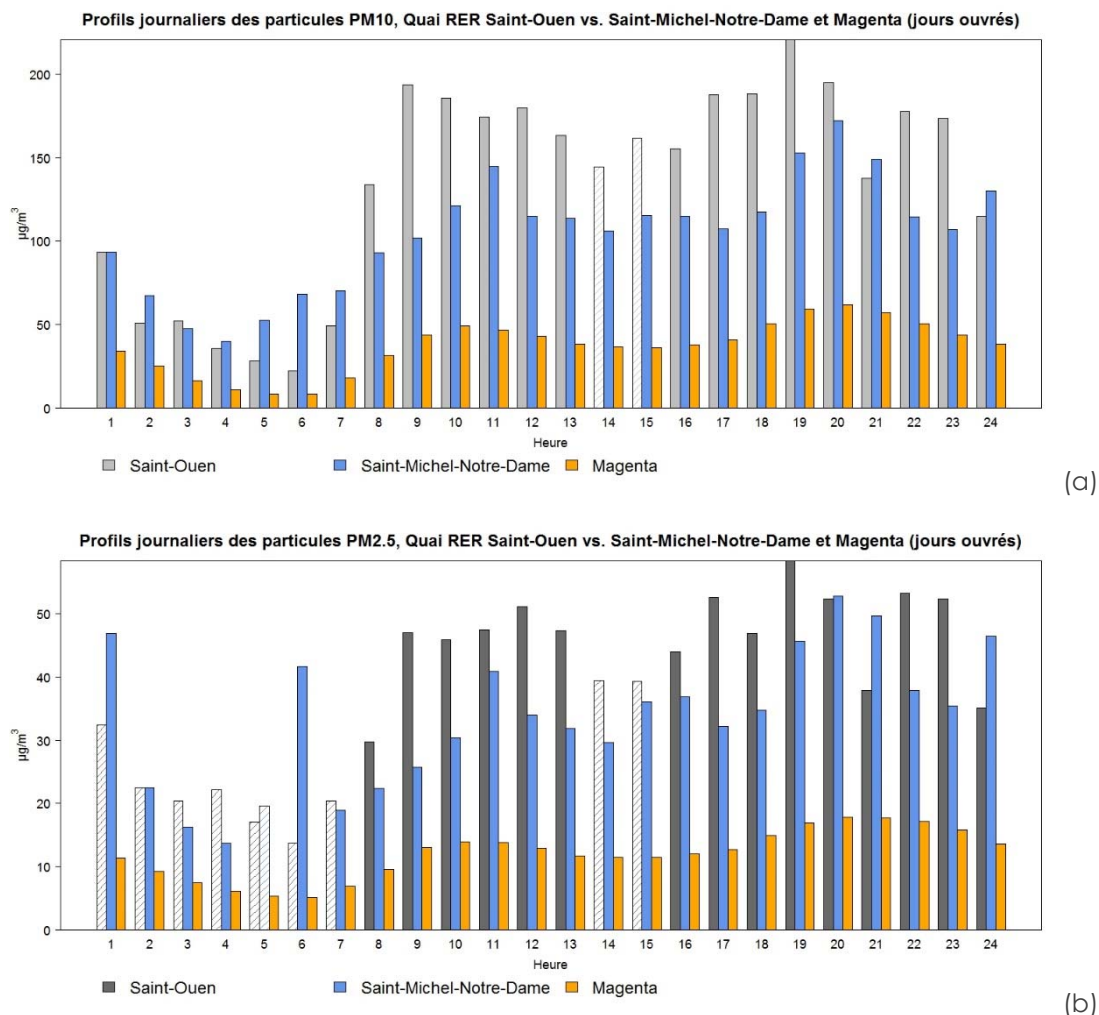


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en  $PM_{10}$  (a) et  $PM_{2.5}$  (b) à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

### 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  $PM_{10}$  et des  $PM_{2.5}$ , aussi bien en gare de Saint-Ouen 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 aux heures de pointe, décalées entre Saint-Ouen et Saint-Michel-Notre-Dame) et les niveaux plus faibles les samedis et dimanches, avec atténuation des niveaux aux heures de pointe. Les jours ouvrés, les niveaux mesurés à Saint-Ouen sont plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame mais pas les weekends.



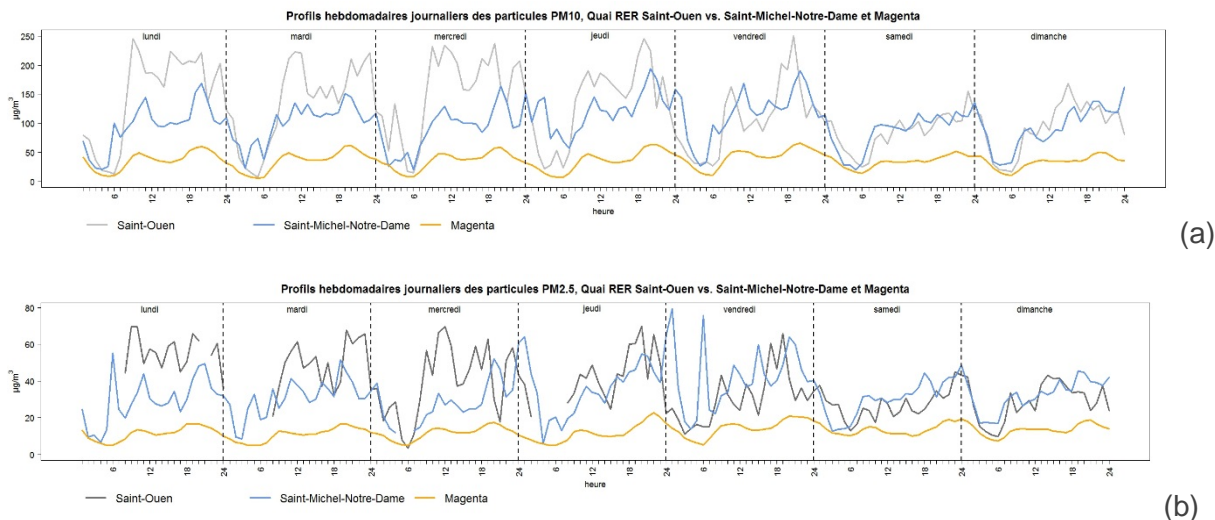


Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en  $PM_{10}$  (a) et  $PM_{2.5}$  (b) à la gare RER C de Saint-Ouen, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules ( $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$ ) sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains) mais pas seulement en ce qui concerne la gare de Saint-Ouen (possible influence des travaux en surface de la gare).

À l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine. Ceci pour les  $PM_{10}$  (-33%) en lien avec la baisse de fréquentation le week-end, mais aussi de manière atypique pour les  $PM_{2.5}$  (-32%), en lien en partie avec le trafic des trains mais aussi probablement avec une source externe : les  $PM_{2.5}$  sont moins liées au trafic des trains et une telle différence de concentrations entre semaine et weekend n'a pas été observée jusqu'à présent dans d'autres gares.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec  $42 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $PM_{10}$  et  $19 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en  $PM_{2.5}$ . Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale mais aussi en-dehors des heures de pointe, entre 8 et 13h le matin, entre 16h et 20h et 21h et 23h le soir en gare de Saint-Ouen. Pendant ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent  $185 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en moyenne pour les  $PM_{10}$ , et  $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $PM_{2.5}$ . Il apparaît que les relevés en  $PM_{10}$  et  $PM_{2.5}$  lors des pointes en gare de Saint-Ouen sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame : de l'ordre de 49 % pour les  $PM_{10}$  et 38% pour les  $PM_{2.5}$ .

Les niveaux les plus élevés de particules à Saint-Ouen surviennent les deux premières semaines de campagne ainsi que le mercredi de la 3<sup>ème</sup> semaine, mais pas de manière continue sur les 3 semaines. Par ailleurs, le week-end, les niveaux de particules à Saint-Ouen ne sont pas supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame. Cela laisse supposer l'existence d'une source de particules indépendante du trafic ferroviaire pendant les 2 premières semaines de la campagne.

