

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

Juin-Juillet 2018

Juin 2019







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 CHAMP DE MARS – JUIN/JUILLET 2018

**Juin 2019**

« 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 **18/06/2018 au 08/07/2018** en gare de **Champ de Mars (RER C**, quai A en direction de Versailles Château Rive Gauche, Saint-Quentin-en-Yvelines, Montigny Beauchamp, Pontoise). 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 concentrations en particules fines PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare de Champ de Mars au cours des mois de juin/juillet 2018 (hors jours de grève) étaient en moyenne de 74 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 198 µg/m<sup>3</sup> (enregistré un lundi matin à 10h).

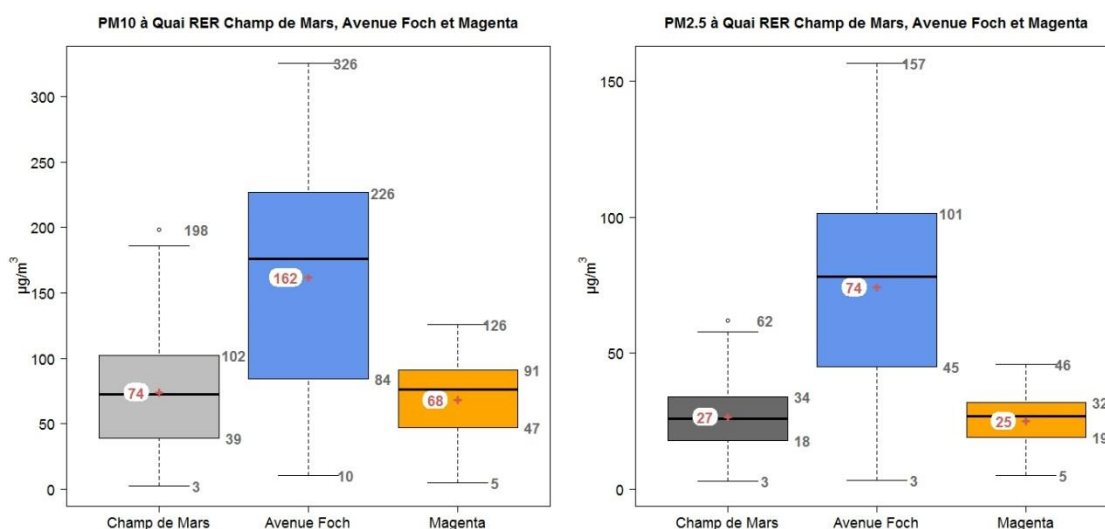
Les niveaux moyens en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteignent 27 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 62 µg/m<sup>3</sup>.



## Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Avenue Foch et à Magenta ?

Les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> sont 2 fois inférieurs à ceux de la station d'Avenue Foch (162 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période), et supérieurs de 8% à ceux de la station Magenta (68 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

De même, les niveaux moyens en PM<sub>2,5</sub> à la gare de Champ de Mars (27 µg/m<sup>3</sup>) sont près de 3 fois inférieurs à ceux enregistrés à la station Avenue Foch (74 µg/m<sup>3</sup>), et très proches de ceux de la station Magenta (25 µg/m<sup>3</sup>). Ce résultat s'explique par le système de ventilation mécanique en place en gare de Magenta et par la structure semi-ouverte de la gare de Champ de Mars, paramètres favorisant l'évacuation de la pollution aux particules dans ces deux gares.

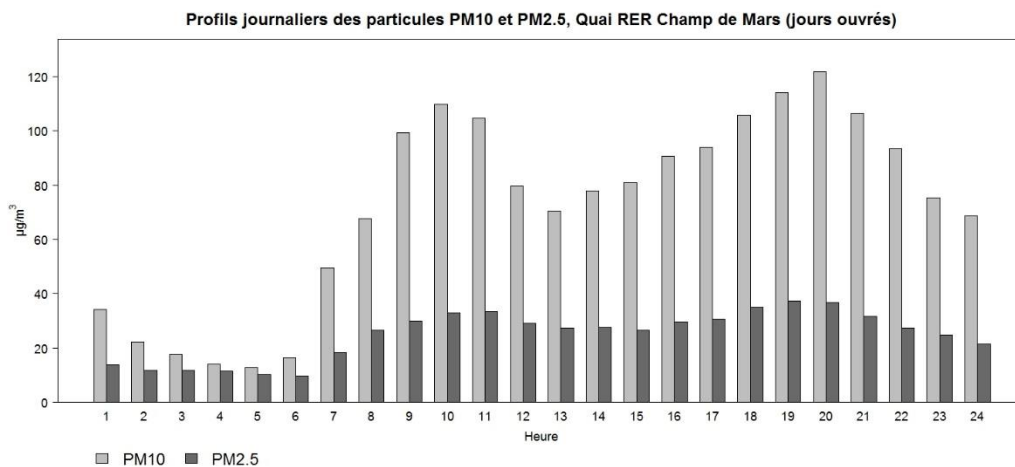
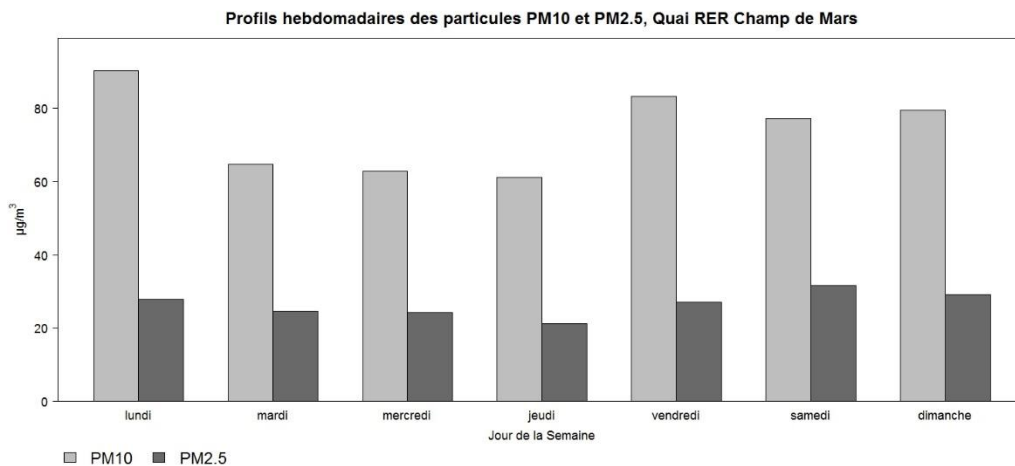


## Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

Les niveaux de particules PM<sub>10</sub> à la gare de Champ de Mars sont très inférieurs à ceux de la gare Avenue Foch, sur toute la période de mesure, et restent proches mais supérieurs la plupart du temps, en particulier lors des heures de pointe, à ceux de Magenta. Les trois stations observent globalement les mêmes évolutions temporelles. Un impact des jours de grève sur les concentrations est

également observé, mais différent selon la gare : selon le nombre de trains en circulation ces jours-là, les niveaux sont très faibles ou comparables aux niveaux habituels.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs similaires voire légèrement plus élevées les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM<sub>10</sub> (+10%) et les PM<sub>2,5</sub> (+20%). Ceci est dû, d'une part, à une certaine homogénéité des concentrations relativement faibles sur la semaine, et, d'autre part, à l'influence des niveaux extérieurs sur les niveaux des quais semi-ouverts : lors des weekends de la campagne de mesure, les niveaux de particules en air ambiant étaient plus élevés que les jours ouvrés.



