

# MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE AVENUE DU PRÉSIDENT KENNEDY

Octobre 2017

Juin 2018







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 L'AVENUE DU PRESIDENT KENNEDY – OCTOBRE 2017

Juin 2018

« 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 **02/10/2017 au 22/10/2017** en gare de **Avenue du Président Kennedy (RER C, quai B vers Paris)**, appelé gare de Kennedy dans ce rapport. Les particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2,5</sub>) ont été suivies, ainsi que les métaux.



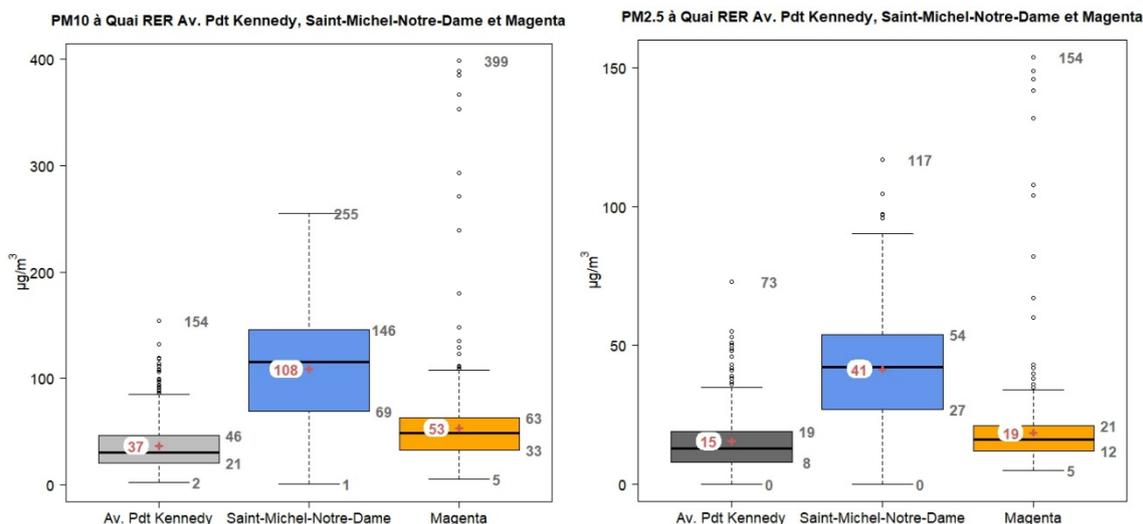
## Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare de Kennedy au cours du mois d'octobre 2017 étaient en moyenne de 37 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 154 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le matin entre 9 et 10h).

Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteignent 15 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 73 µg/m<sup>3</sup> (maximum atteint la nuit entre 23h et minuit).

**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 3 fois inférieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (108 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période), et inférieurs à ceux de la station Magenta (53 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

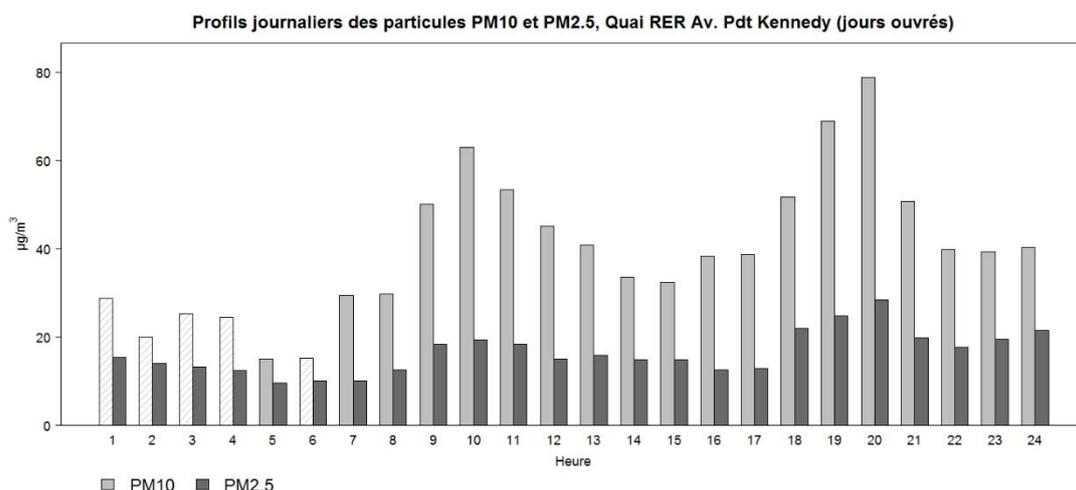
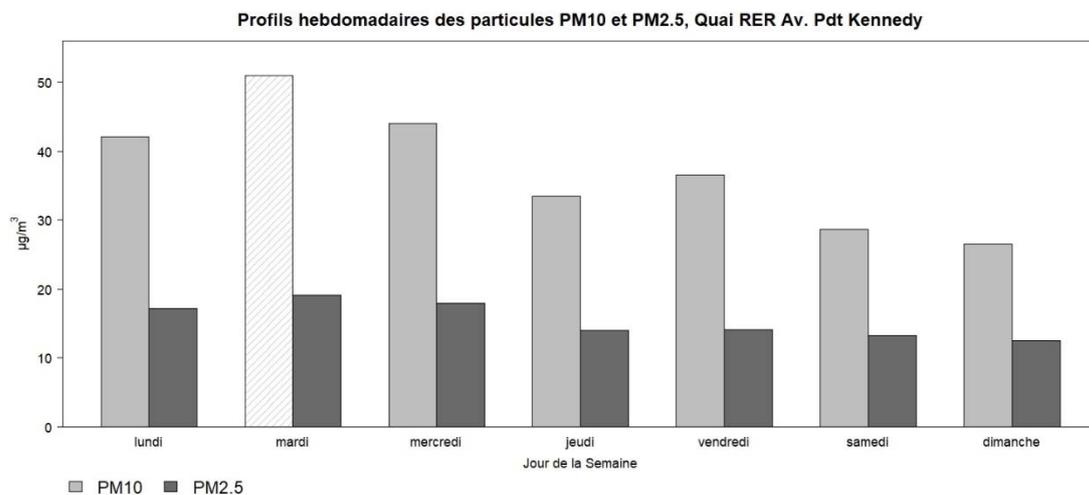
Les niveaux moyens en PM<sub>2,5</sub> à la gare de Kennedy (15 µg/m<sup>3</sup>) sont, comme pour les PM<sub>10</sub>, près de 3 fois inférieurs à ceux enregistrés à la station Saint-Michel-Notre-Dame (41 µg/m<sup>3</sup>), et très proches de ceux de la station Magenta (19 µg/m<sup>3</sup>). Ce résultat s'explique par le système de ventilation en place en gare de Magenta et par la structure naturellement aérée de la gare de Kennedy, paramètre favorisant l'évacuation de la pollution aux particules dans ces deux gares.



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

Les niveaux de particules PM<sub>10</sub> à la gare de Kennedy sont très inférieurs à ceux de la gare Saint-Michel-Notre-Dame, sur toute la période de mesure, et restent proches mais inférieurs la plupart du temps à ceux de Magenta, excepté lors de certaines heures de pointe. En termes d'évolution temporelle, les trois stations observent globalement les mêmes tendances avec des niveaux notamment plus élevés la semaine du 16/10, conformément à la mesure de niveaux plus élevés sur la région parisienne.

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> (-28%) et les PM<sub>2,5</sub> (-19%). 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).

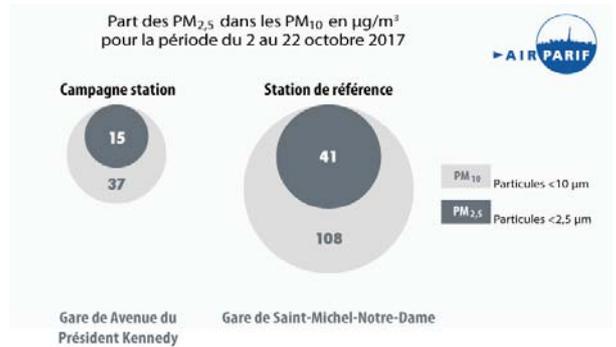


Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Kennedy, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 15 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 12 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2,5</sub> (attention cependant car la disponibilité des données est inférieure à 75% pour ces heures). Les concentrations sont maximales vers 8-11h le matin et 17-21h en soirée. Les concentrations sont alors de 60 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une heure en PM<sub>10</sub> et 21 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2,5</sub>. Ces profils (variabilité temporelle) sont similaires à ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM<sub>10</sub> avec cependant un décalage des heures de pointes plus tôt le matin et plus tôt le soir à Kennedy. Les niveaux de PM<sub>2,5</sub> et de PM<sub>10</sub> aux heures de pointe respectives des deux gares sont en moyenne 67% plus faibles à Kennedy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (heures de pointe considérées ici : 9 à 12h et 18 à 21h).

Les variations temporelles sont fortement liées au nombre de trains en circulation, qui fluctue beaucoup au cours de la journée, ainsi qu'à d'autres facteurs environnementaux comme l'influence de l'air extérieur (la gare de Kennedy est semi-ouverte donc très aérée), ainsi qu'au système de ventilation (pas de système de ventilation en gares de Kennedy et de Saint-Michel-Notre-Dame), volume de la gare, et 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> en gare de Kennedy est en moyenne de 0,48, supérieur à ceux enregistrés aux sites de référence (0,42 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta). Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée et augmente lors des heures creuses de 12 à 15h. Les pics ponctuels au-dessus de 0,6 s'observent la nuit entre 1 et 5h lorsque les émissions de PM<sub>10</sub> dues à l'activité de la gare diminuent fortement. L'augmentation du ratio traduit l'influence de l'air extérieur caractérisé par un ratio élevé.



### 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 ?

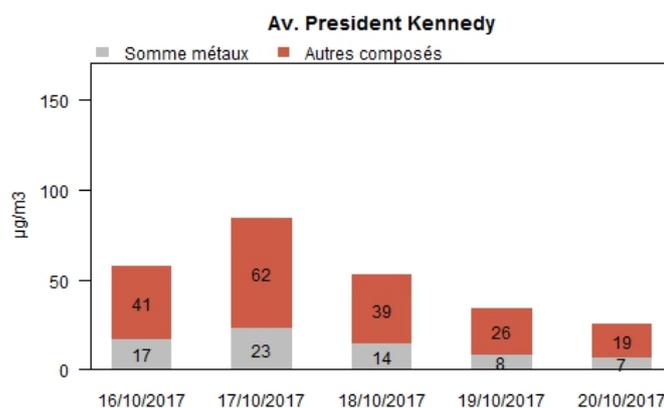
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM<sub>10</sub> varie de 24 à 29% sur la semaine de mesure (16/10 au 20/10/2017) en gare de Kennedy. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame varie entre 37 et 41%. La part des métaux est plus faible en gare de Kennedy, dû à l'apport plus important d'air extérieur.

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

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 93,7 % des métaux mesurés à Kennedy et 94,9% à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite l'**Aluminium** (2,5%), le **Zinc** (1,6%), le **Cuivre** (1%), le **Manganèse** (0,7%) et le **Chrome** (0,3%). Les proportions d'**Aluminium** et de **Zinc** sont plus élevées qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, où elles sont respectivement de 1,4% et 0,9% en moyenne. A contrario, la proportion de **Cuivre** est légèrement inférieure à celle de Saint-Michel-Notre-Dame, qui est de 1,7%. Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

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

Les relevés journaliers ont été plus importants du lundi au mercredi, avec un maximum le mardi sur les deux sites de mesure.



# 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> .....	14
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	16
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE .....	16
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	17
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	18
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES .....	21
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	21
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	22
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	24
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2,5</sub> .....	26
2.4.1. NIVEAUX MOYENS .....	26
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	26
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES .....	27
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	29
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR .....	29
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT .....	30
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE .....	32
4. CONCLUSION .....	35

**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.**

## 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.

# INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

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

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

Pendant 2 ans, 23 gares franciliennes souterraines ou mixtes 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.