## 2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées de cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes souterraines, notamment des systèmes de freinage<sup>4</sup>, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM<sub>10</sub> en gare de Saint-Ouen chaque jour ouvré pendant une semaine (du 27 février au 3 mars). Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h. Des mesures à la station de Saint-Michel-Notre-Dame ont été réalisées en parallèle, selon le même protocole.

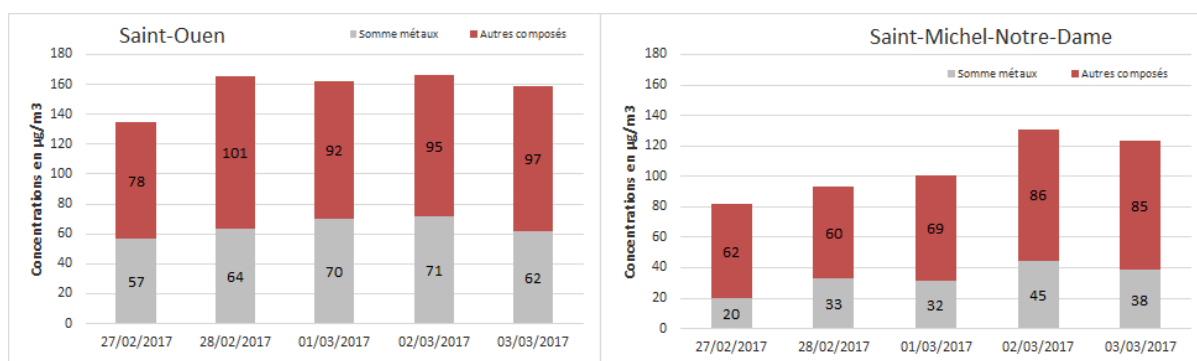
Les dix métaux suivants ont été étudiés : Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature<sup>4</sup>.

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

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

En gare de Saint-Ouen, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 57 µg/m<sup>3</sup> (le 27/02/17) à 71 µg/m<sup>3</sup> (le 02/03/17). En comparaison avec la concentration en particules PM<sub>10</sub> enregistrée les mêmes journées, la part des métaux varie de 39 à 43%. Elle est donc globalement stable.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la concentration des métaux a varié autour de plus faibles valeurs qu'à la gare de Saint-Ouen, entre 20 µg/m<sup>3</sup> (le 27/02/17) et 45 µg/m<sup>3</sup> (le 02/03/17). La part de métaux a varié de 24% (le 27/02/17) à 36% (le 28/02/17), parts légèrement plus faibles que lors des semaines des campagnes précédentes (où la part des métaux était plutôt située entre 35 et 40%).



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



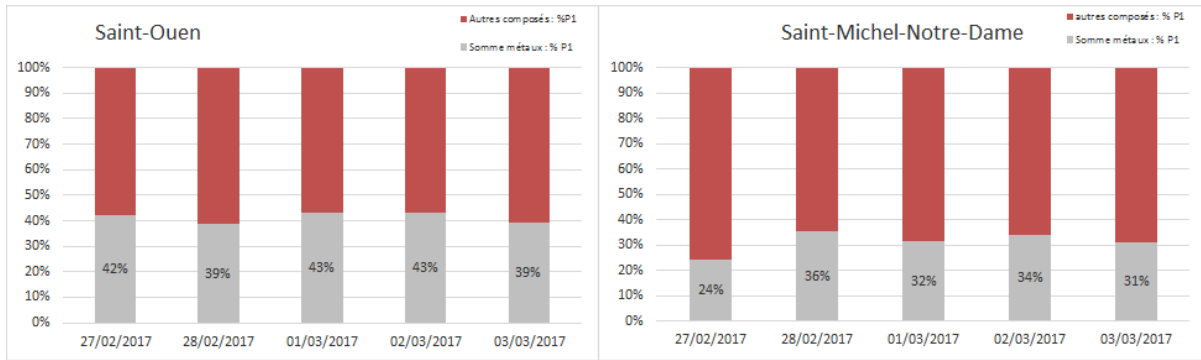


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement en concentration et en % de particules PM<sub>10</sub>, à la gare RER C de Saint-Ouen et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 27/02/2017 au 03/03/2017.

### 2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 27/02 et le 03/03/2017, aussi bien en gare de Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4. La contribution moyenne de chaque métal est proche à Saint-Ouen et Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le cuivre (2,4% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 1,1% à Saint-Ouen). Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure (excepté pour l'antimoine).

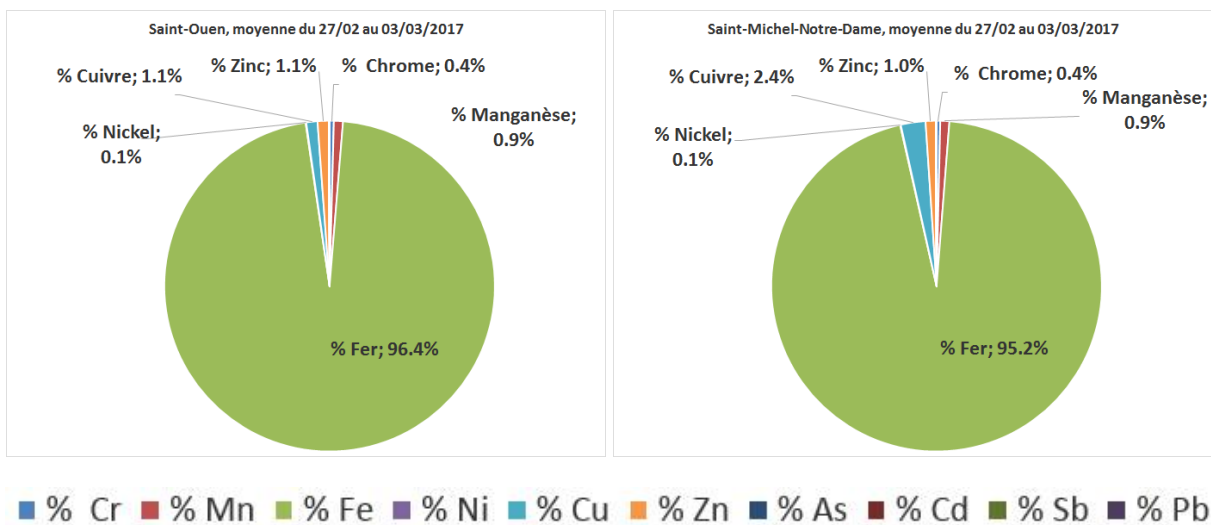


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 27/02 au 03/03/2017, en gare de Saint-Ouen et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 95 % des métaux mesurés, aussi bien à Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (chiffre stable par rapport aux mesures des mois de septembre et octobre, en parallèle des mesures réalisées en gare d'Austerlitz et de Haussmann-Saint-Lazare).

En dehors du fer, les deux métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont le Cuivre, le Zinc et le Manganèse, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1,1 % pour le **Cuivre** et le **Zinc** en gare de Saint-Ouen (2,4 % et 1% à Saint-Michel-Notre-Dame) et 0,9 % pour le **Manganèse** dans les deux gares.

Le **Chrome** représente 0,4% des métaux sur les deux sites, et le **Nickel** n'en représente que 0,1%.