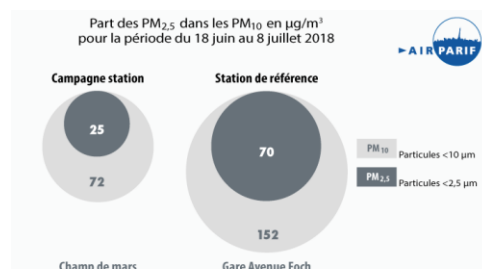
Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Champ de Mars, les niveaux nocturnes (entre 1h et 6h) sont les plus faibles, avec en moyenne 16 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 11 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2,5</sub>. Les concentrations sont maximales vers 8-11h le matin et 18-21h en soirée. Les concentrations sont alors de 109 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur une heure en PM<sub>10</sub> et 34 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 d'Avenue Foch. Les niveaux de PM<sub>10</sub> et de PM<sub>2,5</sub> aux heures de pointe sont en moyenne respectivement 57% et 70% plus faibles à Champ de Mars qu'à Avenue Foch.

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

Au niveau hebdomadaire, d'autres facteurs environnementaux interviennent comme la qualité de l'air extérieur (la gare de Champ de Mars est semi-ouverte), le système de ventilation (pas de système de ventilation en gares de Champ de Mars et d'Avenue Foch), le volume de la gare et les activités environnantes.

## Ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  en gare de Champ de Mars est en moyenne de 0,42, inférieur à celui d'Avenue Foch (0,5) et supérieur à celui de Magenta (0,39). Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée. Les pics ponctuels au-dessus de 0,6 s'observent la nuit entre 1 et 5h lorsque les émissions de  $PM_{10}$  dues à l'activité ferroviaire diminuent fortement.



## Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ? Est-ce différent de ce qui est observé à Avenue Foch ?

La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules  $PM_{10}$  varie de 33 à 40% sur la semaine de mesure (02/07 au 06/07/2018) en gare de Champ de Mars. Sur la même période, la part des métaux en gare d'Avenue Foch varie entre 48 et 53%. La part des métaux est plus faible en gare de Champ de Mars, dû à l'apport plus important d'air extérieur.

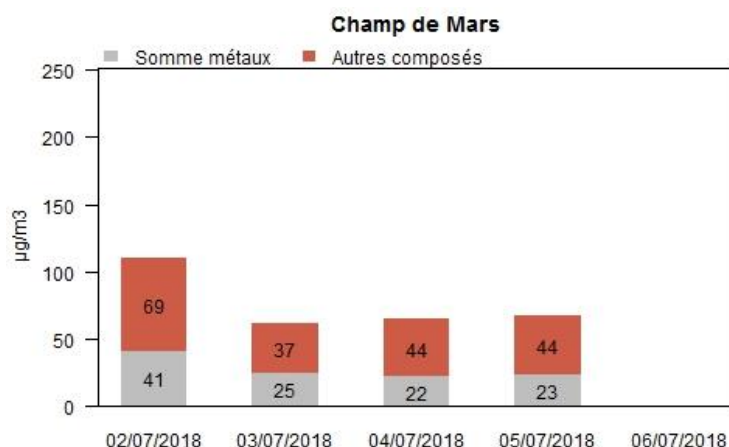
## Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 95% des métaux mesurés à Champ de Mars et 96% à Avenue Foch. Suivent ensuite l'**Aluminium** et le **Cuivre** (1,4%), le **Zinc** et le **Manganèse** (0,9%), et le **Chrome** (0,4%). Les proportions d'**Aluminium** et de **Cuivre** sont plus élevées à Champ de Mars qu'à Avenue Foch, où elles sont respectivement de 1% et 0,7% en moyenne. Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

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

La part relative de chaque métal dans les  $PM_{10}$  est stable sur les 5 jours de mesure, aussi bien en gare de Champ de Mars qu'à Avenue Foch.

Les relevés journaliers ont varié sur la semaine de prélèvement à Champ de Mars, ainsi qu'à Avenue Foch, de la même façon que les teneurs en particules  $PM_{10}$ .



# 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> .....	15
2.1.2. PARTICULES PM <sub>2.5</sub> .....	16
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 .....	23
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	23
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	24
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	26
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM <sub>10</sub> ET PARTICULES TRES FINES PM <sub>2.5</sub> .....	28
2.4.1. NIVEAUX MOYENS .....	28
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	29
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 .....	37

**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 seront, 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 Avenue Foch (RER C), gérée par Airparif. Les mesures avaient lieu initialement à la station Saint-Michel-Notre-Dame (de septembre 2016 à décembre 2017). 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 Avenue Foch 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 Avenue Foch 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 Champ de Mars en juin/juillet 2018, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.**

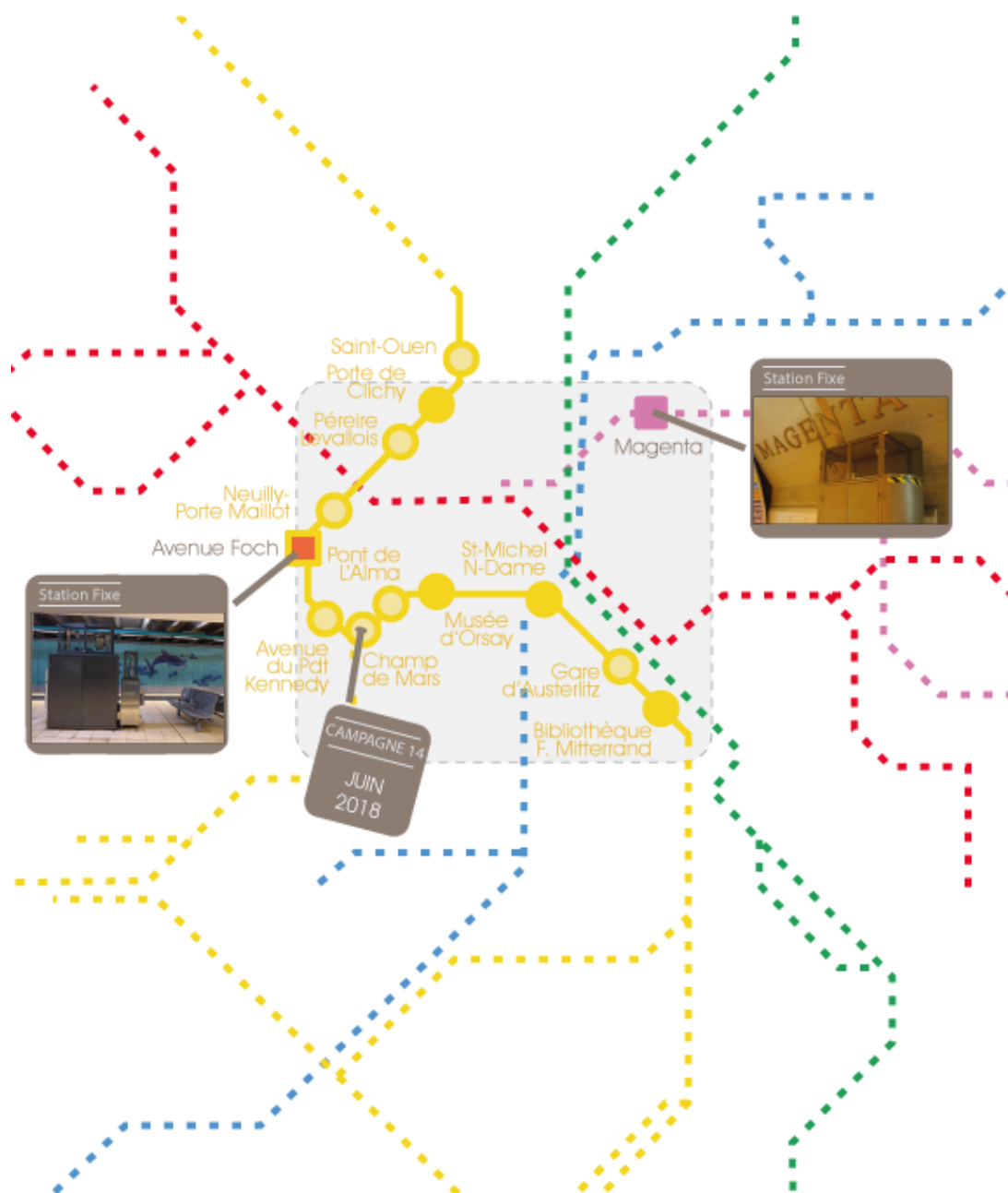
La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Champ de Mars), ainsi que celle des deux stations permanentes.