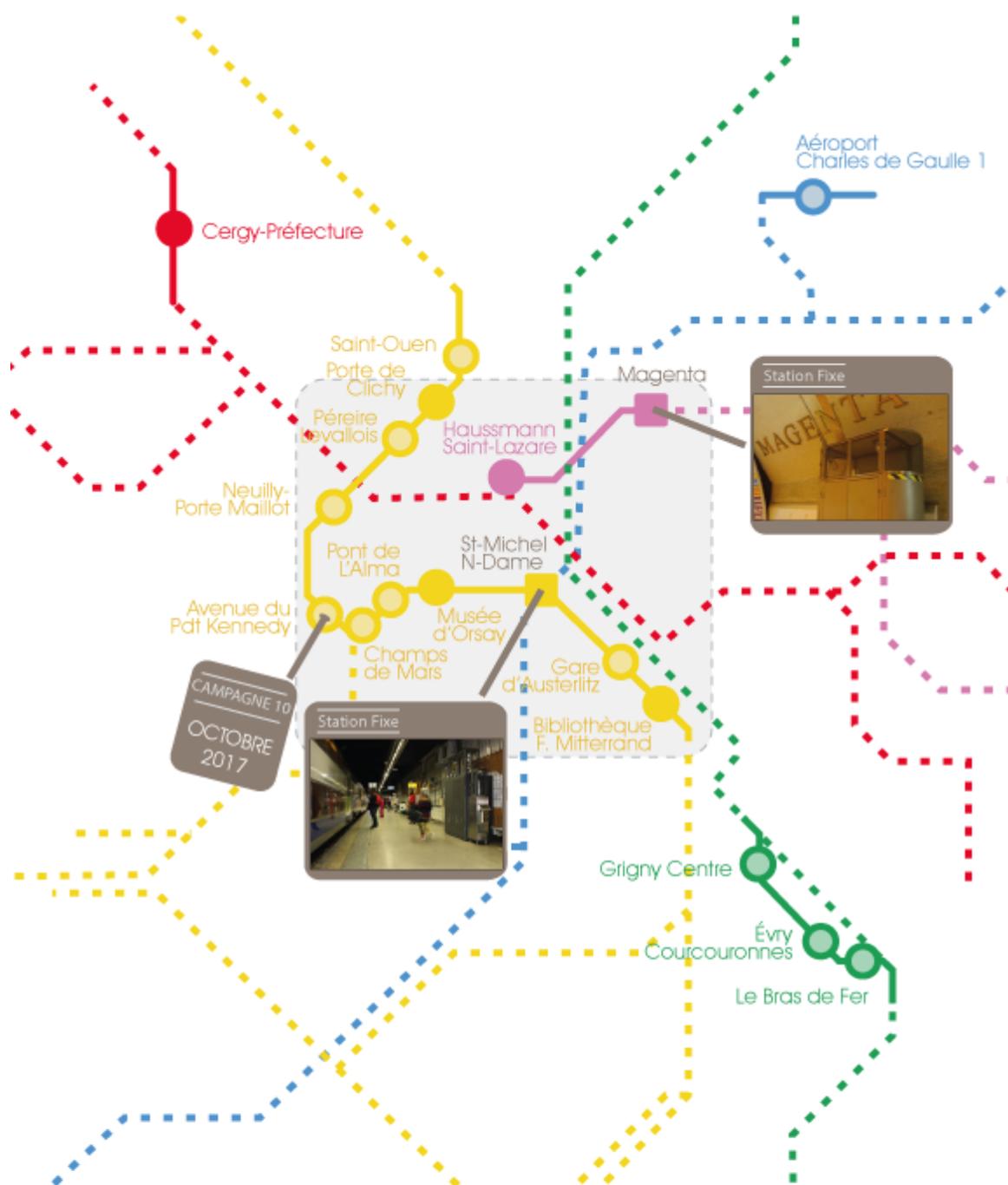
**C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de Kennedy en octobre 2017, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.**

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Kennedy), 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'Essais Ferroviaires, Laboratoire d'Essais de la SNCF.



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

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

Paris intra muros 



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

# 1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

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

La gare Avenue du Président Kennedy, sur le RER C, est concernée par le programme de partenariat. Elle est située 6 rue du Ranelagh/5 rue du Docteur Germain See, dans le 16<sup>ème</sup> arrondissement de Paris (75016).

**Cette gare RER est en surface (37m d'altitude, vue sur la Seine) et mixte (les quais sont en partie couverts et en partie aériens).** Les voies de circulation se prolongent vers le nord par un tunnel. La gare comprend une double voie centrale et des quais de chaque côté de la voie. C'est une gare simple, sans correspondance. **Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle).**

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

Le nombre de voyageurs montant en gare de Kennedy (RER C) est de 3325 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Kennedy (2 sens confondus) est de 169 les jours ouvrés (jours JOB), 143 les samedis et 141 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 B (direction vers Paris), partie couverte.



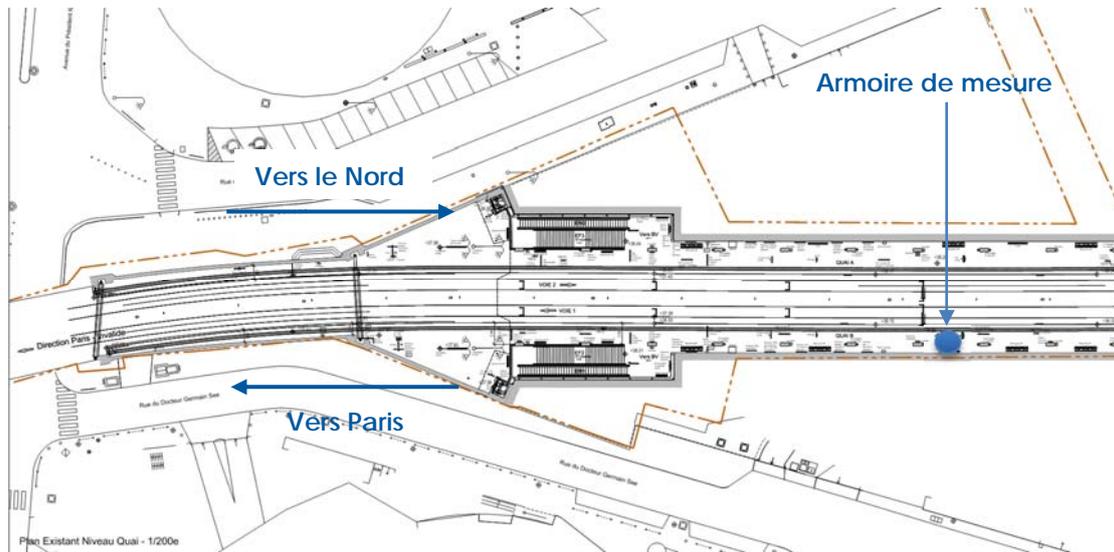


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de Kennedy, ligne RER C, quai vers Paris), photos de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

Les détails sur les indicateurs de pollution retenus et les appareils de mesure mis en œuvre sont présentés en ANNEXE 2.

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 Kennedy ont été réalisées pendant 3 semaines, du **02/10/2017 au 22/10/2017**. 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.

## 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 concentrations 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 Kennedy sont comparés aux observations faites 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 Kennedy 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 Kennedy	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Kennedy	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	2	1	5	0	0	5
Percentile 25 (P25)	21	69	33	8	27	12
Médiane ou Percentile 50	30	116	49	13	42	16
Moyenne	<b>37</b>	<b>109</b>	<b>53</b>	<b>15</b>	<b>41</b>	<b>19</b>
Percentile 75 (P75)	46	146	63	19	54	21
Maximum horaire	154	255	399	73	117	154
% de données horaires valides	89	93	100	98	88	100

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Kennedy, et aux deux stations de référence, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

Le niveau moyen en PM<sub>10</sub> relevé en gare de Kennedy est inférieur à celui de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et à celui de la gare de Magenta. Les paramètres statistiques sont de 40 à 75% plus faibles en gare de Kennedy qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les résultats pour les PM<sub>2,5</sub> à la Gare RER C de Kennedy sont plus faibles que ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et du même ordre de grandeur que ceux de la gare de Magenta, sauf pour la concentration maximale qui est plus élevée en gare de Magenta (mais une telle concentration est inhabituelle en gare de Magenta).

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

La variabilité des concentrations en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C de Kennedy, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, est représentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches.

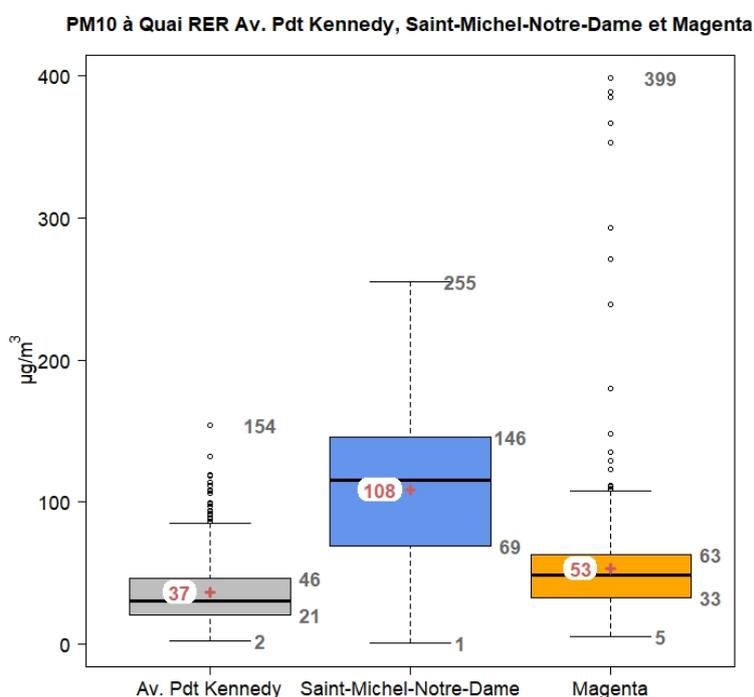


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Kennedy et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

Les boîtes à moustaches permettent de comparer facilement plusieurs grandeurs statistiques. Cette représentation graphique de la distribution d'une variable met en exergue les premier et troisième quartiles, qui sont les bordures inférieure et supérieure de la boîte rectangulaire. La boîte rectangulaire contient 50% des données. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane (50% des données sont inférieures, les 50% restantes sont supérieures), et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM<sub>10</sub> en Gare RER C de Kennedy montre une répartition « équilibrée <sup>3</sup> » des mesures. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C de Kennedy sont comprises entre 21 et 46 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 37 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 30 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum atteint à Kennedy est de 154 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le mardi 17 octobre entre 9 et 10h, heure de pointe du matin).

### 2.1.2. PARTICULES PM<sub>2,5</sub>

La boîte à moustaches des concentrations de PM<sub>2,5</sub> relevées à la gare RER C de Kennedy est présentée Figure 4, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame.

<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.

PM2.5 à Quai RER Av. Pdt Kennedy, Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta

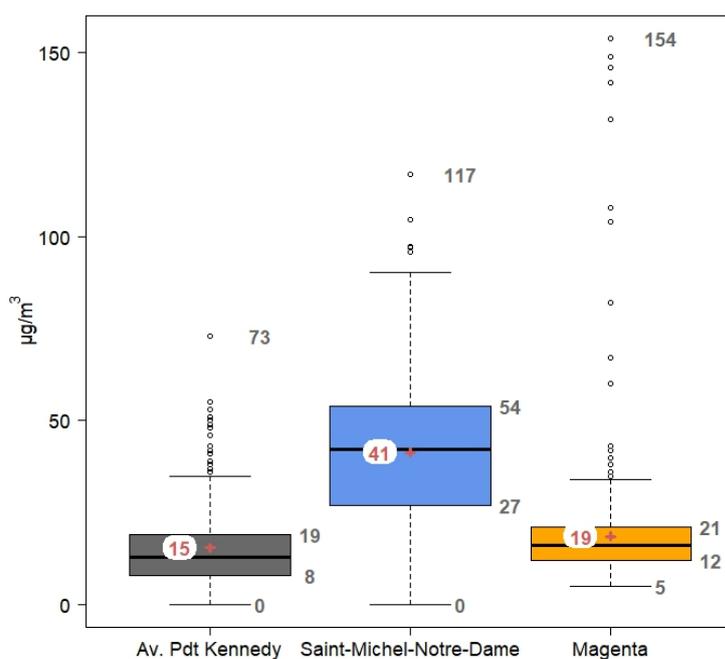


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Kennedy et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

La boîte à moustaches montre une moyenne et une médiane proches l'une de l'autre en gare de Kennedy (respectivement 15 µg/m<sup>3</sup> et 13 µg/m<sup>3</sup>), ce qui signifie que la répartition des données est « équilibrée »<sup>3</sup>. 50 % des données horaires relevées sont comprises entre 8 et 19 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 19 µg/m<sup>3</sup>. La moyenne des concentrations en PM<sub>2.5</sub> à la Gare RER C de Kennedy correspondent à 40 % des concentrations relevées en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Elle est du même ordre de grandeur que celle relevées en gare de Magenta

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C de Kennedy pendant la campagne est de 37 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et de 15 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 Kennedy sont nettement inférieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame** (108 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et inférieurs à ceux de la station Magenta (53 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

**Les niveaux moyens en particules PM<sub>2.5</sub> en gare de Kennedy sont de même nettement inférieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame** (41 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période) et légèrement inférieurs à ceux de Magenta (19 µg/m<sup>3</sup>).