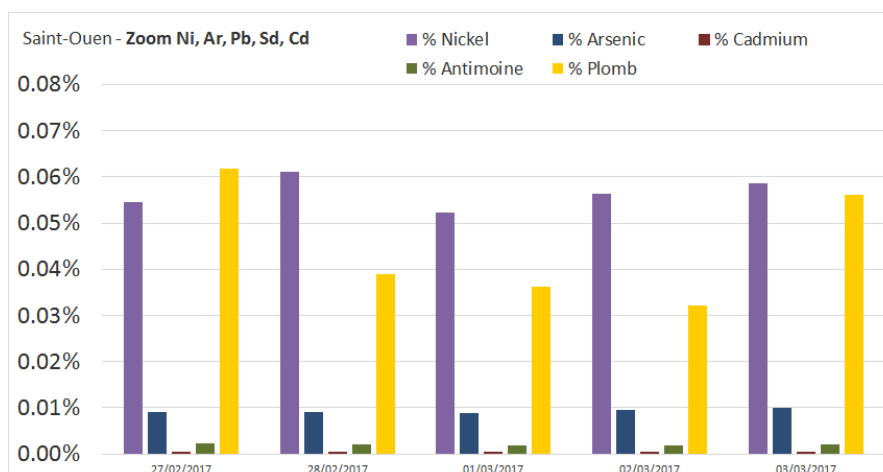
Les proportions en **Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Saint-Ouen ou à Saint-Michel-Notre-Dame.

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 Saint-Ouen 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. A Saint-Ouen, **la part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure, excepté pour les métaux suivants :**

- le cuivre, avec un écart maximal à la moyenne de 28%;
- le plomb, avec un écart maximal à la moyenne de 37%.



Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Saint-Ouen et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 27/02/2017 au 03/03/2017.



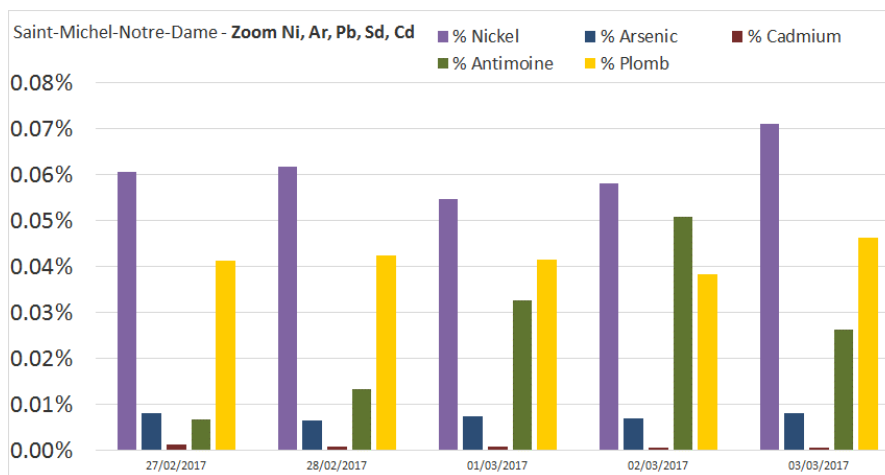


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Saint-Ouen et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 27/02/2017 au 03/03/2017.

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, Aluminium en quantité négligeable, 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 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 pendant la semaine de mesure, en gare de Saint-Ouen et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame. Les teneurs en **Fer** sont plus élevées à Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les moyennes journalières ont varié entre 55 µg/m<sup>3</sup> (27/02/2017) et 69 µg/m<sup>3</sup> (02/03/2017) en gare de Saint-Ouen (moyenne 63 µg/m<sup>3</sup>). A Saint-Michel-Notre-Dame, elles ont varié entre 19 et 43 µg/m<sup>3</sup> (moyenne 32 µg/m<sup>3</sup>), niveaux relativement faibles par rapport aux campagnes précédentes, comme évoqué précédemment.

Ces niveaux sont essentiellement liés aux concentrations de particules PM<sub>10</sub> observées sur les deux sites, car la part des métaux dans les PM<sub>10</sub> est plutôt stable sur la période de mesure. Le coefficient de corrélation entre la concentration de Fer et la concentration de PM<sub>10</sub> est de 0,93 pour Saint-Michel-Notre-Dame et de 0,81 pour Saint-Ouen.

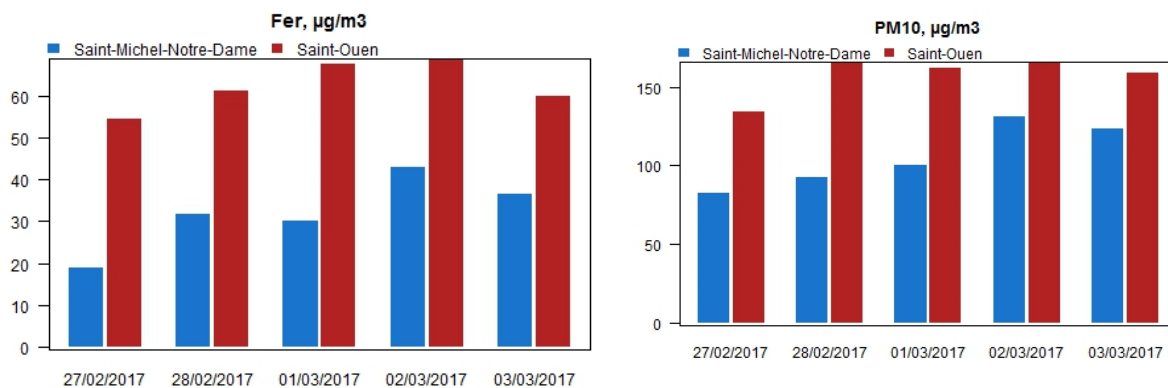


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer à la gare RER C de Saint-Ouen et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 27/02/2017 au 03/03/2017.

Quatre métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m<sup>3</sup> à un millier de ng/m<sup>3</sup>. 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 596 à 894 ng/m<sup>3</sup>. Les résultats sont du même ordre de grandeur dans les deux gares, mais avec des concentrations de PM<sub>10</sub> 1,5 fois plus importantes à Saint-Ouen, d'où une part de Cuivre plus faible en gare de Saint-Ouen. Les résultats à la station de référence sont similaires aux relevés des campagnes précédentes.

Les teneurs journalières en **Zinc** sont 2 fois plus importantes à Saint-Ouen (621 à 791 ng/m<sup>3</sup>) qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 496 et 643 ng/m<sup>3</sup>, soit 2 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 243 et 299 ng/m<sup>3</sup>, à nouveau 2 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

Ces différences s'expliquent par des niveaux de PM<sub>10</sub> 1,5 fois plus élevés en moyenne à Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les teneurs de tous les métaux ont été relativement stables sur les cinq jours étudiés, excepté pour l'antimoine à Saint-Michel-Notre-Dame, le cuivre aux deux gares et le plomb à Saint-Ouen.

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers à Saint-Ouen varient :

- Entre 31 et 40 ng/m<sup>3</sup> pour le Nickel ;
- Entre 23 et 35 ng/m<sup>3</sup> pour le Plomb ;
- Entre 1 et 2 ng/m<sup>3</sup> pour l'Antimoine ;
- Entre 5 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  $PM_{10}$  en gare de Saint-Ouen varie de 39 à 43% sur la semaine de mesure.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 95% des métaux mesurés, aussi bien à Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Viennent ensuite le **Cuivre** et le **Zinc** (1,1 % à Saint-Ouen), le **Manganèse** (0,9%), le **Chrome** (0,4%), et le **Nickel** (0,1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La part des différents composés varie très peu pendant la semaine de mesure, excepté pour le cuivre et le plomb.

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf pour le cuivre (1,1% à Saint-Ouen et 2.4% à Saint-Michel-Notre-Dame). Les teneurs de métaux à Saint-Ouen sont aussi plus élevées, liées essentiellement aux niveaux de  $PM_{10}$ .

## 2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES $PM_{10}$ ET PARTICULES TRES FINES $PM_{2,5}$

La part relative des  $PM_{2,5}$  et des  $PM_{10}$  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 ( $PM_{10}$ ) est présenté à la Figure 15. En moyenne, en gare de Saint-Ouen, le ratio  $PM_{2,5}/PM_{10}$  est de 0,32. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,34 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,39 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. La différence de ratio entre Saint-Ouen et Saint-Michel-Notre-Dame est donc faible pour cette période de mesure, mais la moyenne du ratio à Saint-Michel-Notre-Dame est habituellement autour de 0,4/0,5.