---

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

<sup>2</sup>AEF : Agence Essais Ferroviaires, Laboratoire d'Essais de la SNCF.

## Gares RER du réseau SNCF qui seront équipées par Airparif et calendrier des campagnes de mesure



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 Avenue Foch depuis avril 2018).

# 1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

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

La gare de Champ de Mars, sur le RER C (branche centrale dans Paris) est concernée par le programme de partenariat. Elle est située Quai Branly, à Paris (XV<sup>ème</sup>), au niveau du pont de Bir-Hakeim.

Cette gare a une correspondance avec le métro, ligne 6.

**Cette gare RER est semi-ouverte**, avec une ouverture sur les quais de Seine, le long du quai B, de faible profondeur (niveau -1 par rapport à la rue, même niveau que les quais de Seine), avec des quais de chaque côté de la voie. **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 Champ de Mars (RER C) est de 21 880 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Champ de Mars (2 sens confondus) est de 432 les jours ouvrés (jours JOB), 352 les samedis et 317 les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF). Il s'agit des chiffres moyens.

La station de mesure a été installée au milieu du quai A (direction Versailles Château Rive Gauche, Saint-Quentin-en-Yvelines, Montigny Beauchamp, Pontoise - point bleu sur la figure 2 ci-dessous).



Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare Champ de Mars, ligne RER C, quai A), photos de la station de mesure

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 pollution atmosphérique à la gare de Champ de Mars ont été réalisées pendant 3 semaines, du **18/06/2018 au 08/07/2018**. 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.

Afin d'avoir une période de mesure commune avec les relevés en gare d'Avenue Foch, les prélèvements en métaux ont été réalisés à partir du 02/07/2018 pour une semaine.

Durant la période de mesure, dû à un **mouvement de grève** au sein de la SNCF, le trafic a été perturbé sur la ligne du RER C (en gare de Champ de Mars et d'Avenue Foch) les jours suivants :

- Jours ouvrés : les 18, 22, 27 et 28 juin
- Samedis : 23 juin

## 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 la teneur en métaux dans les particules.

Les niveaux observés sur le quai dans la gare de Champ de Mars sont comparés aux observations des deux stations de référence (Magenta et Avenue Foch), 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 Champ de Mars, sur l'ensemble de la période de mesure (18/06-08/07/2018).

Les cinq jours de grève ayant eu lieu pendant la campagne de mesure ont eu pour conséquence une circulation réduite du nombre de trains ces journées-là, non représentatives d'une situation classique.

Aussi, les statistiques présentent d'une part les résultats globaux (toute la période de mesure), d'autre part les résultats uniquement les jours hors grève.

Gare Champ de Mars	PM <sub>10</sub> (particules fines)		PM <sub>2.5</sub> (particules très fines)	
	Toute la période (21 jours)	Hors grève (15 jours)	Toute la période (21 jours)	Hors grève (15 jours)
Statistiques (µg/m <sup>3</sup> )				
Minimum horaire	3	3	3	3
Percentile 25 (P25)	37	39	16	18
Médiane ou Percentile 50	71	73	24	26
<b>Moyenne</b>	<b>72</b>	<b>74</b>	<b>25</b>	<b>27</b>
Percentile 75 (P75)	100	102	33	34
Maximum horaire	198	198	62	62
% de données horaires valides	99	99	98	97

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare RER C de Champ de Mars, sur toute la période de mesure comparaison entre toute la période et seulement les jours de grève, période du 18/06 au 08/07/2018

Le niveau moyen en particules PM<sub>10</sub> relevé en gare de Champ de Mars sur l'ensemble de la période de mesure est de 72 µg/m<sup>3</sup>. Les paramètres statistiques sont similaires entre les niveaux d'ensemble et les niveaux hors grève, légèrement supérieurs pour ces derniers. Les grèves n'ont pas eu un fort impact sur les niveaux de particules en gare de Champ de Mars. Le maximum horaire a été enregistré le lundi 2 juillet à 10h.

Les mêmes constatations peuvent être faites pour les particules PM<sub>2.5</sub>, avec un maximum horaire atteint au même moment que pour les PM<sub>10</sub>.

Une comparaison entre les résultats statistiques de la gare de Champ de Mars et des gares de référence (Avenue Foch, Magenta) est aussi présentée dans le tableau suivant, pour toute la période de mesure (jours de grève compris).

Statistiques ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> (particules fines)			PM <sub>2,5</sub> (particules très fines)		
	Champ de Mars	Avenue Foch	Magenta	Champ de Mars	Avenue Foch	Magenta
Minimum horaire	3	8	5	3	3	5
Percentile 25 (P25)	37	84	47	16	43	19
Médiane ou Percentile 50	71	160	79	24	71	28
Moyenne	<b>72</b>	<b>152</b>	<b>70</b>	<b>25</b>	<b>70</b>	<b>26</b>
Percentile 75 (P75)	100	208	94	33	94	33
Maximum horaire	198	326	126	62	157	46
% de données horaires valides	99	99	81	98	99	81

Tableau 2 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Champ de Mars, et aux deux stations de référence, période du 18/06 au 08/07/2018.

Le niveau moyen en PM<sub>10</sub> relevé en gare de Champ de Mars est très inférieur à celui de la gare d'Avenue Foch et similaire à celui de la gare de Magenta. Les paramètres statistiques sont de 40 à 60% plus faibles en gare de Champ de Mars qu'en gare d'Avenue Foch. Le maximum horaire est plus élevé en gare de Champ de Mars qu'en gare de Magenta (198  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contre 126  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Les résultats pour les PM<sub>2,5</sub> à la Gare RER C de Champ de Mars sont beaucoup plus faibles que ceux de la gare d'Avenue Foch (de 60 à 65% selon le paramètre) 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 Champ de Mars (62  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contre 46  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

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

La variabilité des concentrations en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C de Champ de Mars, **seulement lors des jours hors grève**, est présentée à la Figure 3. Elle est comparée à celle de la gare de Magenta et d'Avenue Foch pour la même période (hors jours de grève).

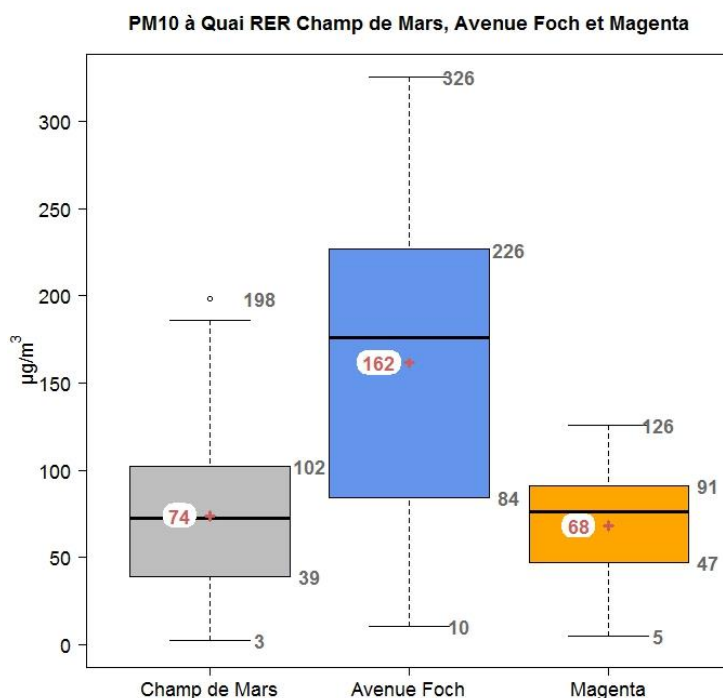


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Champ de Mars, de Magenta et d'Avenue Foch, période du 18/06 au 08/07/2018, jours hors grève.