## 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.

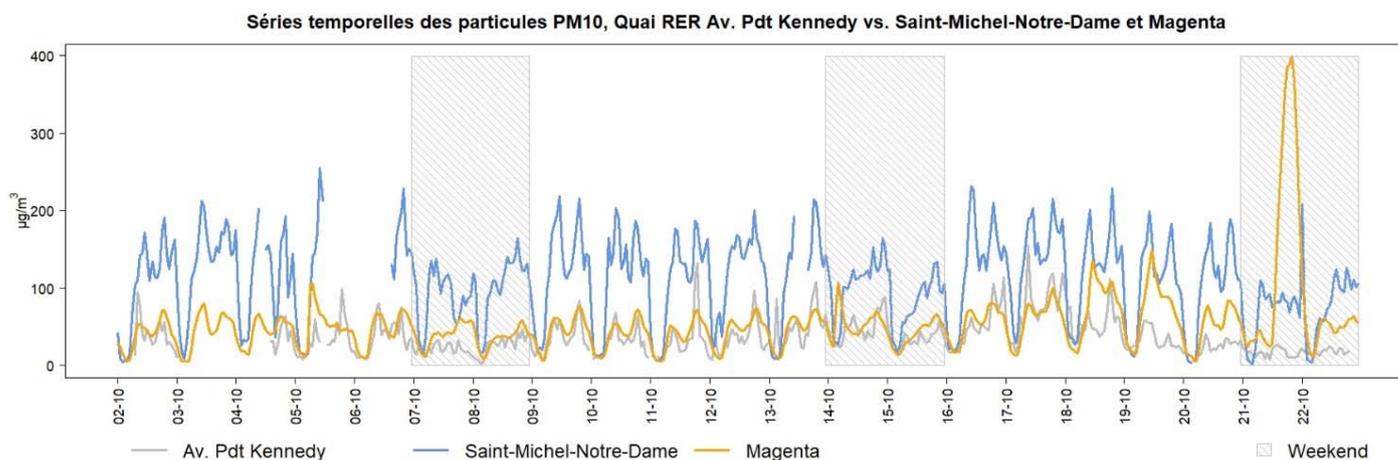


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Kennedy et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 02/10/2017 au 22/10/2017)

Les fluctuations à l'échelle horaire entre les concentrations de la journée et de la nuit en gare de Kennedy sont moins importantes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame et similaires à celles de Magenta. Les niveaux nocturnes sont homogènes sur les 3 gares.

La fluctuation horaire des niveaux observée s'explique par la fréquentation de la gare, aussi bien en termes de trains que de voyageurs : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et de la remise en suspension, non présentes la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à Kennedy, les teneurs atteignent 50 µg/m<sup>3</sup> en journée, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m<sup>3</sup>. 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 semaine du 16 octobre, les niveaux de particules sont plus élevés dans les 3 gares de manière générale, en cohérence avec les observations en air extérieur (cf. Figure 20).

Les maxima journaliers sont mesurés au même moment la plupart du temps, lors des heures de pointe dans les 3 gares, mais les niveaux absolus mesurés à Kennedy et Magenta sont nettement inférieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.

### 2.2.1.2. PARTICULES PM<sub>2,5</sub>

Les relevés horaires des PM<sub>2,5</sub> sont présentés en Figure 6.

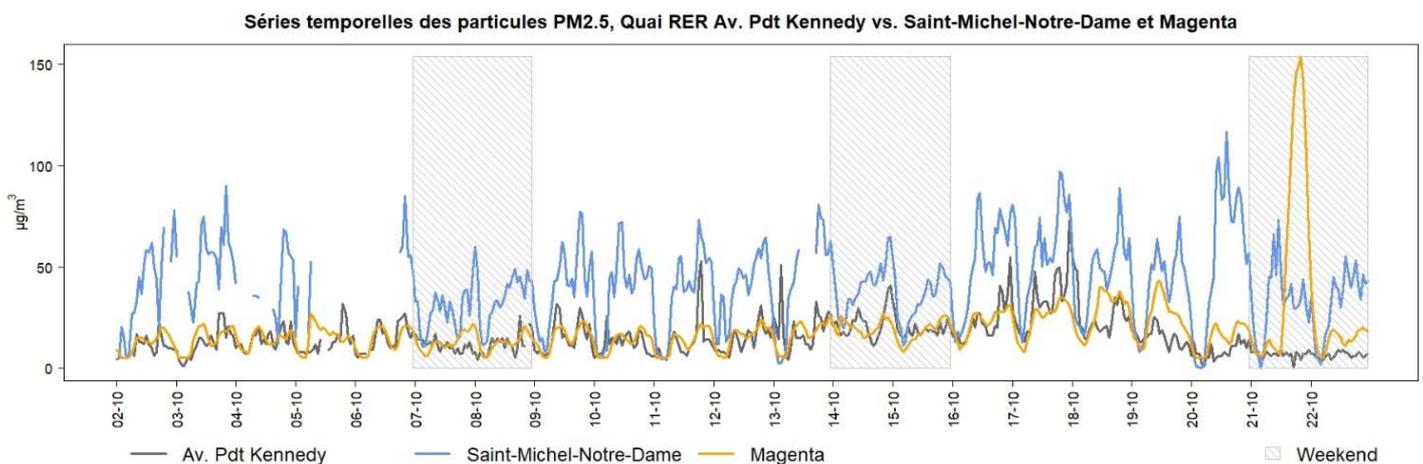


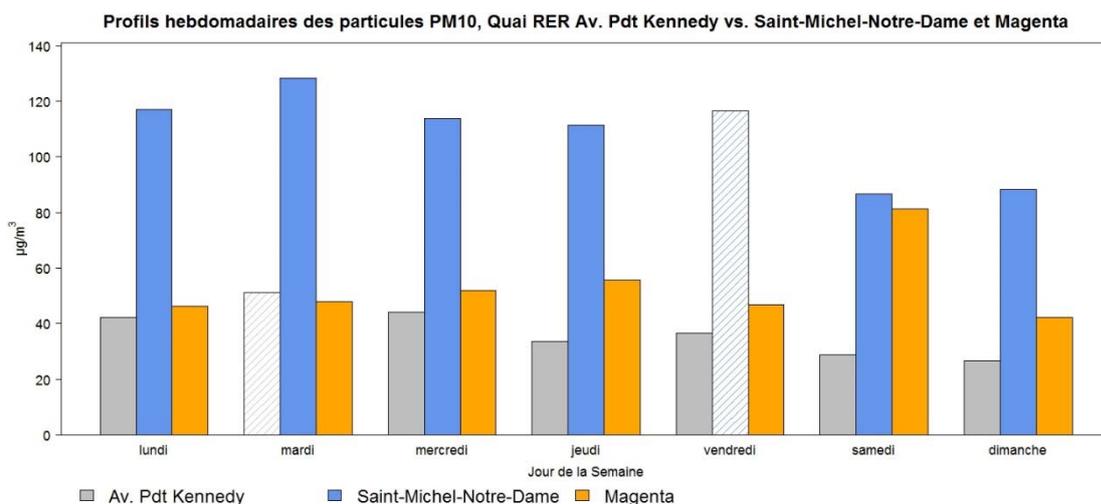
Figure 6 : Evolution des relevés horaires en PM<sub>2,5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Kennedy et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 02/10/2017 au 22/10/2017)

Les relevés horaires montrent, comme pour les PM<sub>10</sub>, de faibles fluctuations entre la journée et la nuit en gare de Kennedy, comparables à celles de Magenta et nettement plus faibles que celles de Saint-Michel-Notre-Dame. En journée en gare de Kennedy, les teneurs atteignent en moyenne 21 µg/m<sup>3</sup>, alors que la nuit, les niveaux sont de l'ordre de 12 µg/m<sup>3</sup>.

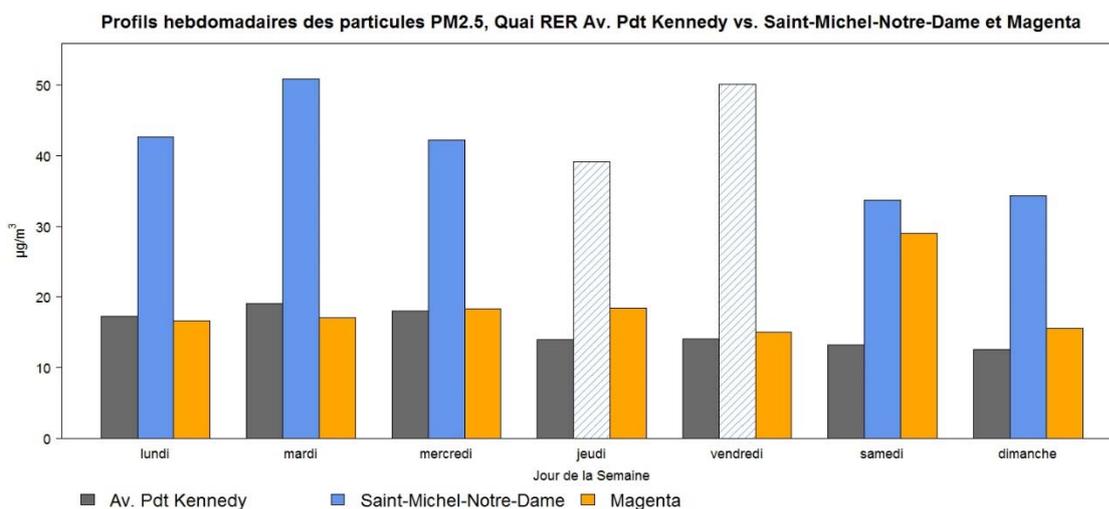
Les teneurs dans les 3 gares sont légèrement en hausse la dernière semaine de campagne (entre le 16 et le 19/10/2017), en cohérence avec les observations en air extérieur (cf. Figure 20).

### 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Kennedy 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 Kennedy 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 Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

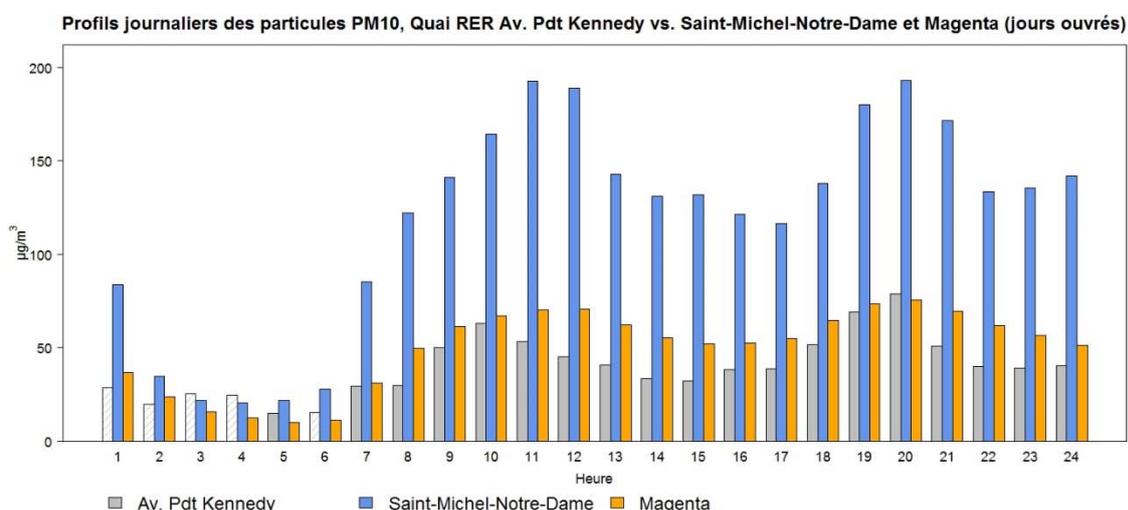
En gare de Kennedy, les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés (autour de 39 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une journée pour les PM<sub>10</sub>, 16 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>2.5</sub>).

Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 28% par rapport aux jours ouvrés pour les PM<sub>10</sub> et de 19% pour les PM<sub>2.5</sub>. Cette diminution des concentrations en particules le week-end est en grande partie due à la diminution du trafic et de la fréquentation.

La différence semaine/weekend est par ailleurs légèrement plus importante pour les PM<sub>10</sub> que pour les PM<sub>2.5</sub> en gare de Kennedy, en lien avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end, facteur ayant davantage 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** (hors jours fériés).