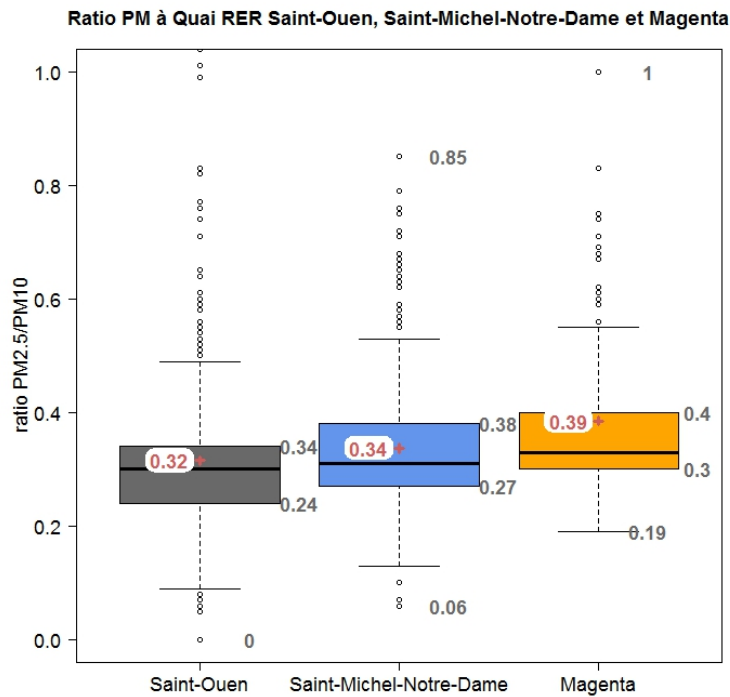


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , à la Gare RER C de Saint-Ouen et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

## 2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , présentées à la Figure 16, sont faibles en semaine, aussi bien en gare de Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Cela s'explique par des sources stables de  $PM_{2,5}$  et  $PM_{10}$  en semaine. Par ailleurs, une différence de variation entre la semaine et le weekend est notable, entre la station de Saint-Ouen et celles de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta : une augmentation du ratio de 20% le weekend pour la première et de 12% pour les autres. Comme évoqué précédemment, cela pourrait s'expliquer par l'arrêt des travaux en surface le weekend à Saint-Ouen et donc un apport d'autant plus faible de  $PM_{10}$  dans la gare, en plus de la réduction du trafic des trains.

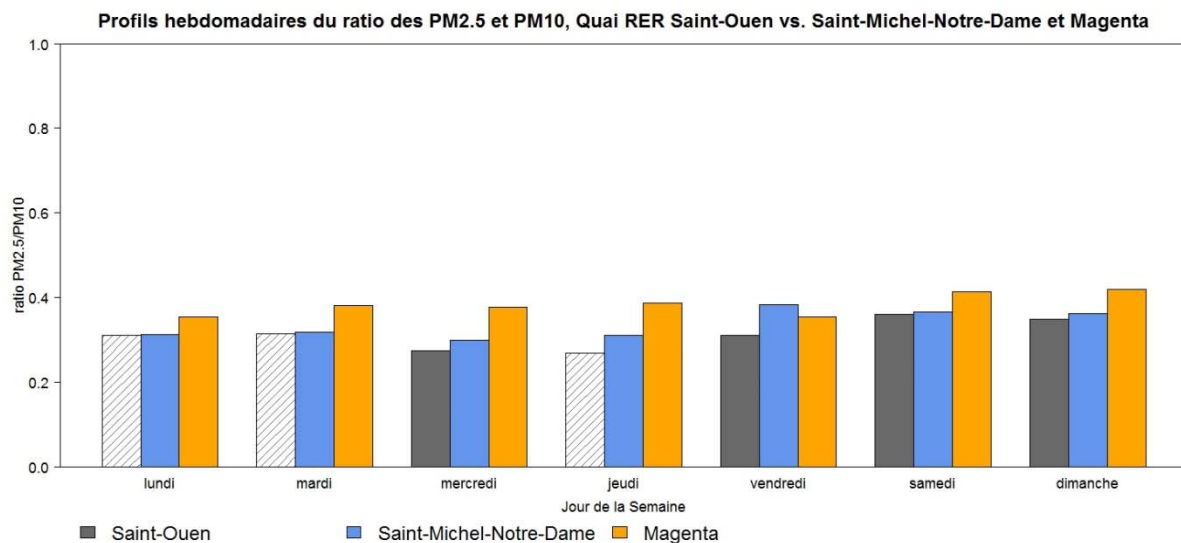


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Saint-Ouen et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 20/02/2017 au 12/03/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

### 2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17. Les profils sont proches à Saint-Ouen et à Saint-Michel-Notre-Dame en termes de niveaux, même si de nombreuses valeurs sont manquantes lors des pics de nuit en semaine. Les ratios sont du même ordre de grandeur sur les trois gares la nuit (1h-5h), période où les maxima sont atteints.

En termes de variation, le profil en gare de Saint-Ouen est proche de celui de Magenta : les ratios sont stables en journée, ils augmentent la nuit lorsque l'activité de la gare est nulle (trains, voyageurs), que les particules  $PM_{10}$  se déposent au sol et que les concentrations en  $PM_{10}$  diminuent fortement pour se rapprocher de celles de  $PM_{2,5}$ . Un pic quotidien des ratios est observé en début d'ouverture de la gare.

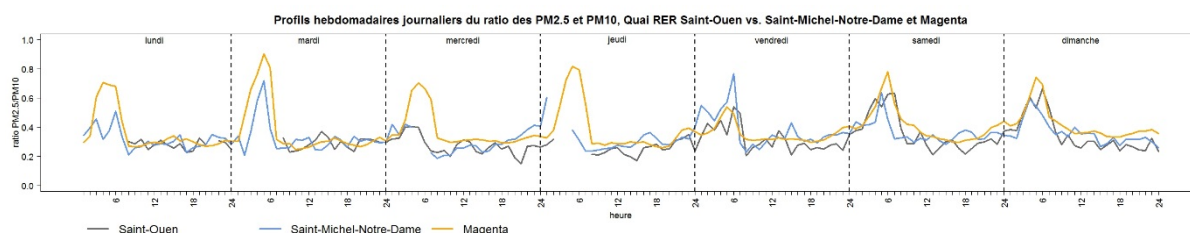


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Saint-Ouen et aux stations de référence, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

L'étude des profils moyens journaliers est présentée à la Figure 18. Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 7h à 21h), aussi bien en gare de Saint-Ouen qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, autour de 0,3. Les heures de pointe n'est presque pas d'effet sur le ratio, comparé à d'autres gares. La nuit (entre 2h et 6h, lors de la fermeture au public), les ratios augmentent jusqu'à 0,5 (autour de 0,6/0,8 à Magenta). 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.