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 Champ de Mars montre une répartition « équilibrée » des mesures<sup>3</sup>. Sur l'ensemble de la campagne (hors jours de grève), 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C de Champ de Mars sont comprises entre 39 et 102 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 74 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 73 µg/m<sup>3</sup>.

Les niveaux mesurés à la gare de référence Avenue Foch sont nettement supérieurs à ceux de Champ de Mars : 162 µg/m<sup>3</sup> en moyenne, soit 120% de plus. Les niveaux mesurés en gare de Magenta sont plus proches de ceux de Champ de Mars, inférieurs de 8%, avec une concentration moyenne de 68 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum horaire rencontré en gare de Magenta est aussi inférieur à celui rencontré en gare de Champ de Mars (126 µg/m<sup>3</sup>).

<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. Cette répartition caractérise ainsi une distribution symétrique par rapport à la médiane.

Par ailleurs, la variabilité des niveaux de PM<sub>10</sub> est bien plus faible à Champ de Mars qu'à Avenue Foch, et un peu plus élevée qu'à Magenta.

## 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 Champ de Mars est présentée Figure 4, **seulement lors des jours hors grève**. Elle est comparée à celle de la gare de Magenta et d'Avenue Foch pour la même période hors jours de grève.

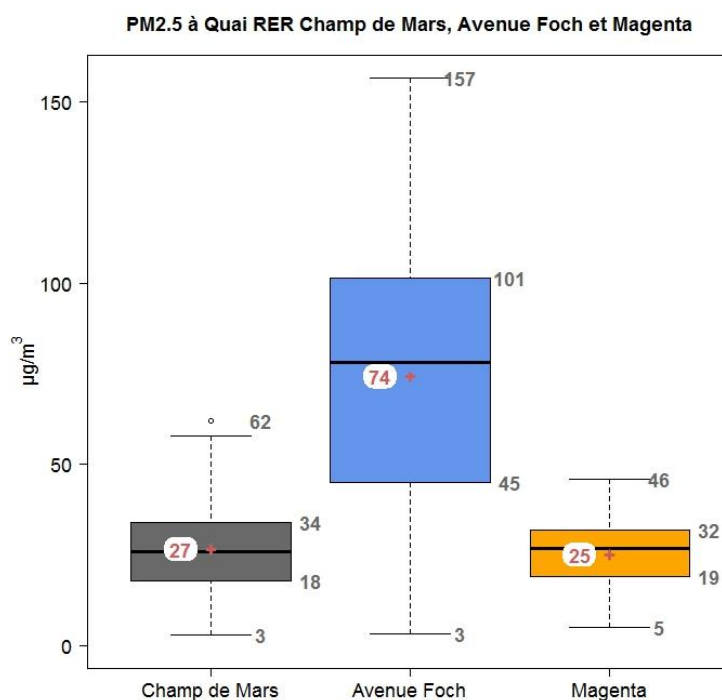


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Champ de Mars, de Magenta et d'Avenue Foch, période du 18/06 au 08/07/2018, jours hors grève

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM<sub>2.5</sub> en Gare RER C de Champ de Mars montre une répartition « équilibrée » des mesures<sup>4</sup>. Sur l'ensemble de la campagne, 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C de Champ de Mars sont comprises entre 18 et 34 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 27 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 26 µg/m<sup>3</sup>.

Comme pour les PM<sub>10</sub>, les niveaux en gare d'Avenue Foch sont beaucoup plus élevés que ceux de la gare de Champ de Mars (174%), et les niveaux en gare de Magenta sont similaires voire légèrement inférieurs.

La variabilité des niveaux de PM<sub>2.5</sub> est bien plus faible à Champ de Mars qu'à Avenue Foch, et un peu plus élevée qu'à Magenta.

<sup>4</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. Cette répartition caractérise ainsi une distribution symétrique par rapport à la médiane.



La teneur moyenne relevée en particules PM<sub>10</sub> sur les quais de la gare RER C de Champ de Mars pendant la campagne, en dehors des jours de grève, est de 74 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et 27 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>2.5</sub>.

**Ces niveaux moyens en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>), sont nettement inférieurs à ceux de la gare Avenue Foch et du même ordre de grandeur que ceux de la gare Magenta.**

Les jours de grève ont eu peu d'influence sur les niveaux en particules.

## 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.

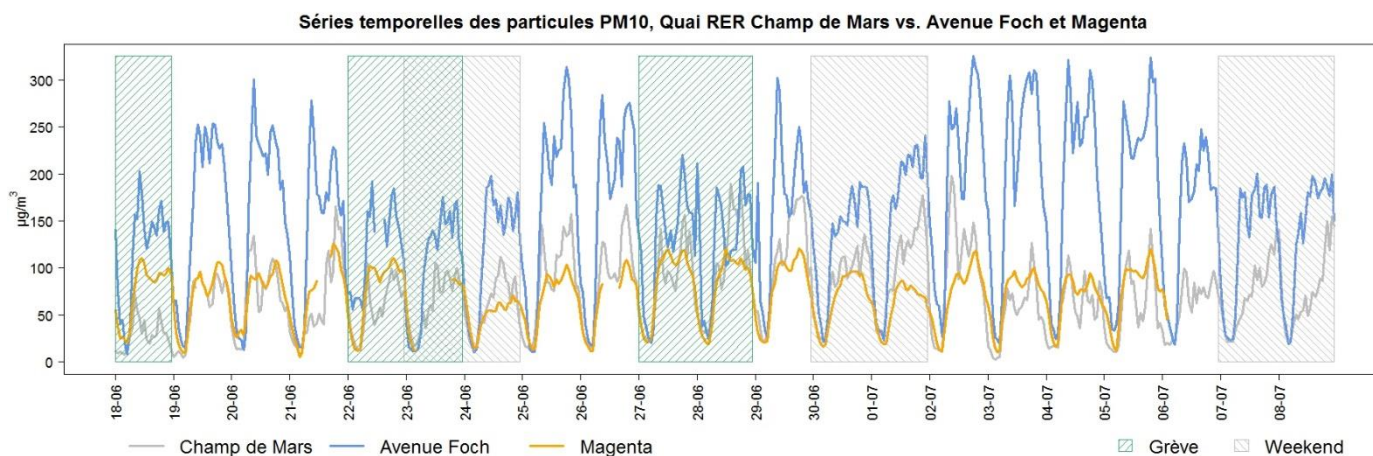


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018)

Les différences de niveaux observées à l'échelle horaire sont importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par la fréquentation de la gare, aussi bien en termes de trains que de voyageurs : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules PM<sub>10</sub> et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à Champ de Mars, les teneurs dépassent 100 µg/m<sup>3</sup> en journée, alors que la nuit, les niveaux sont d'une vingtaine de µg/m<sup>3</sup>. Les niveaux de nuit sont homogènes entre les trois gares. La relation entre les niveaux observés et le nombre de trains en circulation est présenté au paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE.

Un impact des jours de grève (en hachuré vert) sur les concentrations est également observé. Selon le nombre de trains en circulation les jours de grève, les niveaux sont très faibles (journée de grève du 18 juin) ou comparables aux niveaux habituels (22, 27 et 28 juin, en gare de Champ de Mars mais pas en gare d'Avenue Foch).