(a)

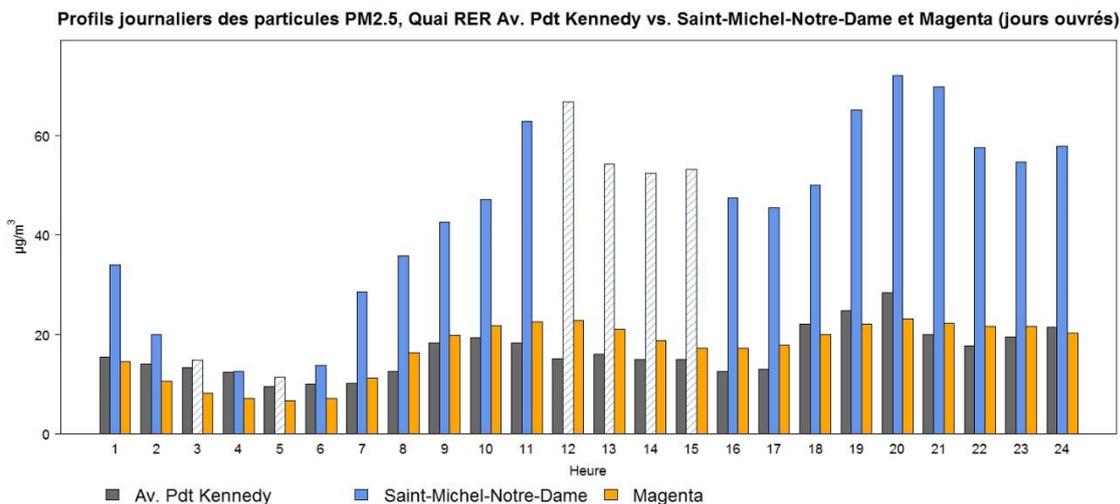


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2,5</sub> (b) à la gare RER C de Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

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 lors des heures de pointe pour les deux types de particules : le matin (8-11h) et le soir (17h-21h). Les niveaux sont en moyenne sur ces périodes de 60 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 21 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub> en gare de Kennedy. Les heures de pointe à la gare de Notre-Dame-Saint-Michel ont lieu entre 8 et 12h le matin et entre 18 et 21h le soir. Aux heures de pointe respectives des deux gares, la moyenne des concentrations horaires enregistrées en gare de Kennedy est 67% inférieure à celles d Saint-Michel-Notre-Dame, pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>.

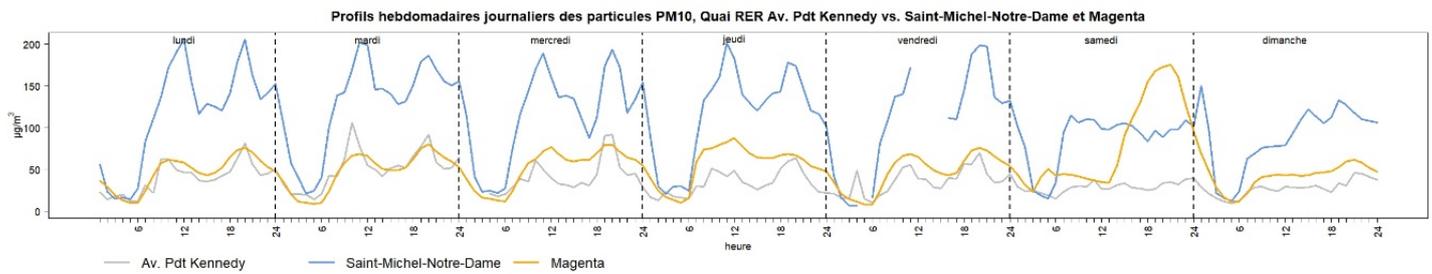
Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 15 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et environ 12 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2,5</sub>.

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 Kennedy, l'est également aux gares de référence.

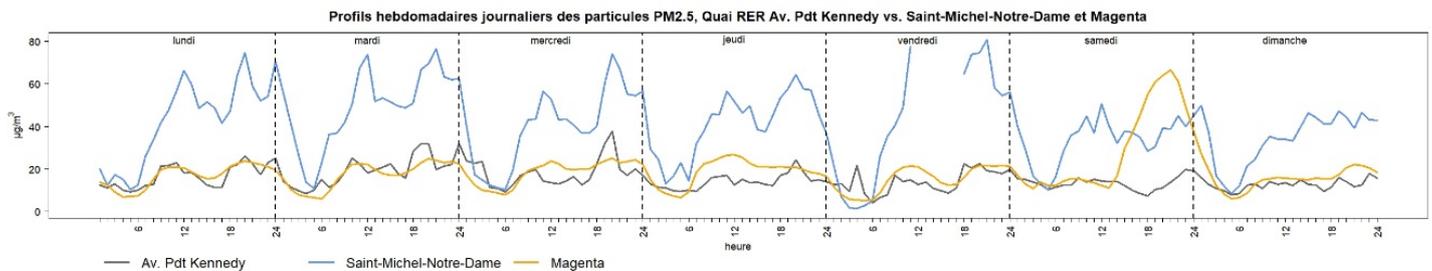
Le profil journalier en PM<sub>2,5</sub> présente des variations horaires moindres (écart type de 5 µg/m<sup>3</sup> sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM<sub>10</sub> (écart type de 14 µg/m<sup>3</sup>), différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent la fraction la plus grossière des particules. Cela peut également s'expliquer en partie par un temps de déposition différent entre les particules (temps plus court pour les plus grosses particules).

### 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<sub>10</sub> et les PM<sub>2,5</sub>, aussi bien en gare de Kennedy qu'aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Kennedy, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

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 les samedis et dimanches, avec atténuation des niveaux aux heures de pointe. Les jours ouvrés et les weekends, les niveaux mesurés à Kennedy sont beaucoup plus faibles qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les niveaux en gare de Kennedy sont similaires voire inférieurs à ceux de Magenta que ce soit en semaine ou le weekend, hormis lors des heures de fermeture de la gare.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) sont 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 stables entre les jours ouvrés de la semaine et des concentrations plus faibles les samedis et dimanches. Les teneurs moyennes sont 28% plus faibles le weekend pour les PM<sub>10</sub> et 19% plus faibles pour les PM<sub>2.5</sub>. Elles restent nettement inférieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame même le weekend.

**Sur une journée ouvrée moyenne**, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec 15 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 12 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 heures de pointe, entre 8 et 11h le matin, entre 17h et 21h le soir en gare de Kennedy. Les concentrations sur le quai atteignent alors des niveaux de 60 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et 21 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub>. Ce profil est également observé dans les gares de référence.

## 2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées de cinq types d'éléments : 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 Kennedy chaque jour ouvré pendant une semaine (du 5 au 9 juin). 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 onze métaux suivants ont été étudiés : Aluminium, 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 Kennedy et de Saint-Michel-Notre-Dame.

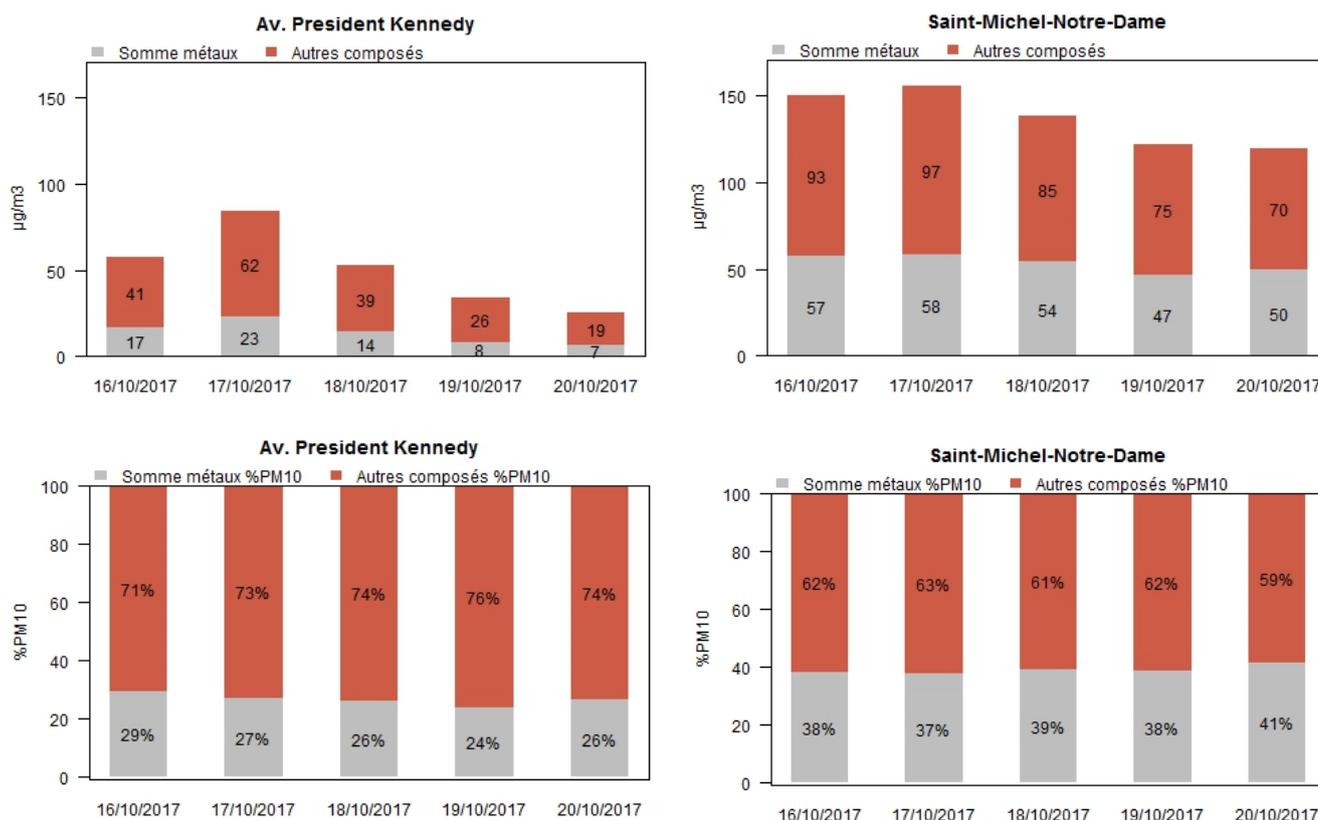


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement en concentration et en % de particules PM<sub>10</sub>, à la gare RER C de Kennedy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/06/2017 au 09/06/2017.

<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.

En gare de Kennedy, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 7 µg/m<sup>3</sup> (le 20/10/17) à 23 µg/m<sup>3</sup> (le 17/10/17). La part des métaux a varié de 24% (le 19/10/17) à 29% (le 16/10/17). Elle est donc globalement stable.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la concentration des métaux a varié entre 47 µg/m<sup>3</sup> (le 19/10/17) et 58 µg/m<sup>3</sup> (le 17/10/17). La part de métaux a varié de 37% (le 17/10/17) à 41% (le 20/10/17).

La part des métaux dans les particules est donc plus faible en gare de Kennedy qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sans doute en raison de l'influence plus importante de l'air extérieur dans cette gare mixte, dont les quais sont en partie à l'air libre.

### 2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 16 et le 20/10/2017, aussi bien en gare de Kennedy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

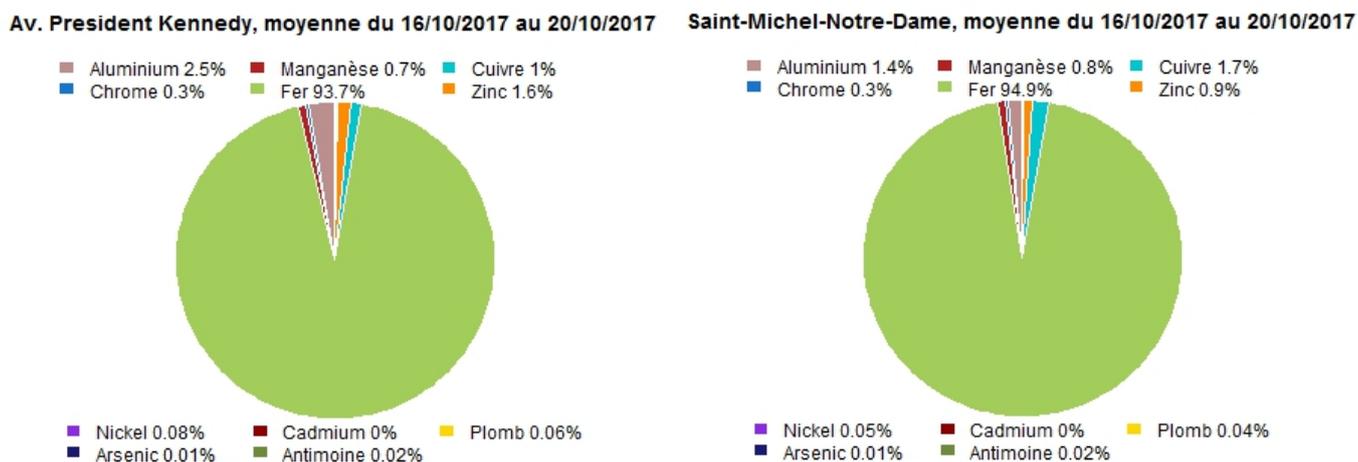


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 16/10 au 20/10/2017, en gare de Kennedy et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

La contribution moyenne de chaque métal est proche à Kennedy et Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour l'**Aluminium** (1,4% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 2,5% à Kennedy), le **Cuivre** (1,7% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 1% à Kennedy) et le **Zinc** (0,9% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 1,6% à Kennedy).