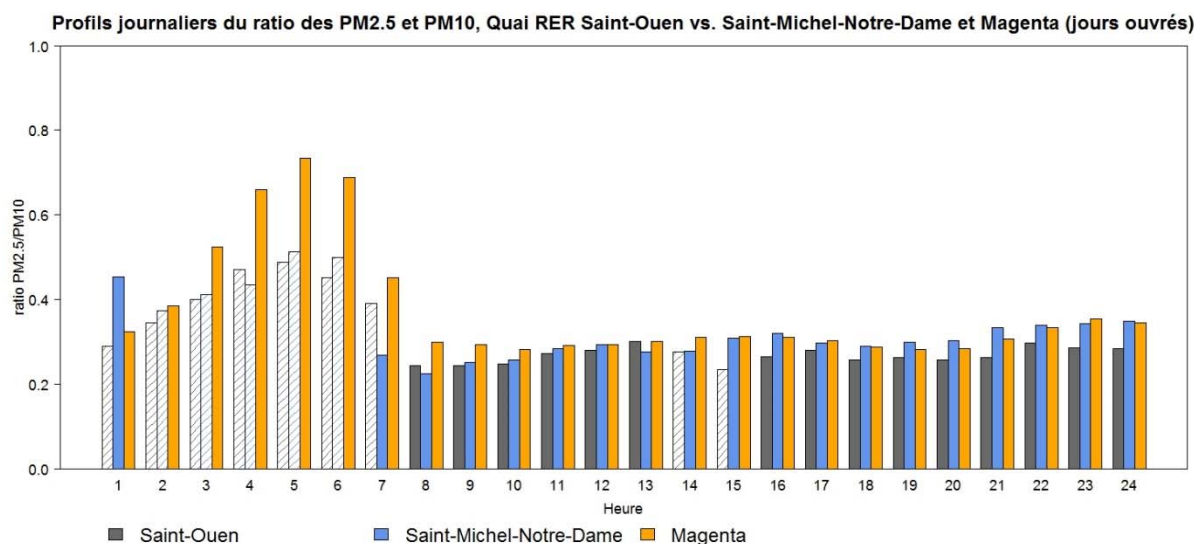


Figure 18 – Evolution des profils journaliers des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Saint-Ouen et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 20/02/2017 au 12/03/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%



Les particules mesurées en gare de Saint-Ouen sont essentiellement des particules dont la taille est comprise en 2,5 et 10 microns. Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  atteint 0,32 à Saint-Ouen, contre 0,34 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,39 à Magenta.

Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est relativement stable à l'échelle hebdomadaire sur les trois gares, avec une tendance légère à la hausse à partir les samedis/dimanches à Saint-Ouen. Cela peut provenir d'une source supplémentaire de  $PM_{10}$  en semaine à Saint-Ouen (travaux en surface).

A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,3 en journée, qui augmente la nuit, entre 0,4 et 0,5, lorsque les concentrations en  $PM_{10}$  diminuent fortement pour se rapprocher de celles de  $PM_{2.5}$ .

### 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 des mois de février/mars, avec des températures légèrement supérieures à la normale. Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR<sup>5</sup>, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible pendant la moitié de la campagne de mesure (15 jours, soit 71% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 6 jours (29% du temps).



Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois de février et mars 2017.

<sup>5</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.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Saint-Ouen avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée Figure 20, pour les particules PM<sub>10</sub> et les particules fines PM<sub>2,5</sub>. Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Saint-Ouen ne sont pas liées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif (il n'y a pas de station Airparif à Saint-Ouen) : les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires de Saint-Ouen et des stations extérieures vont de -0,2 à 0,11, PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> confondues.

La faible profondeur du quai permet à l'air extérieur de descendre jusqu'aux quais via les entrées/sorties de la gare : les particules produites par le chantier en surface de la gare sont susceptibles d'atteindre les quais. Ces particules sont émises très localement et n'influencent pas les niveaux extérieurs de fond mesurés par les stations du réseau d'Airparif : cela pourrait expliquer l'absence de corrélation entre les niveaux intérieurs de la gare et les niveaux extérieurs du réseau.

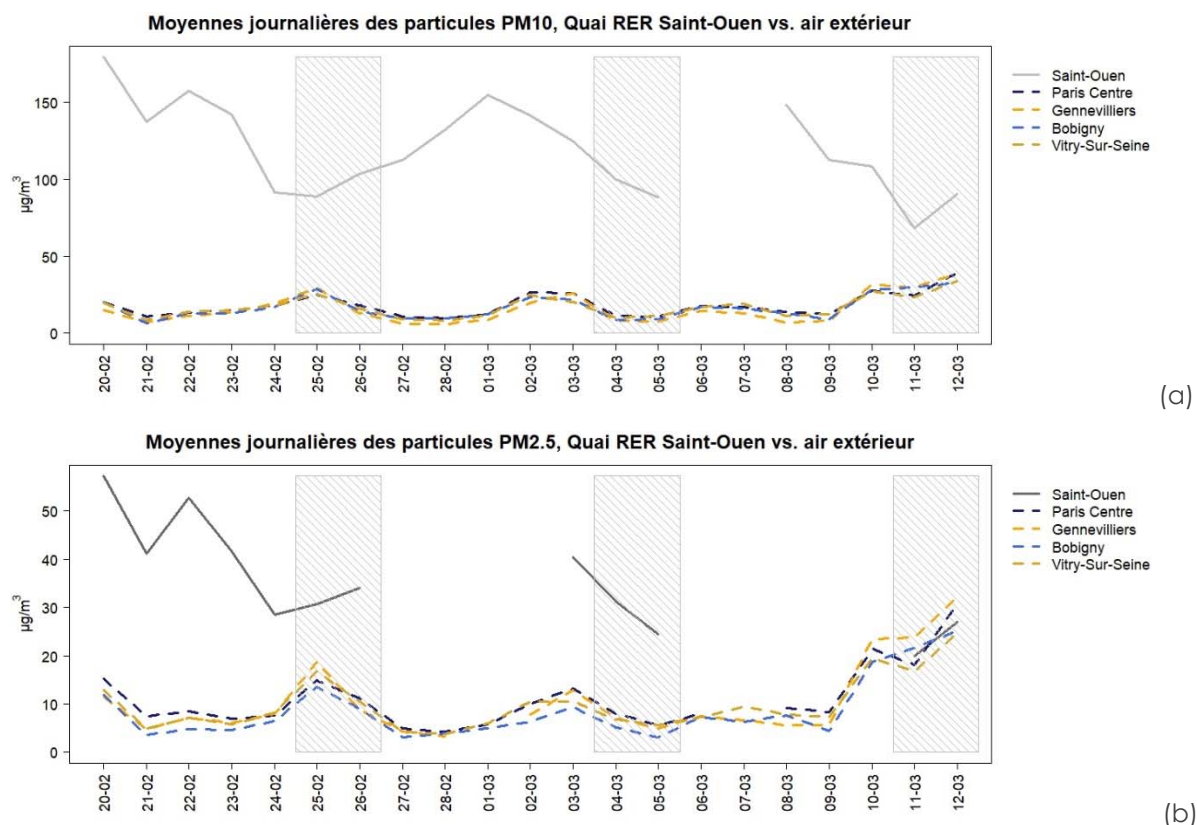


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM<sub>10</sub> (a) et en PM<sub>2,5</sub> (b) en gare de Saint-Ouen et en air extérieur (situation de fond et proximité au trafic routier), période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

## 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 soumis potentiellement à diverses sources (combustion, respiration humaine, source extérieure). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les relevés horaires sont présentés à la Figure 21. La température moyenne en gare de Saint-Ouen est de 17°C, les relevés horaires ayant varié entre 15 et 19°C (similaire à Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare de Saint-Ouen est de 54%, les relevés horaires ayant varié de 41% à 70%. Ces relevés sont proches de ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO<sub>2</sub> sont plus fluctuants (mais moins qu'à Saint-Michel-Notre-Dame), ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 563 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 463 ppm et 715 ppm (heures de pointe). Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, seuil à respecter dans des conditions normales d'occupation d'un bâtiment non résidentiel<sup>6</sup>.