Les niveaux de Champ de Mars et de Magenta sont proches, mais les pics de PM<sub>10</sub> en journée à Champ de Mars sont plus élevés que ceux de Magenta : cela est concordant avec la dispersion des niveaux relevée à la figure 3, plus grande à Champ de Mars qu'à Magenta.

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

Les relevés horaires des particules PM<sub>2.5</sub> sont présentés en Figure 6 pour les trois stations.

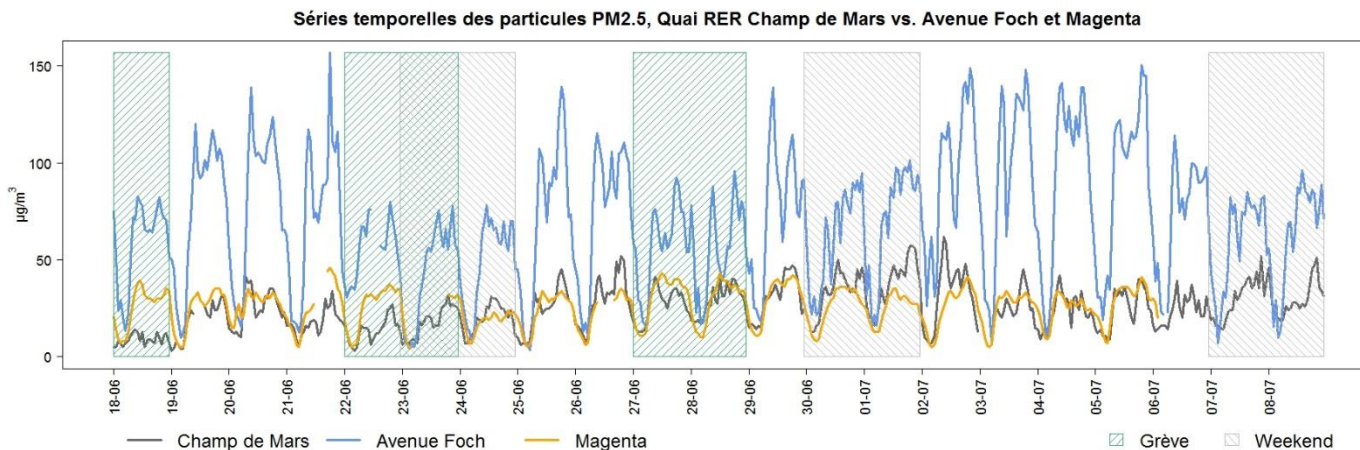


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018)

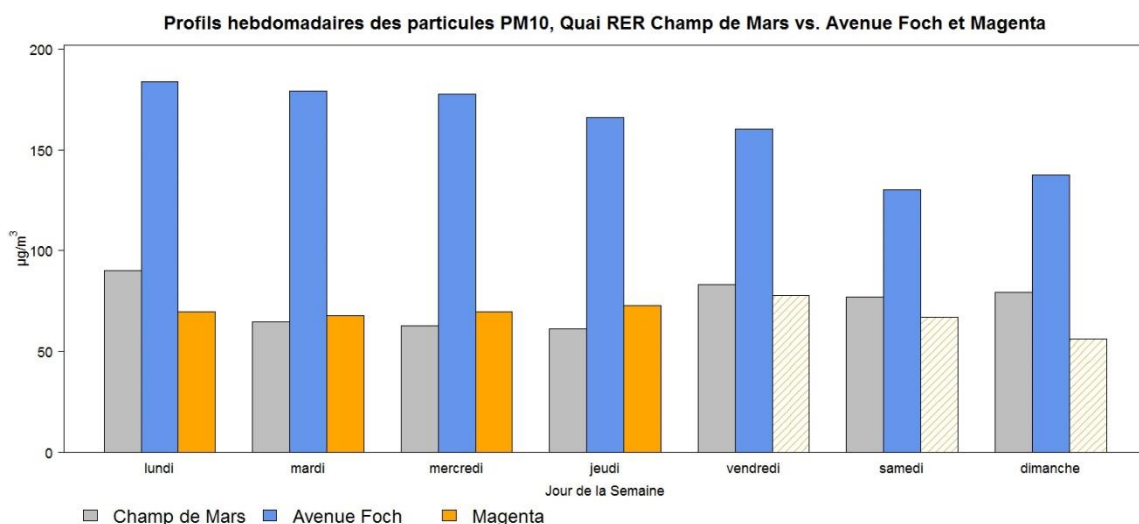
Ce graphique montre, comme pour les PM<sub>10</sub>, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par le nombre de trains en circulation : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non présents la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ainsi, en journée, les teneurs en PM<sub>2.5</sub> avoisinent 40 µg/m<sup>3</sup> à Champ de Mars, alors que la nuit, les niveaux sont d'une quinzaine de µg/m<sup>3</sup>.

Un impact des jours de grève (en hachuré vert) sur les concentrations est également observé. Selon le nombre de trains en circulation, les niveaux sont très faibles (18 juin) ou comparables aux niveaux habituels (22, 27 et 28 juin, en gare de Champ de Mars mais pas en gare d'Avenue Foch).

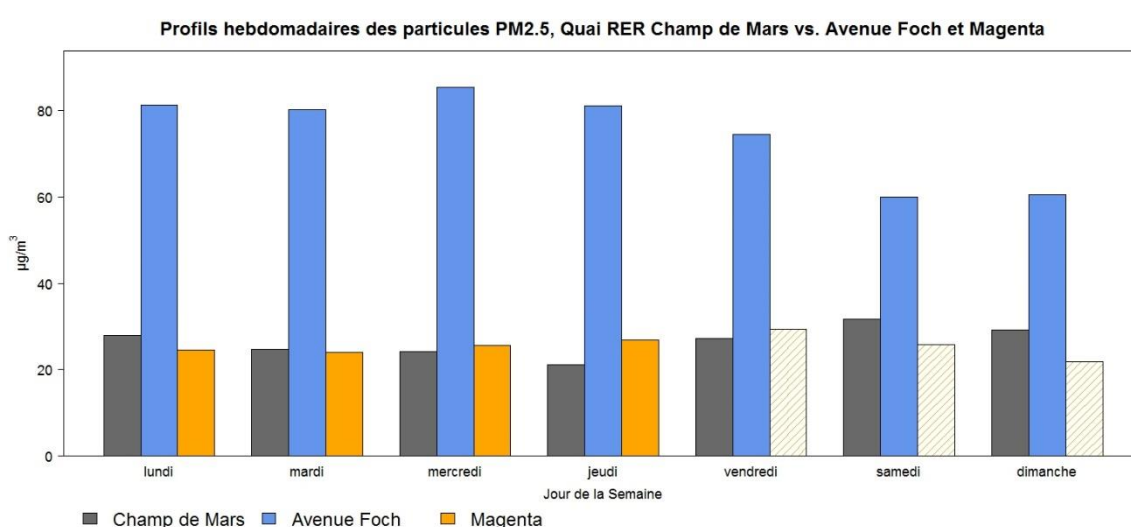
Les niveaux de Champ de Mars et de Magenta sont proches, les pics de PM<sub>2.5</sub> en journée à Champ de Mars étant la plupart du temps similaires à ceux de Magenta.

### 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Champ de Mars sont présentés à la Figure 7 pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. Seuls les jours hors grève ont été considérés. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Champ de Mars et aux stations de référence.