Parmi les onze métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 94 % des métaux mesurés à Kennedy et 95% à Saint-Michel-Notre-Dame. Ce résultat est similaire aux mesures des précédentes campagnes.

En dehors du fer, les métaux dont les concentrations sont les plus élevées en gare de Kennedy sont l'**Aluminium**, le **Cuivre** et le **Zinc**, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 2,5% pour l'**Aluminium** (1,4% à Saint-Michel-Notre-Dame), 1% pour le **Cuivre** (1,7% à Saint-Michel-Notre-Dame), 1,6 % pour le **Zinc** (0,9% à Saint-Michel-Notre-Dame).

Le **Manganèse** représente 0,7% des prélèvements en métaux en gare de Kennedy (0,8% à Saint-Michel-Notre-Dame), le **Chrome** 0,3% (idem à Saint-Michel-Notre-Dame).

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

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Aluminium, Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Kennedy et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Cadmium, l'Antimoine et le Plomb.

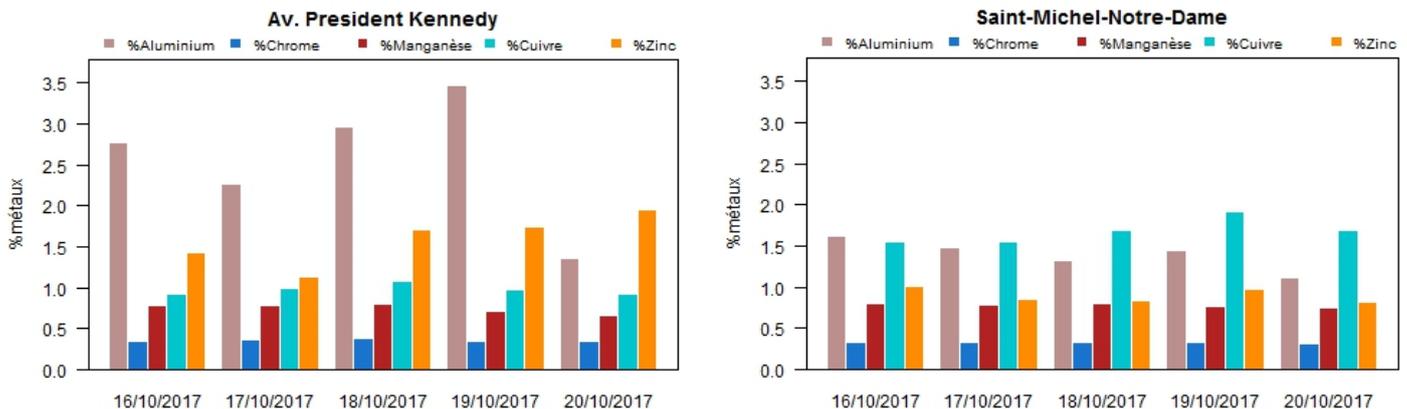


Figure 12 – Part journalière d'Aluminium, Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Kennedy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 16/10/2017 au 20/10/2017.

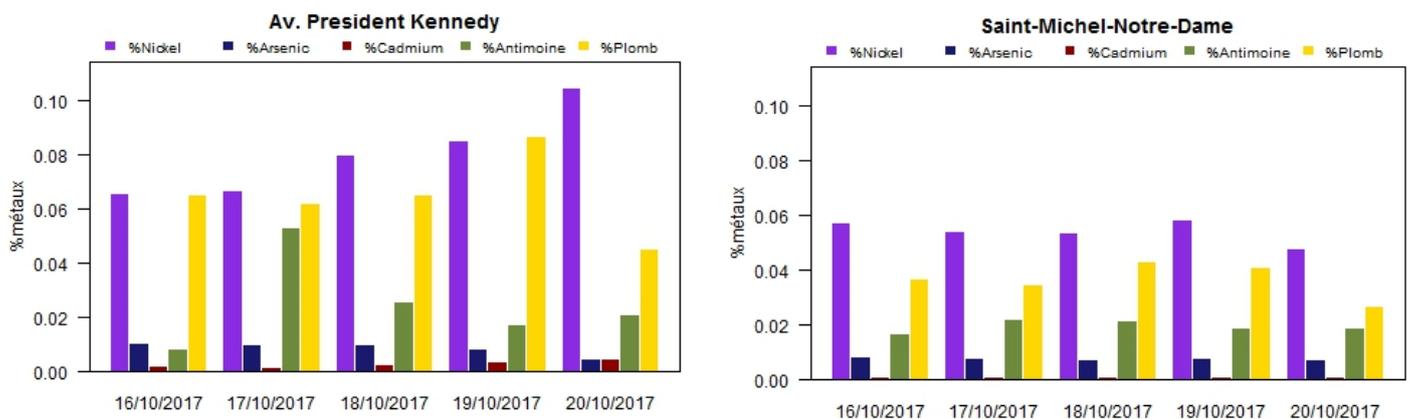


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Kennedy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 16/10/2017 au 20/10/2017.

**La part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, mais l'est moins en gare de Kennedy pour certains des métaux mesurés.**

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, en quantité négligeable, 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 mesurés 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 (non mesuré), le Nickel et le Chrome. Ainsi les observations sur le réseau francilien sont cohérentes avec les résultats dans des environnements similaires.

Les différences observées entre les deux gares en termes de concentrations peuvent s'expliquer surtout par des configurations de gare différentes : les quais de la gare de Kennedy sont à moitié à l'air libre et donc plus influencée par l'air extérieur, qui ne contient que très peu de métaux en temps normal.

### 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 Kennedy et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame.

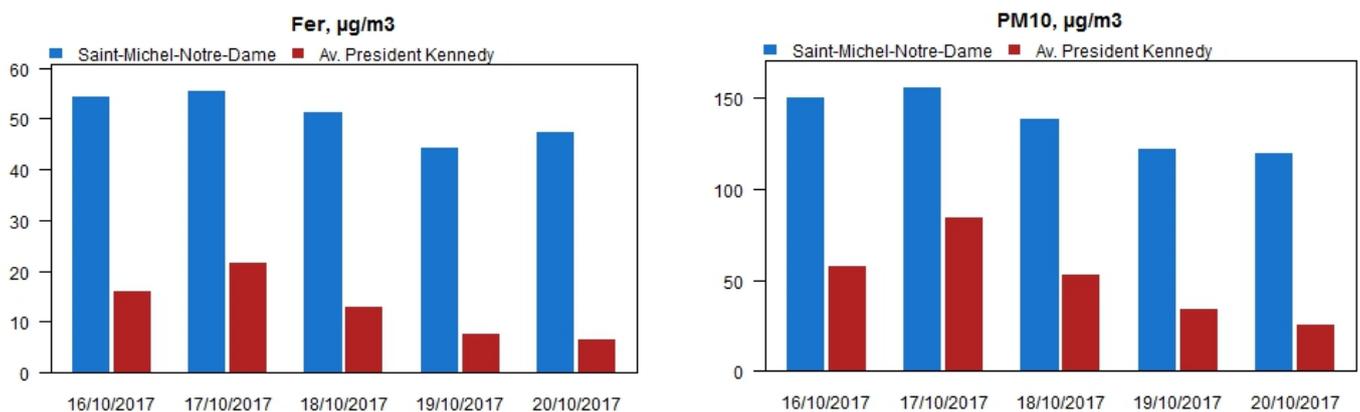


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM<sub>10</sub> à la gare RER C de Kennedy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 16/10/2017 au 20/10/2017.

Les teneurs en **Fer** sont plus faibles à Kennedy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, en lien direct avec les niveaux plus faibles de particules PM<sub>10</sub> : les moyennes journalières ont varié entre 6 µg/m<sup>3</sup> (20/10/2017) et 21 µg/m<sup>3</sup> (17/10/2017) en gare de Kennedy (moyenne 13 µg/m<sup>3</sup>) et entre 44 et 55 µg/m<sup>3</sup> à Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne 50 µg/m<sup>3</sup>).

Le lien entre les niveaux de particules et de métaux est visible sur les graphiques, où les particules et la concentration en Fer évoluent de la même façon lors de la semaine de mesure. Le coefficient de corrélation entre la concentration de Fer et la concentration de PM<sub>10</sub> est de 0,96 pour Saint-Michel-Notre-Dame et de 0,99 pour Kennedy.

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 de l'**Aluminium**, du **Manganèse**, du **Cuivre** et du **Zinc** pour la gare de Kennedy. Ces composés sont respectivement 2 fois, 4 fois, 7 fois et 2 fois plus faibles qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières d'**Aluminium** ont varié entre 89 et 514 ng/m<sup>3</sup>.

Celles de **Manganèse** ont varié entre 43 et 176 ng/m<sup>3</sup>.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 60 à 222 ng/m<sup>3</sup>.

Les teneurs journalières en **Zinc** à Kennedy ont varié de 129 à 252 ng/m<sup>3</sup>.

Les six autres métaux ont varié comme suit :

- Entre 23 et 78 ng/m<sup>3</sup> pour le **Chrome** ;
- Entre 7 et 15 ng/m<sup>3</sup> pour le **Nickel** ;
- Entre 0,3 et 2,2 ng/m<sup>3</sup> pour l'**Arsenic** ;
- Pour le **Cadmium**, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m<sup>3</sup> (inférieurs à la limite de quantification) ;
- Entre 1 et 12 ng/m<sup>3</sup> pour l'**Antimoine** ;
- Entre 3 et 14 ng/m<sup>3</sup> pour le **Plomb**.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM<sub>10</sub> en gare de Kennedy varie de 24 à 29% sur la semaine de mesure. A Saint-Michel-Notre-Dame, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est supérieure, variant entre 30% et 36%. L'air en gare de Kennedy est en effet plus influencé par l'air extérieur moins riche en métaux, les quais de la gare étant à moitié à l'air libre.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 94% des métaux mesurés, aussi bien à Kennedy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (95%). Viennent ensuite l'**Aluminium** (2,5%), le **Zinc** (1,6%), le **Cuivre** (1%), le **Manganèse** (0,7%) et le **Chrome** (0,3%). Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, et Plomb et Antimoine sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués.

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf pour l'Aluminium, le Zinc et le Cuivre (1,4%, 0,9% et 1,7% à Saint-Michel-Notre-Dame). Les teneurs de métaux à Kennedy sont aussi plus faibles, liées essentiellement aux niveaux de PM<sub>10</sub> plus faibles.

## 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.

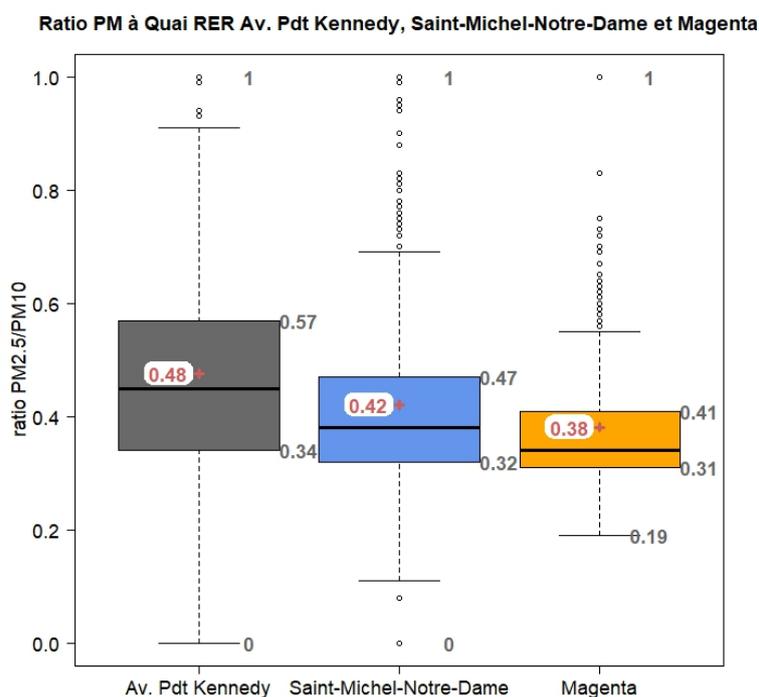


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en  $PM_{2,5}/PM_{10}$ , à la Gare RER C de Kennedy et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

En moyenne, en gare de Kennedy, le ratio  $PM_{2,5}/PM_{10}$  est de 0,48. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,42 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. La moyenne du ratio à Kennedy, plus élevée par rapport aux gares de référence, s'explique par la configuration très aérée des quais.