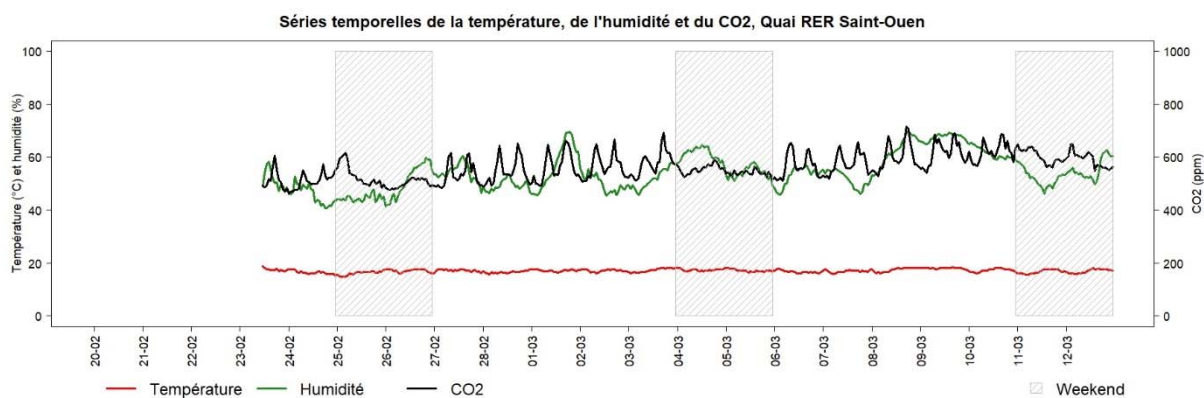


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

Les variations des concentrations de CO<sub>2</sub> sont en moyenne faibles dans la gare de Saint-Ouen (cf. Figure 22). La comparaison des concentrations horaires en particules (PM<sub>10</sub>) et en CO<sub>2</sub> les jours ouvrés montre que les teneurs maximales en particules sont observées en même temps que pour le CO<sub>2</sub> (léger décalage le matin), à savoir entre 8h et 9h le matin et entre 18h et 19h en fin de journée. La corrélation entre les teneurs en CO<sub>2</sub> et les PM<sub>10</sub> est cependant plus faible à Saint-Ouen (0,33) qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (0,46).

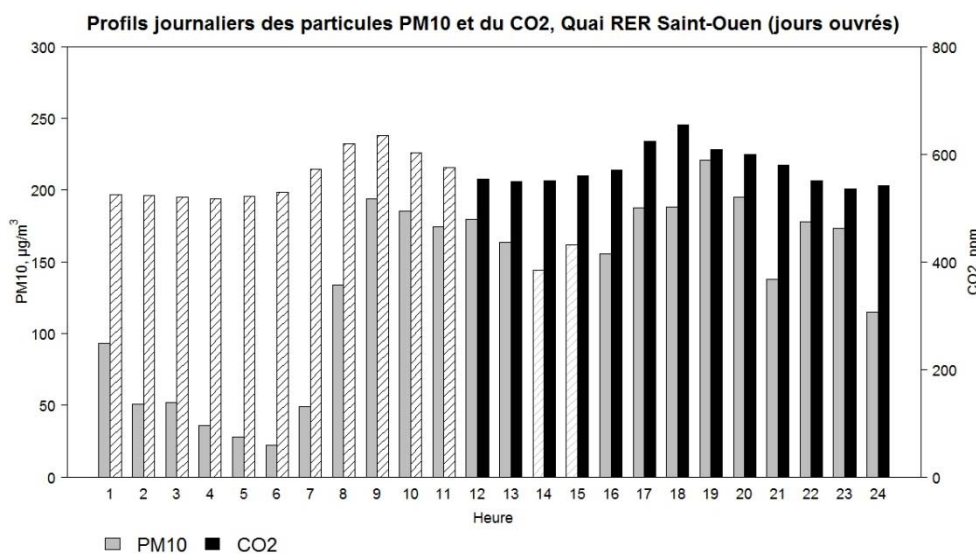


Figure 22 – Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%.

<sup>6</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, tels que la fréquence des trains, la ventilation de la gare ou encore des perturbations du trafic, doivent être pris en compte en tant que potentiel explicatif des niveaux de particules.

La gare de Saint-Ouen ne bénéficie pas de système de ventilation mécanique, les entrées et sorties d'air sont « naturelles ». L'étude de l'influence des paramètres de ventilation sur les niveaux de particules dans la gare n'est donc pas possible.

Le nombre de trains théorique circulant en gare de Saint-Ouen (et aux stations de référence) 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. Aucune perturbation de grande ampleur n'a été signalée sur la ligne ou dans la gare de Saint-Ouen.

En moyenne, les jours ouvrés, 168 circulent en gare de Saint-Ouen (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 145 trains qui ont circulé (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 143 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 23.

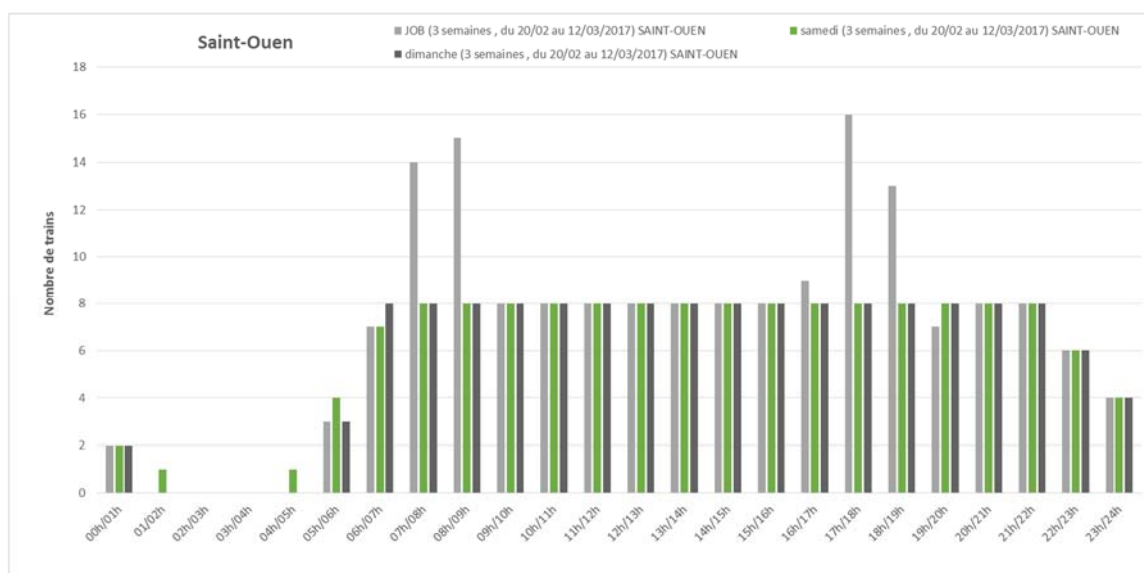


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

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, en gare de Saint-Ouen. Le profil des teneurs en particules  $PM_{10}$  est clairement corrélé au nombre de trains en circulation. Entre 20h et 22h, le nombre de trains reste à un plateau de 8 par heure comme en pleine journée hors heures de pointe, et la fréquence ne diminue qu'après 22h, ce qui expliquerait les niveaux de  $PM_{10}$  entre 21h et 23h comparables à ceux de la journée.

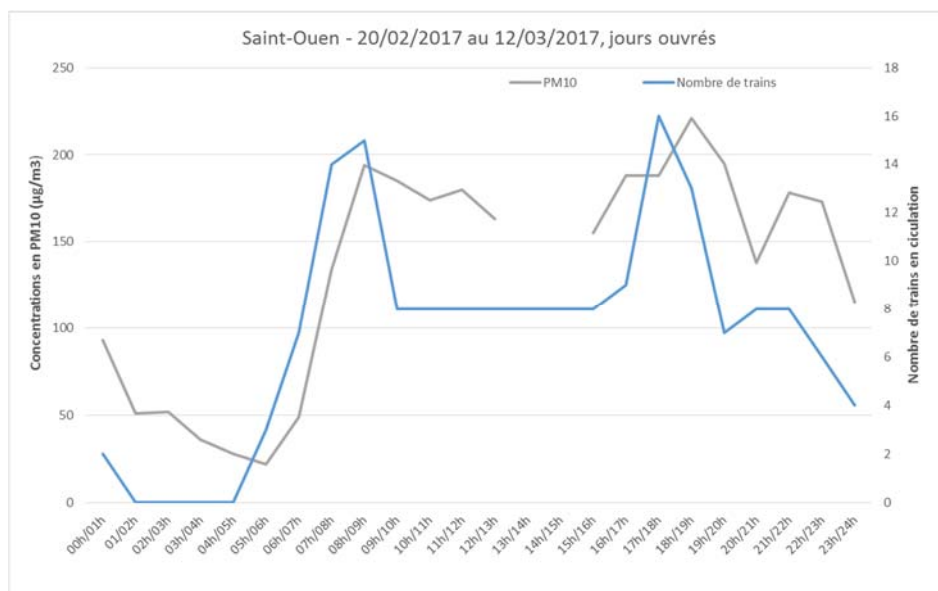


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM<sub>10</sub> observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

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

En gare de Saint-Ouen, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit par une baisse des teneurs en particules (comparaison jours ouvrés/samedi notamment) : baisse de 14% du nombre de trains et diminution de 32% des niveaux de PM<sub>10</sub>.