(a)



(b)

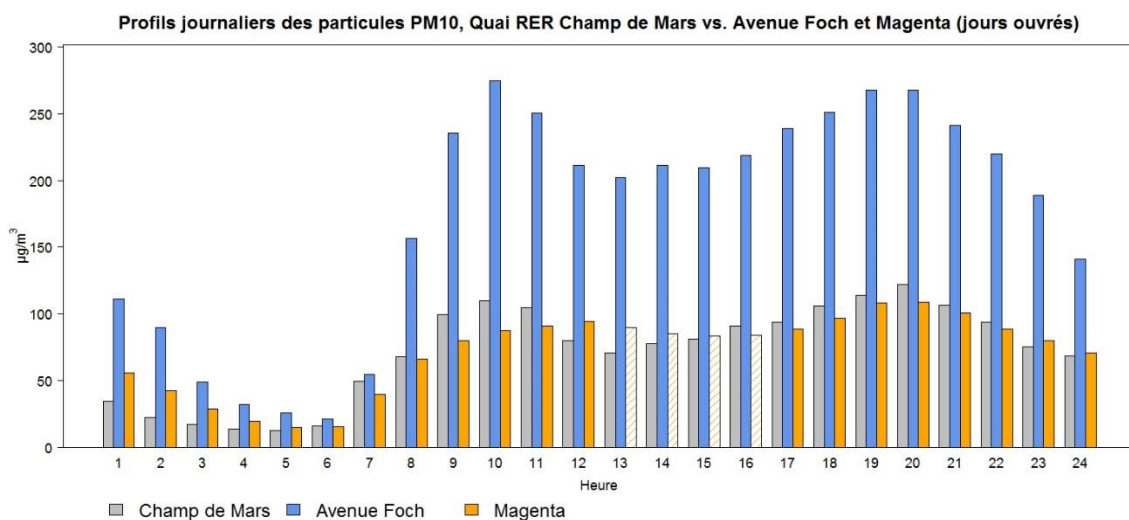
Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018, et comparaison avec les résultats d'Avenue Foch et Magenta, hors jours de grève. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les profils de Champ de Mars et de Magenta sont relativement proches.

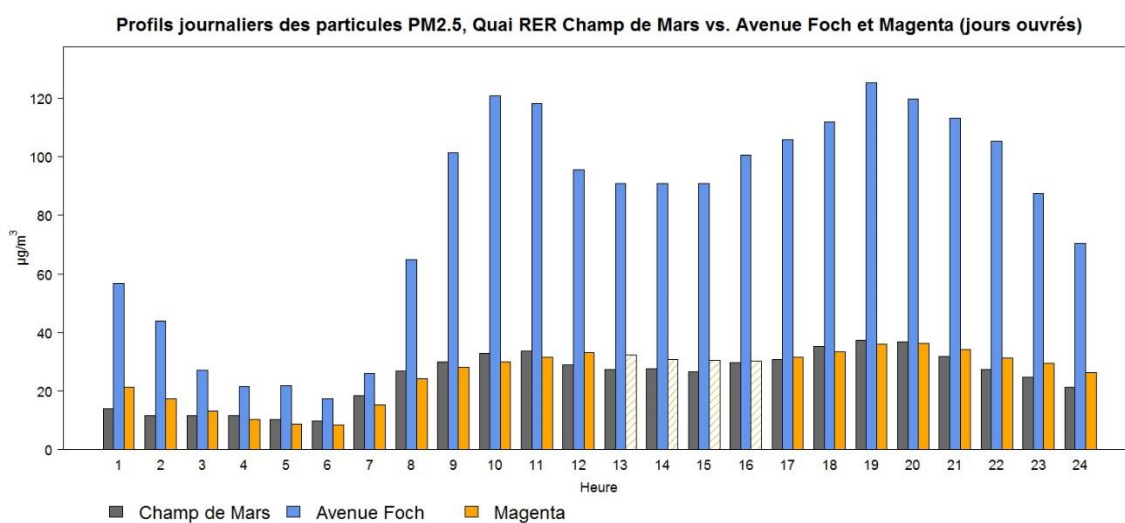
Les niveaux moyens en particules PM<sub>10</sub> avoisinent 72 µg/m<sup>3</sup> sur une journée ouvrée et ceux en PM<sub>2.5</sub> s'élèvent à 25 µg/m<sup>3</sup>. Contrairement aux autres gares, les niveaux augmentent légèrement le weekend par rapport aux niveaux en semaine, de l'ordre de 10 et 20% respectivement pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub>. Ceci est lié à plusieurs éléments : aux faibles niveaux relevés les jours ouvrés la troisième semaine de mesure, abaissant la moyenne en jours ouvrés, aux niveaux relativement faibles relevés dans la gare de Champ de Mars, plutôt homogènes sur la semaine, et aux niveaux extérieurs influençant les niveaux à quais (niveaux plus hauts les weekends sur la campagne de mesure, voir le paragraphe 3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR). Il n'est pas exclu que la fréquentation plus importante de la Tour Eiffel le weekend ait un effet non négligeable sur les niveaux de particules dans 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 grève**.



(a)



(b)

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 Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018 et comparaison avec les résultats des stations de référence – jours ouvrés hors jours de grève. En hachuré, données disponibles < 75%.

Les profils de Champ de Mars, de Magenta et d'Avenue Foch sont relativement proches.

Les particules PM<sub>10</sub> et les particules PM<sub>2.5</sub> ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules le matin (mesures entre 8h-11h) et le soir (entre 17h - 21h). Sur ces plages horaires, les niveaux sont en moyenne de 109 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 34 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> en gare de Champ de Mars. Les heures de pointe à la gare d'Avenue Foch ont lieu aux mêmes heures que pour la gare de Champ de Mars. Aux heures de pointe, la moyenne des concentrations horaires enregistrées en gare de Champ de Mars est 57% et 70% inférieure à celles d'Avenue Foch, respectivement 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 : 17 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et environ 11 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> en gare de Champ de Mars.

Ces profils journaliers en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) fluctuent en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire et la fréquentation sont également maximales (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

Le profil journalier en PM<sub>2.5</sub> présente des variations horaires moindres (écart type de 7 µg/m<sup>3</sup> sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM<sub>10</sub> (écart type de 27 µg/m<sup>3</sup> sur la période d'ouverture de la gare), différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent d'avantage 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 Champ de Mars qu'aux stations de référence.

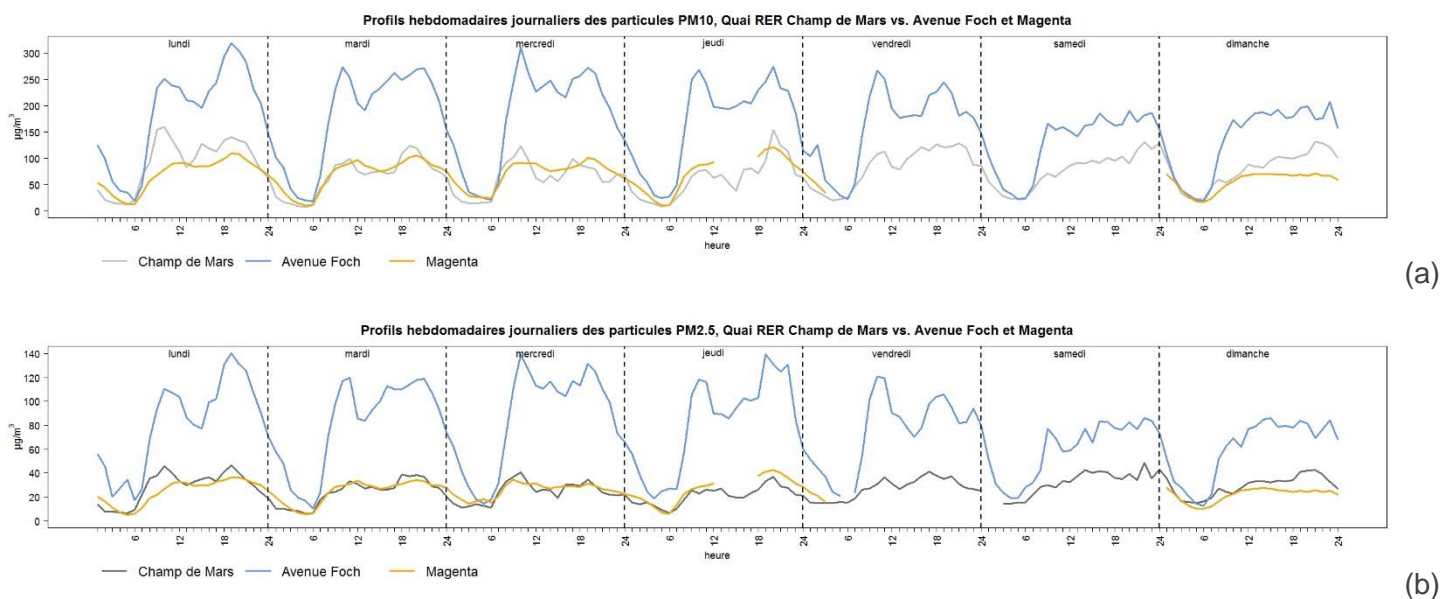


Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Champ de Mars, à Magenta et Avenue Foch, période du 18/06 au 08/07/2018, [hors jours de grève](#).