### 2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de  $PM_{2,5}/PM_{10}$  sont présentées à la Figure 16.

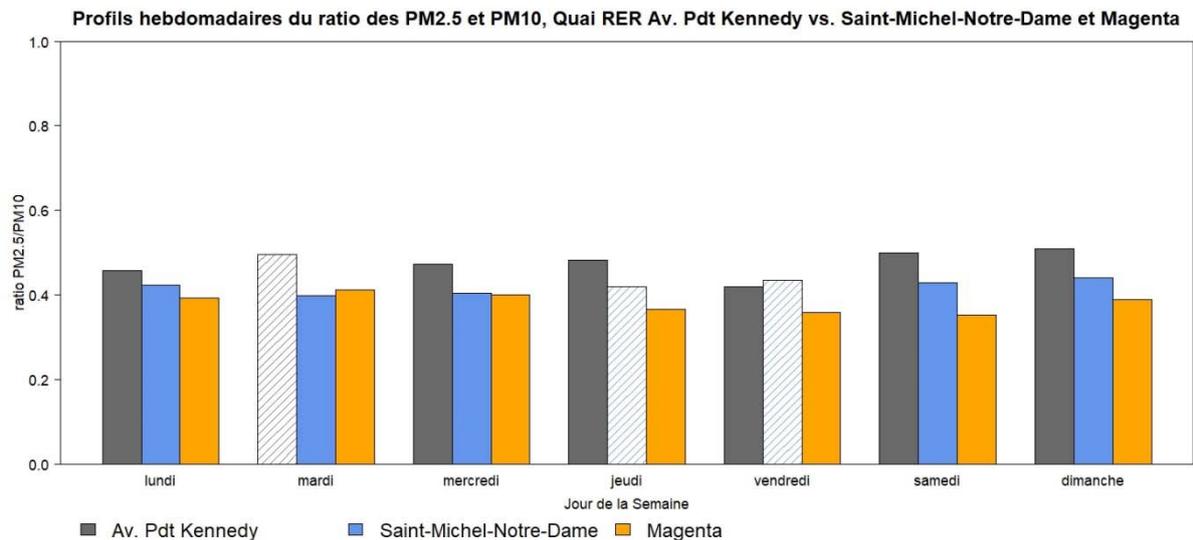


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Kennedy et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 02/10/2017 au 22/10/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les fluctuations du ratio journalier moyen sont très faibles tout le long de la semaine, oscillant entre 0,42 et 0,51 à Kennedy. Cela s'explique par des sources stables de  $PM_{2.5}$  et  $PM_{10}$  tout le long de la semaine. Le ratio est plus élevé le weekend de 9% par rapport aux jours ouvrés de semaine, de par les activités moins importantes de la gare (moins de remise en suspension due à la fréquentation notamment) : l'influence de l'air extérieur est alors plus importante qu'en semaine.

### 2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17.

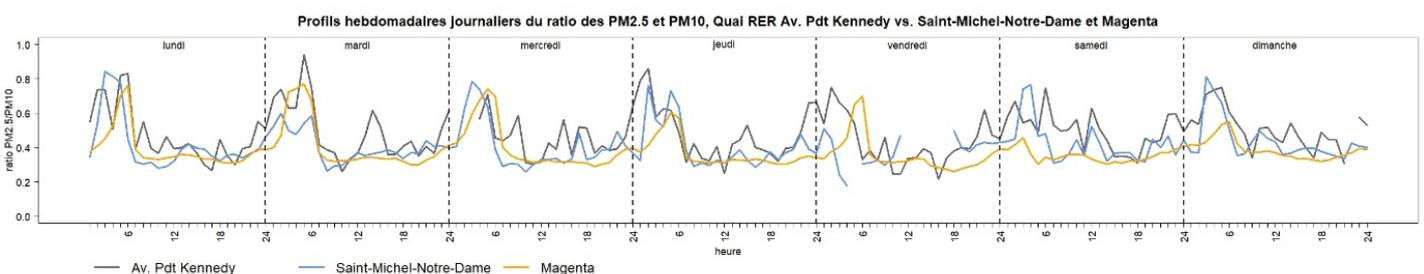


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Kennedy et aux stations de référence, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

Les profils de Kennedy et Saint-Michel-Notre-Dame sont proches mais le ratio à Kennedy est en moyenne 20% plus élevé qu'à Saint-Michel-Notre-Dame lors des heures de fermeture (25% supérieur à celui de Magenta) et 9% plus élevé lors des heures d'ouverture de la gare (16% supérieur à celui de Magenta).

En termes de variation, les profils sont proches les uns des autres : les ratios sont stables en journée, augmentent lors des heures creuses et augmentent la nuit lorsque l'activité de la gare est plus faible ou 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 des  $PM_{2.5}$ . Un pic quotidien des ratios est observé en début d'ouverture de la gare.

L'étude des profils moyens journaliers est présentée à la Figure 18.

Profils journaliers du ratio des PM2.5 et PM10, Quai RER Av. Pdt Kennedy vs. Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta (jours ouvrés)

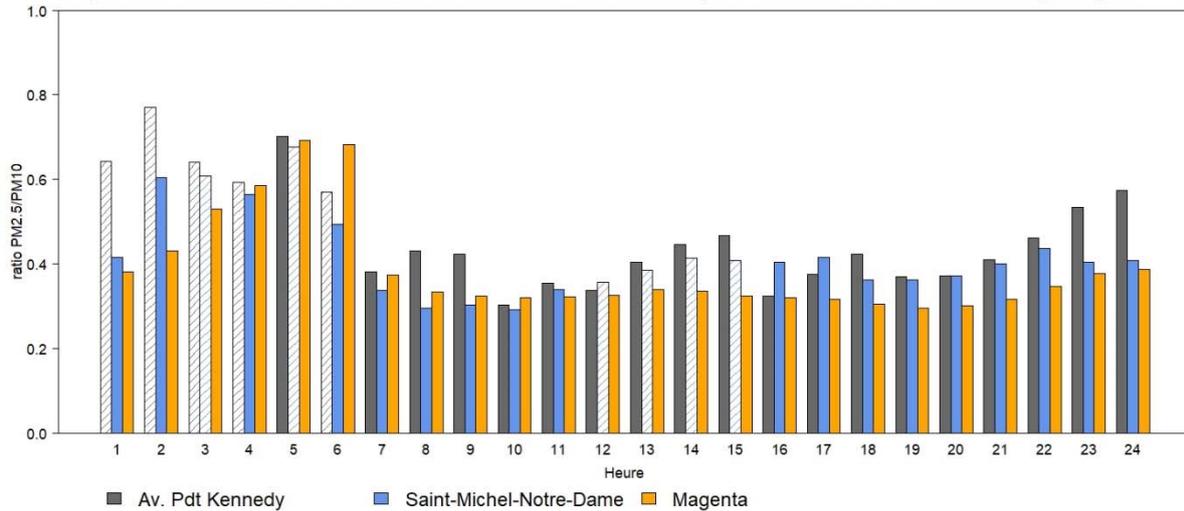


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Kennedy et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 02/10/2017 au 22/10/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Une certaine stabilité des ratios, autour de 0,39, est observée en journée (de 6h à 22h), aussi bien en gare de Kennedy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. Les heures creuses ont un effet plus important sur le ratio en gare d'Avenue du Président Kennedy que dans les deux gares de référence, notamment entre 12 et 15h et après 22h : le ratio a tendance à augmenter. La nuit (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public et au début de l'ouverture de la gare), les ratios augmentent jusqu'à 0,7 en moyenne sur les trois gares. Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules  $PM_{10}$  et les  $PM_{2,5}$ , peut également expliquer en partie cette différence entre le niveau du ratio nocturne et le ratio diurne.

**Les particules  $PM_{10}$  mesurées en gare de Kennedy sont constituées pour moitié environ de particules  $PM_{2,5}$  (ratio de 0,48).** Le ratio  $PM_{2,5}/PM_{10}$  atteint 0,42 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta.

Le ratio  $PM_{2,5}/PM_{10}$  est relativement stable à l'échelle hebdomadaire à Kennedy et aux deux autres gares, avec une légère augmentation le weekend, en lien avec la baisse de fréquentation.

**A l'échelle horaire,** des fluctuations importantes existent entre le jour et la nuit sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,39 en journée, qui augmente la nuit et lors des heures creuses particulièrement en gare de Kennedy, jusqu'à 0,7, lorsque les concentrations en  $PM_{10}$  diminuent fortement pour se rapprocher de celles des  $PM_{2,5}$  et lorsque l'air extérieur est la seule influence pour les particules de la gare de Kennedy.

### 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 du mois d'octobre, 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 majorité de la campagne de mesure (16 jours, soit 76% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 5 jours (24% du temps).

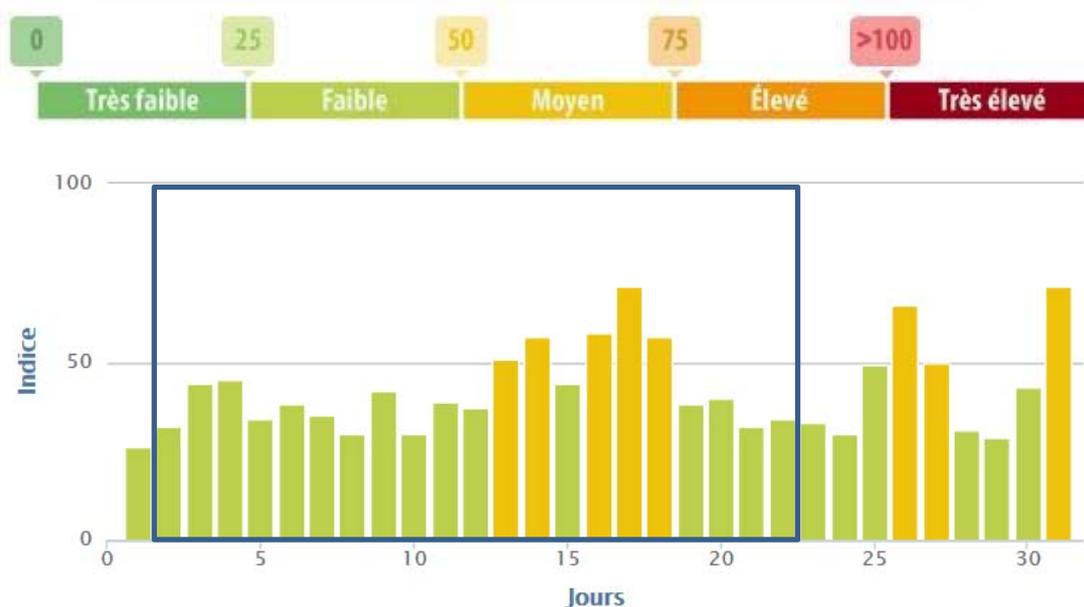


Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour le mois d'octobre 2017.

<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 Kennedy avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée Figure 20, pour les particules  $PM_{10}$  et les particules fines  $PM_{2,5}$ .