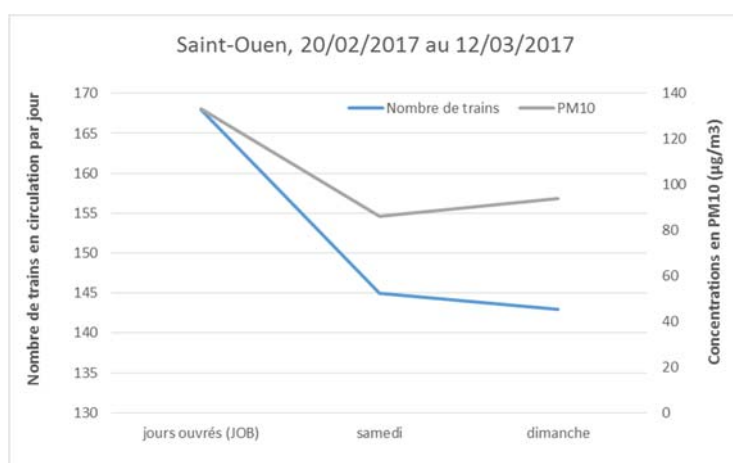


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM<sub>10</sub> observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Saint-Ouen, période du 20/02/2017 au 12/03/2017.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, la ventilation ou encore les paramètres techniques de la gare de Saint-Ouen a été étudiée.

- Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules sur le quai, d'où des maxima observables aux heures de pointe en semaine.
- Les niveaux en CO<sub>2</sub>, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont faiblement corrélés (0,33) avec les niveaux de particules en gare de Saint-Ouen.
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de Saint-Ouen ne sont pas corrélées à celles mesurées en air extérieur dans l'ambiance générale de fond. Cependant, une source locale extérieure, non mesurée par les stations du réseau Airparif, peut être la source de niveaux de particules plus élevés en gare de Saint-Ouen qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

## 4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Saint-Ouen, 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 de Saint-Ouen au cours des mois de février/mars 2017 étaient en moyenne de 121 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 349 µg/m<sup>3</sup> (enregistré lors des heures de pointe du soir).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteignent 37 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 95 µg/m<sup>3</sup> (maximum atteint aux mêmes heures pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>).

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> à la gare de Saint-Ouen sont plus élevées que celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée), en termes de niveaux journaliers en semaine. Ceci est probablement dû à des travaux en surface à proximité de la gare de Saint-Ouen.

Plusieurs indicateurs confortent cette hypothèse :

- Connaissance du terrain ;
- Une absence de corrélation avec les niveaux extérieurs des stations Airparif ;
- Une diminution atypique des niveaux de PM<sub>2,5</sub> de la semaine au weekend ;
- Un ratio PM<sub>2,5</sub>/PM<sub>10</sub> plus faible que dans les gares de références.

Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> en gare de Saint-Ouen sont similaires 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).

Comme pour les autres gares étudiées, l'analyse des teneurs en métaux des particules PM<sub>10</sub> confirme la présence majoritaire du Fer (environ 95 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Cuivre, le Zinc et le Manganèse, dans des proportions nettement moins importantes (1,1 % et 0,9 % des particules). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre que l'on retrouve en plus faible proportion à Saint-Ouen (1,1% contre 2,4% à Saint-Michel-Notre-Dame).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation. Cependant, les différences de niveaux entre gares s'expliquent surtout par le système de ventilation, le volume de la gare, et les activités environnantes.

Ce rapport concerne les résultats de la troisième campagne de mesure Gare, après celle réalisée en gare RER A de Cergy Préfecture et celle réalisée en gare RER D de Evry Bras-de-Fer. 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 réalisées avec un appareil portable, afin de caractériser la variabilité des niveaux de particules au cours de la journée de travail et des microenvironnements fréquentés.



## ANNEXE 1 :

### ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE SAINT-OUEN

#### Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation : Naturelle

#### Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 7459 (source : SNCF, carte des montants 2016)

#### Caractéristiques du matériel roulant (source : STIF / OMNIL) :

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

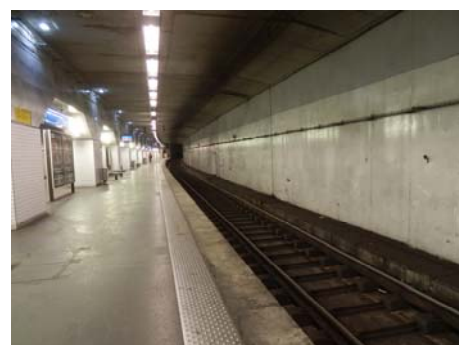
Véhicules à étage (2 niveaux), entre 872 et 1536 places totales par train.

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>7</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>8</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>4</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>7</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.

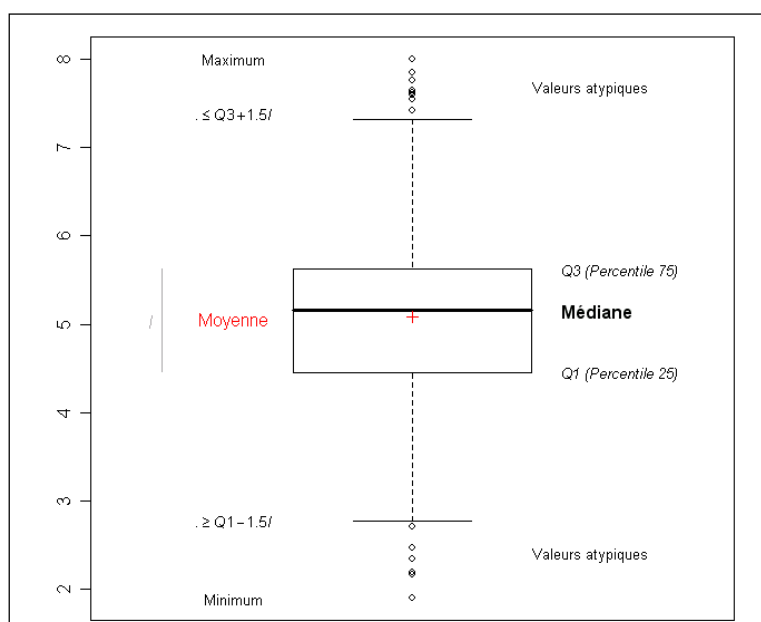
<sup>8</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