Les variations montrent d'une part les fluctuations les jours ouvrés (niveaux les plus faibles la nuit, puis hausse des teneurs en journée avec les maxima entre 8-11h et 17-21h) et les niveaux homogènes entre la semaine et le weekend, cependant avec moins de variations horaires le weekend (augmentation régulière le long de la journée, maximum le soir).

Des niveaux moyens plus faibles sont mesurés mardi, mercredi et jeudi, influencés surtout par des niveaux plus faibles rencontrés ces jours-là la troisième semaine de mesure.

Les niveaux en gare de Champ de Mars sont similaires et parfois inférieurs à ceux de Magenta, avec cependant davantage de variations journalières lors des heures de pointe notamment.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) sont fortement liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains), mais aussi à d'autres influences extérieures (niveaux de pollution extérieure - voir paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

**A l'échelle hebdomadaire**, les profils montrent des teneurs homogènes sur la semaine, voire légèrement plus élevées le weekend, ceci pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> (+10 % et 20% respectivement). Les niveaux des week-ends ont pu être influencés par les niveaux en air extérieur, eux-mêmes plus élevés les week-ends sur la période de mesure.

**Sur une journée ouvrée moyenne**, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles. Ils augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, entre 8 et 11h le matin et entre 17h et 21h le soir en gare de Champ de Mars. Lors de ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent 109 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et 34 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>5</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 Champ de Mars chaque jour ouvré pendant une semaine (du 2 au 6 juillet). 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 Avenue Foch 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>5</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 Champ de Mars et Avenue Foch. Les données du 6 juillet en gare de Champ de Mars ne sont pas disponibles suite à un problème de prélèvement.

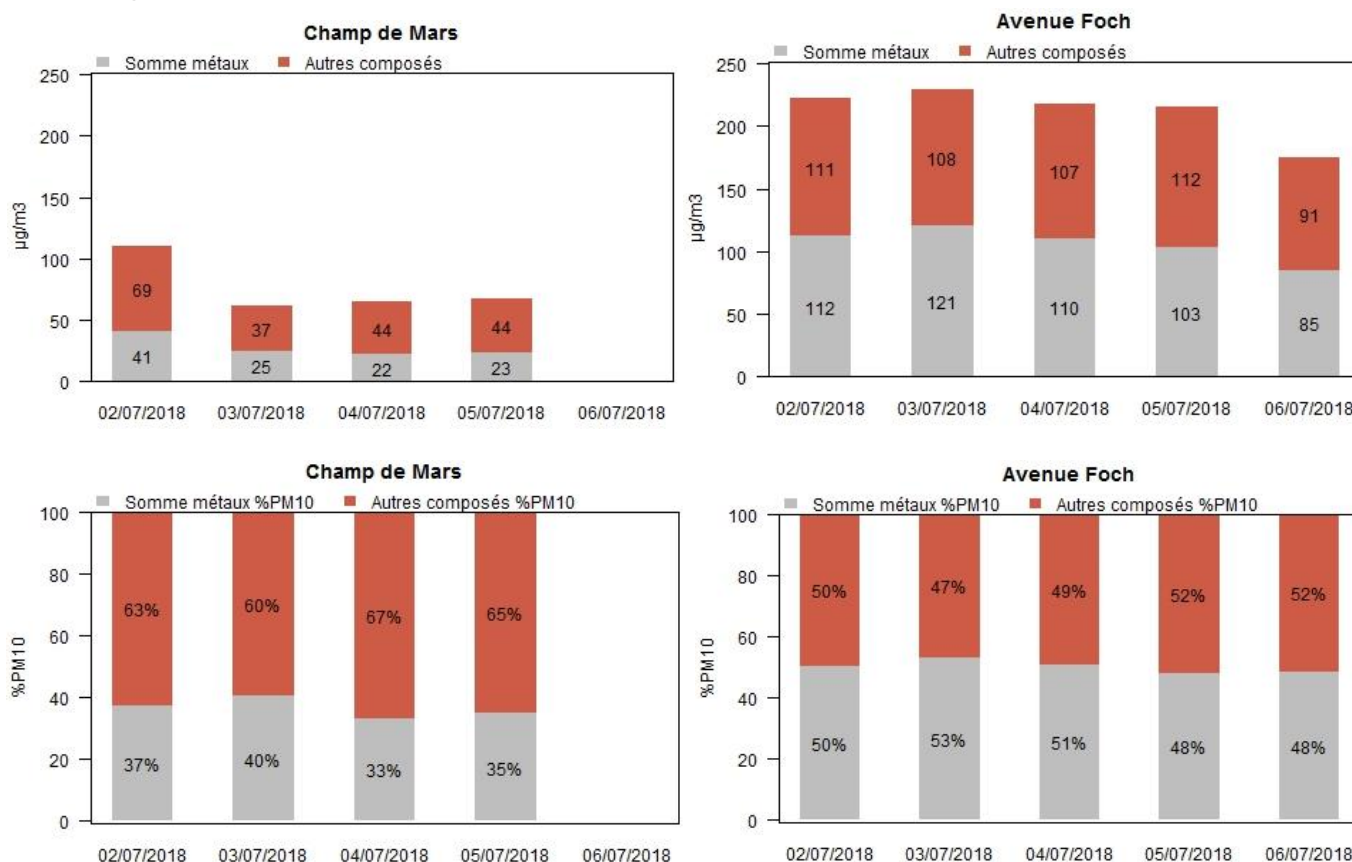


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement (en concentration et en % de particules PM<sub>10</sub>), à la gare RER C de Champ de Mars et à Avenue Foch (RER C), période du 2 au 6/07/2018.

<sup>5</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 Champ de Mars, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 22 µg/m<sup>3</sup> (le 4/07/18) à 41 µg/m<sup>3</sup> (le lundi 2/07/18). En comparaison avec la concentration en particules PM<sub>10</sub> enregistrée chaque jour, la part des métaux varie de 33 à 40%. Les teneurs les moins élevées ont été enregistrées les mercredi 4 et jeudi 5/07.

En moyenne sur la semaine, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est de 36% en gare de Champ de Mars. Cette proportion est comparable à certaines gares précédemment instrumentées.

Sur la même période, à la station Avenue Foch, la somme des métaux était supérieure à celle de la gare de Champ de Mars, variant entre 85 µg/m<sup>3</sup> (le 06/07/18) et 121 µg/m<sup>3</sup> (le 03/07/18). La part de métaux dans les PM<sub>10</sub> a varié de 48 à 53% sur toute la semaine. En moyenne sur la semaine, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est de 50% en gare Avenue Foch.

La part des métaux dans les particules est donc plus faible en gare de Champ de Mars qu'en gare d'Avenue Foch, probablement en partie en raison de l'influence de l'air extérieur dans cette gare semi-ouverte.