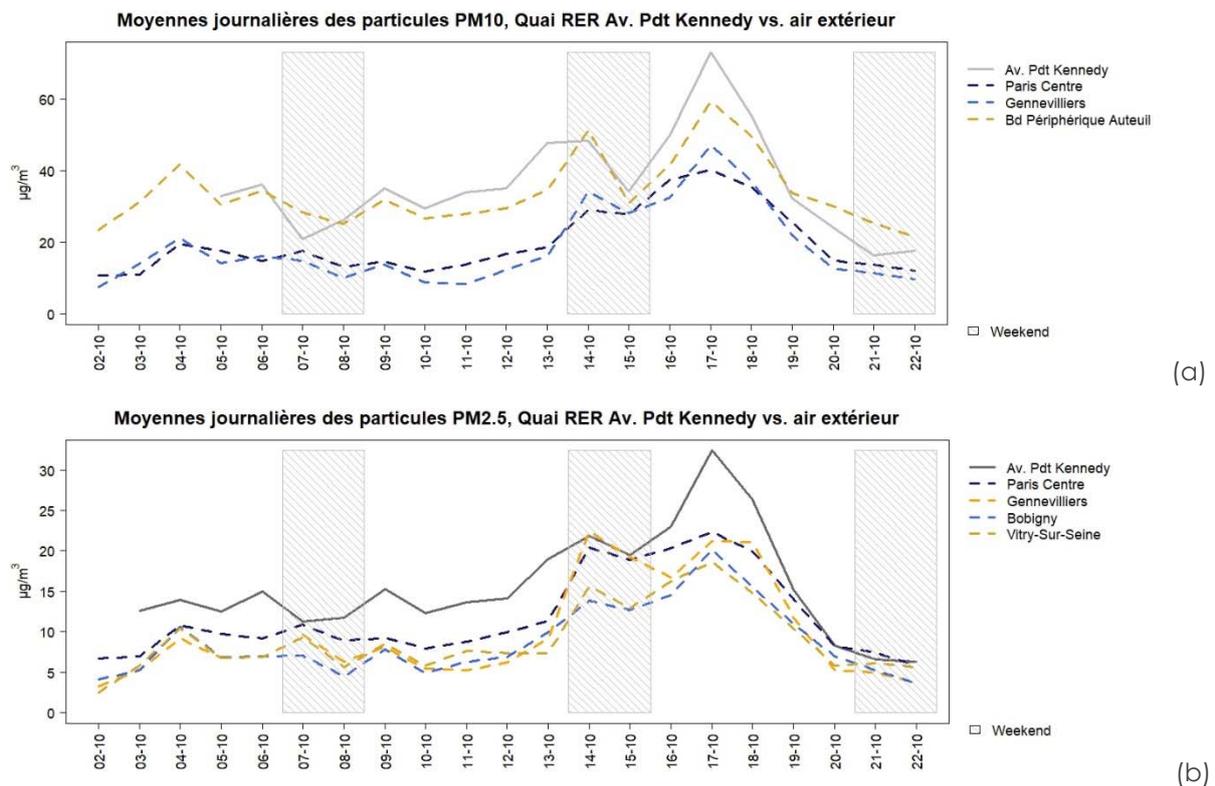


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en  $PM_{10}$  (a) et en  $PM_{2,5}$  (b) en gare de Kennedy et en air extérieur (situation de fond et proximité au trafic routier), période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Kennedy sont fortement corrélées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif, ce qui est dû à la configuration même de la gare dont les quais sont très ouverts sur l'extérieur. Les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires de Kennedy et des stations extérieures vont de 0,5 à 0,64 pour les  $PM_{10}$ , de 0,62 à 0,65 pour les  $PM_{2,5}$ . La plus forte corrélation est obtenue avec la station du Boulevard Périphérique Auteuil en proximité au trafic routier et plus proche géographiquement de la gare d'Avenue du Président Kennedy, avec un coefficient de corrélation de 0,64 pour les  $PM_{10}$  comme pour les  $PM_{2,5}$ .

## 3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en  $CO_2$ , qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources de  $CO_2$  (combustion, respiration humaine, source extérieure). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les résultats sur ces données sont présentés à la Figure 21.

Séries temporelles de la température, de l'humidité et du CO<sub>2</sub>, Quai RER Av. Pdt Kennedy

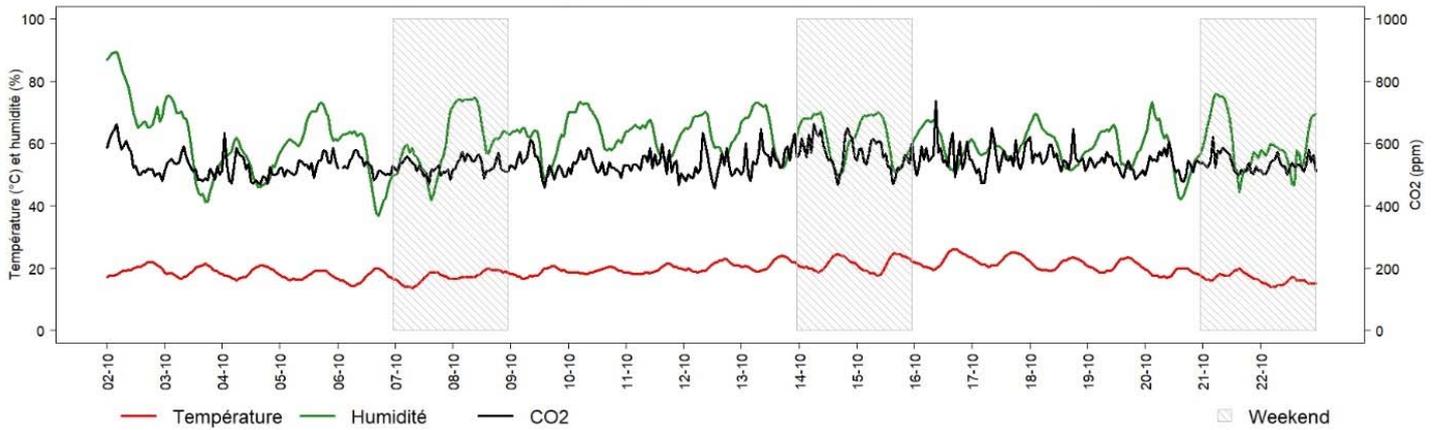


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

La température moyenne en gare de Kennedy est de 19°C, les relevés horaires ayant varié entre 14 et 26°C (similaire à Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare de Kennedy est de 61%, les relevés horaires ayant varié fortement de 37% à 89%. Ces relevés sont plus élevés que ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, qui est moins exposée à l'air extérieur.

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 539 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 458 ppm et 737 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>.

Le profil journalier des niveaux de CO<sub>2</sub> (jours ouvrés) en gare de Kennedy, comparé à celui des PM<sub>10</sub>, est présenté Figure 22.

Profils journaliers des particules PM<sub>10</sub> et du CO<sub>2</sub>, Quai RER Av. Pdt Kennedy (jours ouvrés)

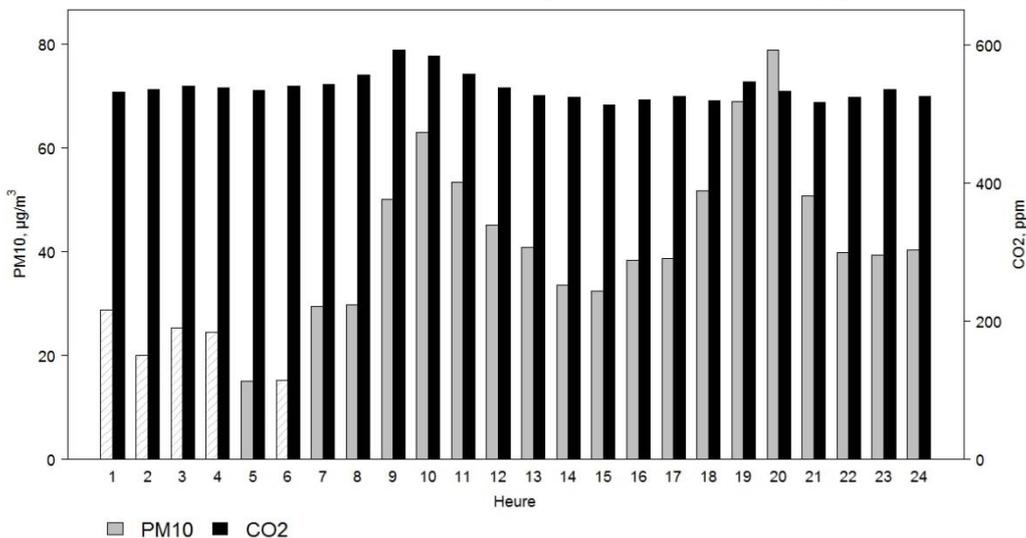


Figure 22 – Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> à la gare RER C de Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les variations des concentrations de CO<sub>2</sub> sont en moyenne faibles dans la gare de Kennedy. 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 pour le CO<sub>2</sub>, avec un décalage d'une heure le

<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.

matin et le soir. La corrélation entre les teneurs en CO<sub>2</sub> et les PM<sub>10</sub> est plus faible à Kennedy (0,33) qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (0,65), le confinement de la gare étant plus important en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

### 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 Kennedy 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.

Il existe une différence du nombre de voyageurs entre les gares, mais cette variable n'explique peut-être pas à elle-seule les niveaux observés en gare (notamment en comparant Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta) : la gare d'Avenue du Président Kennedy est la moins fréquentée (3 325 voyageurs par jour montant, source interne SNCF : carte des montants 2016) et les concentrations en particules y sont les plus faibles. Par contre, la gare de Magenta est la plus fréquentée (78 212 contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame), mais les teneurs en particules y sont moindres qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Le nombre de trains théorique circulant en gare de Kennedy (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 Kennedy.

En moyenne, les jours ouvrés, 169 trains circulent en gare de Kennedy (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 143 trains qui ont circulé (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 141 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 23.

Le nombre de trains en circulation est ainsi moins élevé en gare de Kennedy, trois fois inférieur environ à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta.

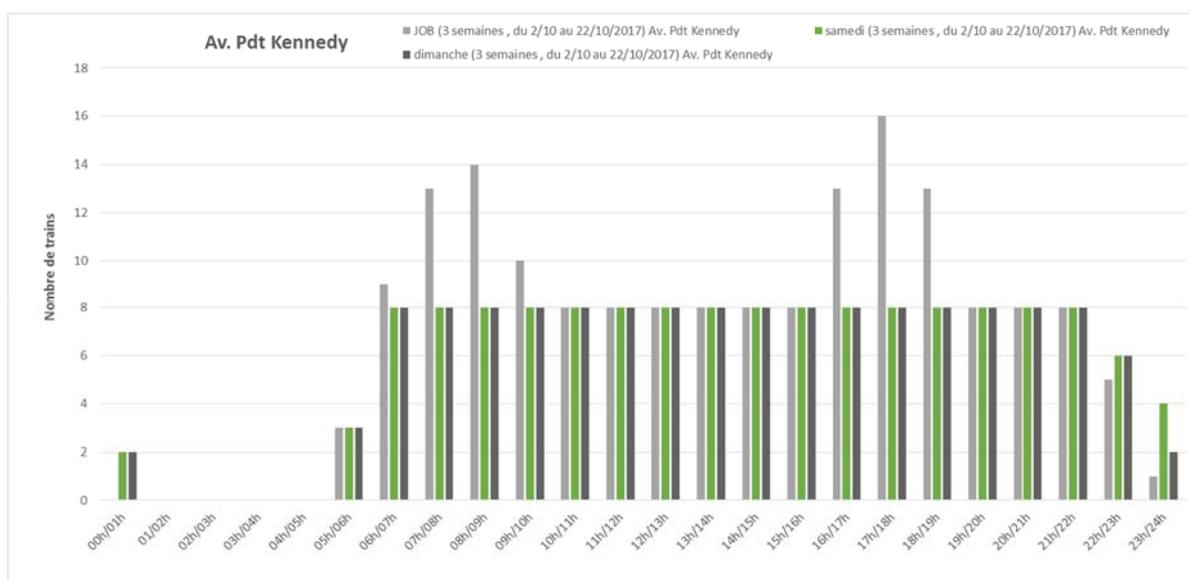


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

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 Kennedy. Le profil des teneurs en particules PM<sub>10</sub> est clairement corrélé au nombre de trains en circulation, avec un décalage d'une heure. En comparaison avec les gares de référence, c'est en gare d'Avenue du Président que le nombre de trains est le moins élevé, comme les concentrations en particules observés. A l'inverse, la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, la plus fréquentée en termes de trains, présente les teneurs en particules les plus élevées.