## 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).



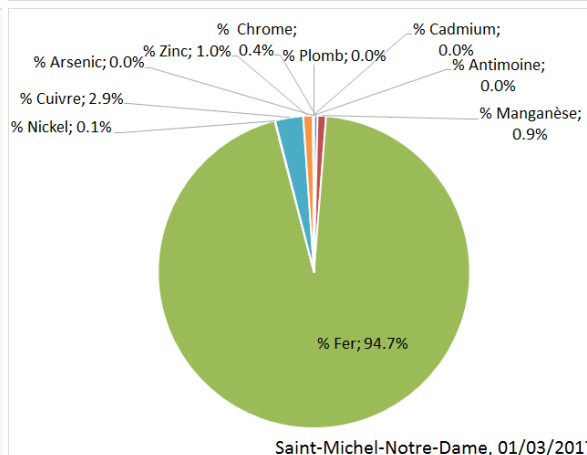
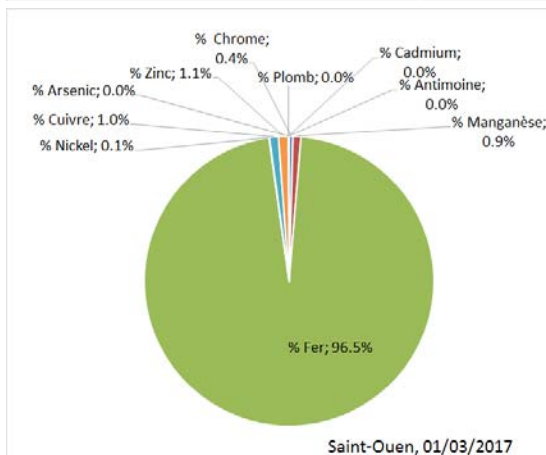
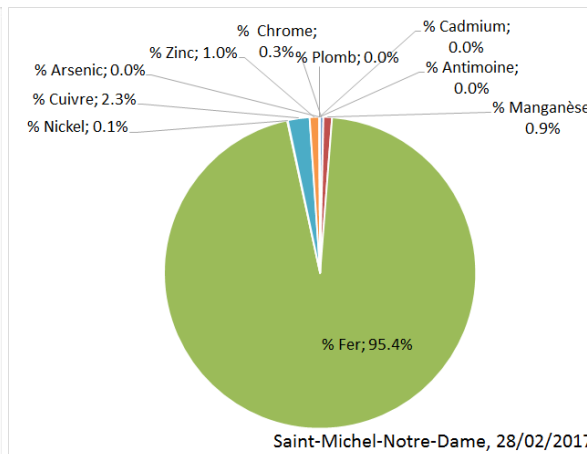
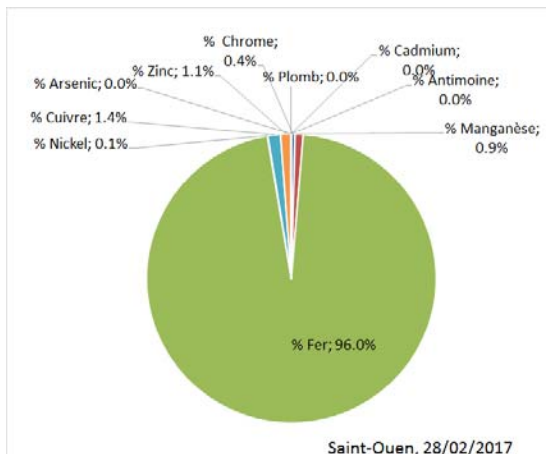
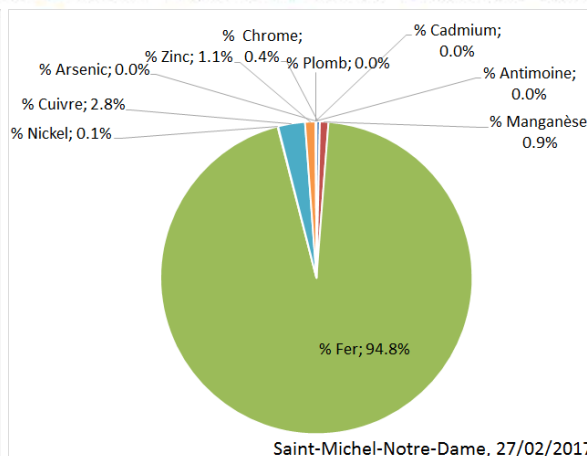
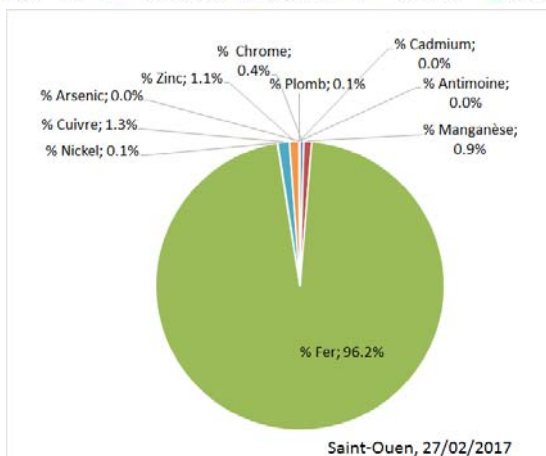
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près 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.

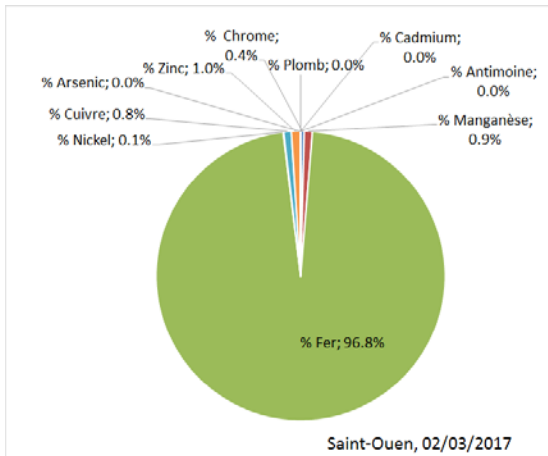
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

## ANNEXE 4 :

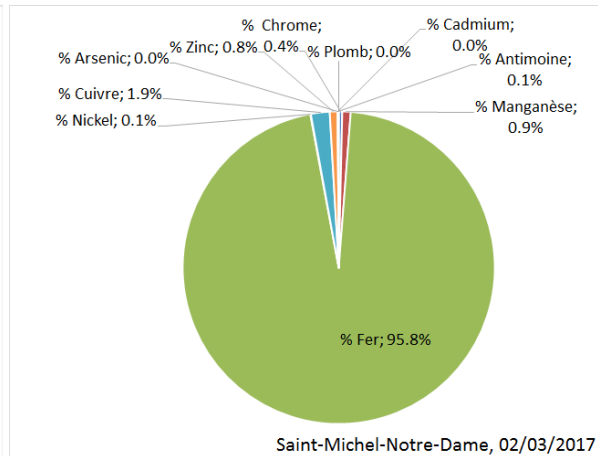
### REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE

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

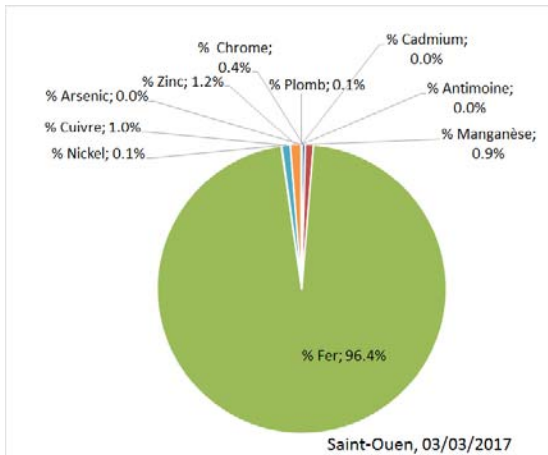




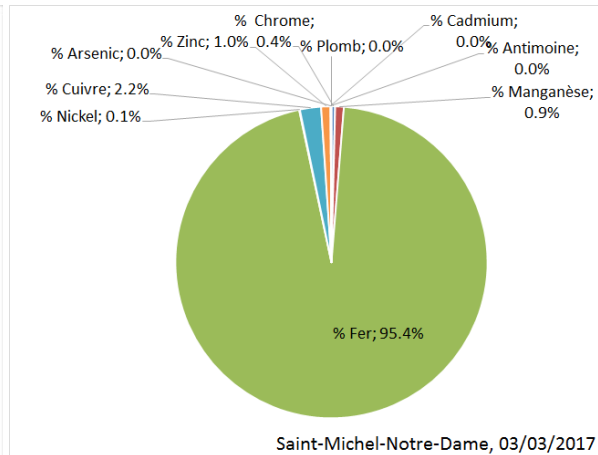
Saint-Ouen, 02/03/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, 02/03/2017



Saint-Ouen, 03/03/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, 03/03/2017



## ANNEXE 5 :

### RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE RER C DE SAINT-OUEN ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 27/02/2017 AU 03/03/2017.