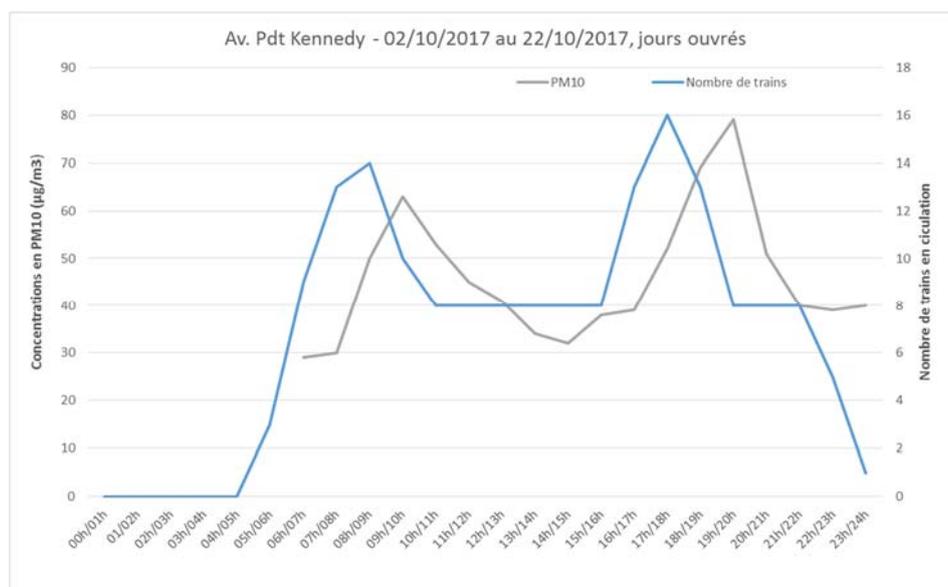


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM<sub>10</sub> observées les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

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.

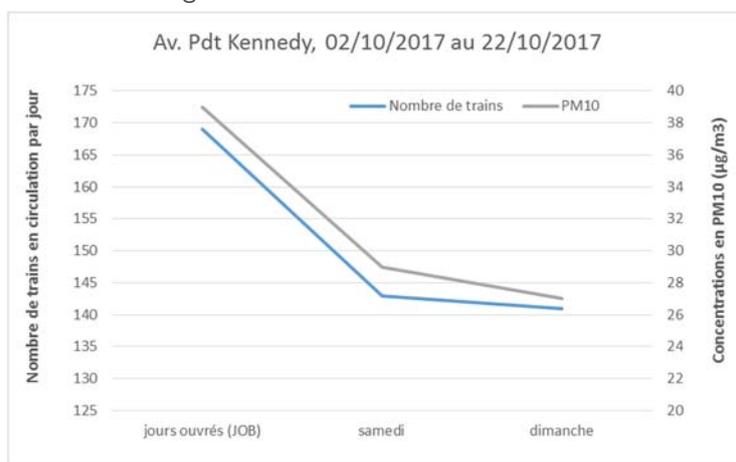


Figure 25 – Croisement entre les teneurs en particules PM<sub>10</sub> observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Kennedy, période du 02/10/2017 au 22/10/2017.

En gare de Kennedy, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit par une baisse des teneurs en particules : baisse de 16% du nombre de trains et diminution de 28% des niveaux de PM<sub>10</sub>.

Les résultats plus faibles sur les gares de Kennedy et de façon moindre à Magenta par rapport à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame semblent dus à plusieurs caractéristiques. La fréquentation de la gare, ainsi que le nombre de trains en circulation, influencent les niveaux de particules observés en gare. Toutefois, les différences de teneurs entre les gares, comme par exemple entre Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, s'expliquent par d'autres paramètres comme la ventilation en place (concentrations moindres dans les gares les plus ventilées comme à

Magenta - ventilation mécanique - ou avec des quais en extérieur comme à Avenue du Président Kennedy), le volume de la gare (concentrations moindres dans les gares de grand volume comme à Magenta), ou encore l'âge des gares (concentrations moindres dans les gares plus récentes comme à Magenta).

L'influence de paramètres techniques de la gare de Kennedy 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 moins corrélés aux niveaux de particules PM<sub>10</sub> en gare de Kennedy qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, et les variations des niveaux de CO<sub>2</sub> sont modérées, ceci dû à l'ouverture du quai sur l'extérieur.
- Les teneurs en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> mesurées sur le quai de Kennedy sont corrélées à celles mesurées en air extérieur par les stations Airparif. L'ouverture des quais sur l'extérieur fait que les variations des niveaux ambiants se retrouvent dans la gare.

## 4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Kennedy, 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 Kennedy au cours des mois de mai/juin 2017 étaient en moyenne de 37 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 154 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le matin entre 9 et 10h).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteignent 15 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 73 µg/m<sup>3</sup> (maximum atteint la nuit entre 23h et minuit).

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> à la gare de Kennedy sont en moyenne 3 fois inférieures à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée). Elles sont par ailleurs comparable en dynamique et inférieures en moyenne à celles mesurées en gare de Magenta.

Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> en gare de Kennedy sont de même près de 3 fois inférieures à celles enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame, et inférieures à celles en gare 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 94 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion l'Aluminium (2,5%), le Zinc (1,6%), le Cuivre (1%), le Manganèse (0,7%) et le Chrome (0,3%). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour l'Aluminium (1,4%), le Zinc (0,9%) et le Cuivre (1,7%).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation d'une part, et les concentrations en particules dans l'air extérieur d'autre part dans une gare comme Avenue du Président Kennedy. Les différences de niveaux entre gares s'expliquent aussi par le système de ventilation, le volume de la gare et sa configuration, et les activités environnantes. En effet, le système de ventilation en place en gare de Magenta et la structure naturellement aérée de la gare d'Avenue du Président Kennedy sont des paramètres favorisant l'évacuation de la pollution aux particules. L'influence de l'air extérieur y est aussi plus marquée.

Ce rapport concerne les résultats de la dixième campagne de mesure Gare. 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 dans les microenvironnements fréquentés.

## ANNEXE 1 :

### ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE KENNEDY

#### Configuration de la gare :

Pas de portes palières, 2 voies, 2 quais, pas de correspondance.

Ventilation : Naturelle

#### Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 3325 (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, ont permis 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), Chrome (Cr) et Aluminium (Al) depuis le 11/09/2017 (campagne Porte de Clichy).

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)



### 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 satisfaisantes.

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 XP CEN/TS 16450 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatile 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.

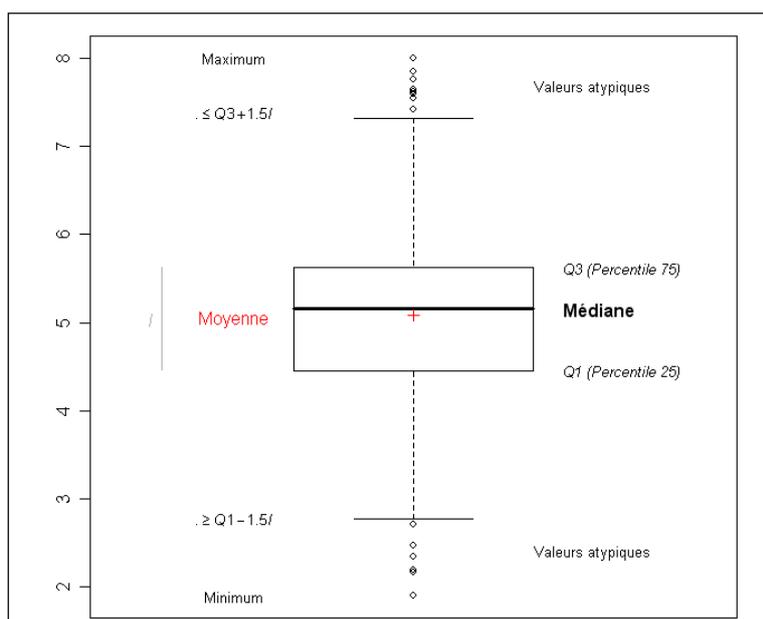
<sup>8</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

## 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).

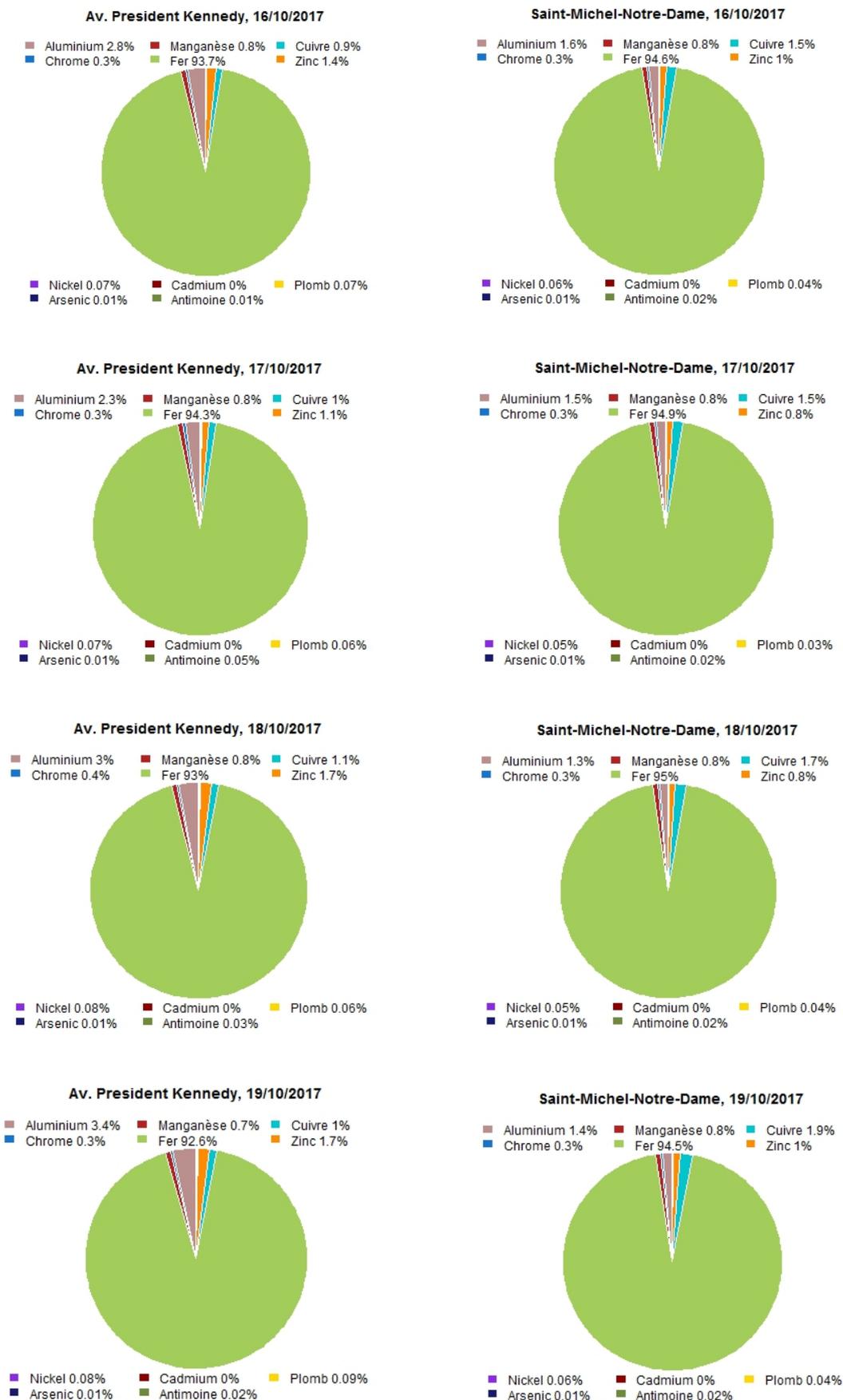


La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près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

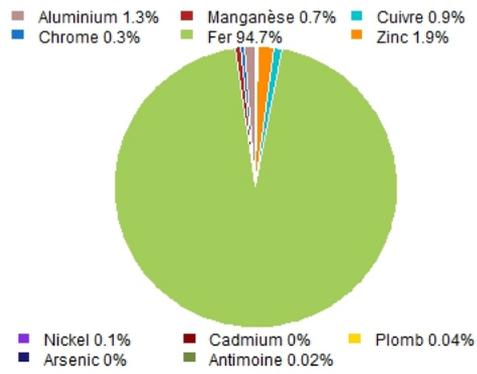
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

## ANNEXE 4 :

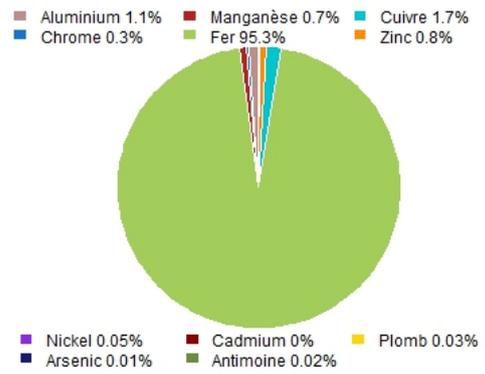
### REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



Av. President Kennedy, 20/10/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, 20/10/2017



## ANNEXE 5 :

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

## RER C DE KENNEDY ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 16/10/2017 AU 20/10/2017.