## 2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante représente la répartition moyenne des composés mesurés entre le 2 et le 06/07/2017, aussi bien en gare de Champ de Mars qu'à Avenue Foch. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

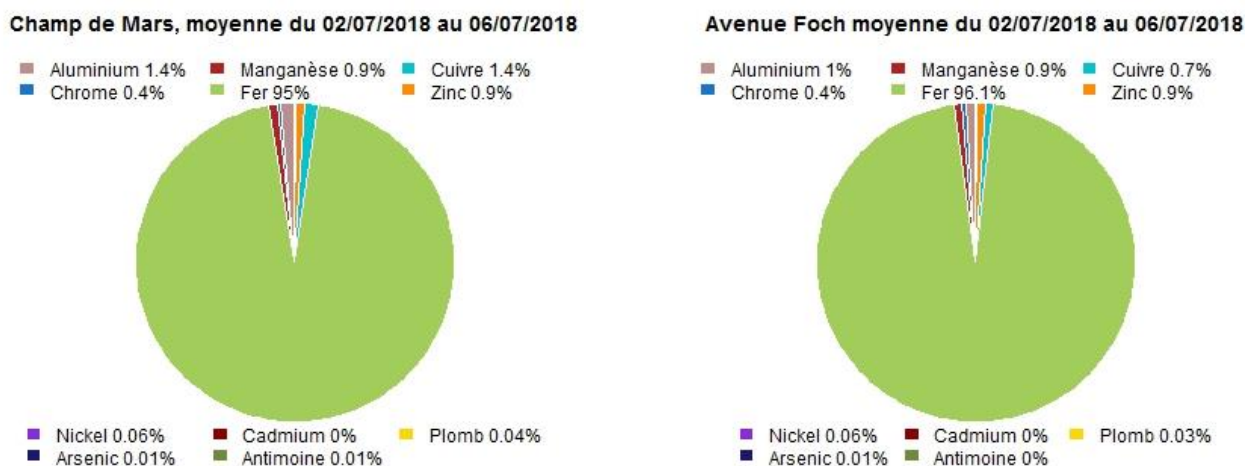


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 2 au 06/07/2018, en gare de Champ de Mars et à la station RER C Avenue Foch.

La contribution moyenne de chaque métal est proche à Champ de Mars et Avenue Foch, excepté pour le **Cuivre** (1,4% à Champ de Mars et 0,7% à Avenue Foch) et l'**Aluminium** (1,4% à Champ de Mars et 1% à Avenue Foch).

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente 95% des métaux mesurés à Champ de Mars et 96% à Avenue Foch. Ce résultat est similaire aux résultats des précédentes campagnes.



En dehors du Fer, les quatre métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont l'**Aluminium** et le **Cuivre**, le **Zinc** et le **Manganèse**, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 0,9% pour le **Zinc** et le **Manganèse** en gare de Champ de Mars (idem pour Avenue Foch).

Le **Chrome** représente 0,4% des métaux mesurés (proportion équivalente sur les deux sites).

Les proportions en **Arsenic**, **Cadmium**, **Antimoine**, **Nickel** et **Plomb** sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Champ de Mars ou à Avenue Foch.

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre, Zinc et Aluminium) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Champ de Mars et d'Avenue Foch, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium.

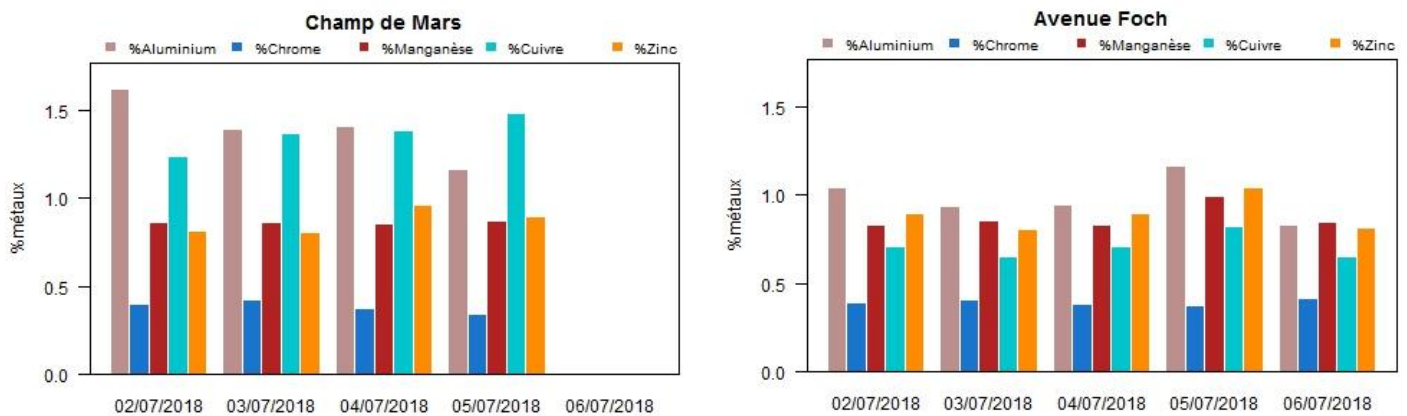


Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Champ de Mars et à la station de référence Avenue Foch (RER C), période du 2 au 06/07/2018.

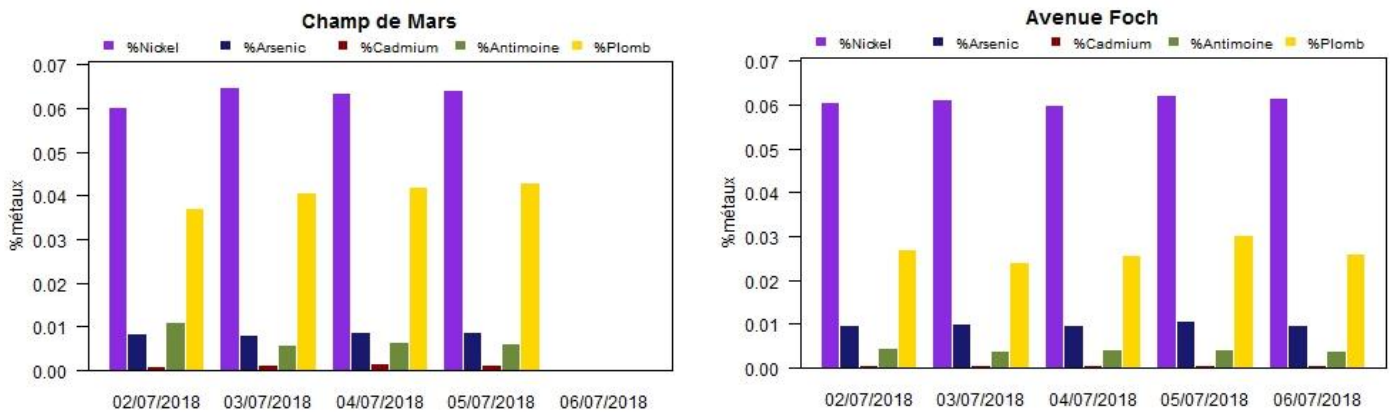


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Champ de Mars et à Avenue Foch (RER C), période du 2 au 06/07/2018.

**La part relative de chacun des métaux est globalement stable sur les cinq jours de mesure sur les deux gares.**

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 électrique. Dans les enceintes souterraines ferroviaires, il est émis lors du contact entre les pantographes et les caténaies (système d'alimentation). Il peut également être présent dans les semelles de frein et par conséquent être émis lors du freinage, comme l'Aluminium. Ce composé est également émis lors de l'abrasion due au roulement.

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.

### 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 Champ de Mars et à la station de référence Avenue Foch.

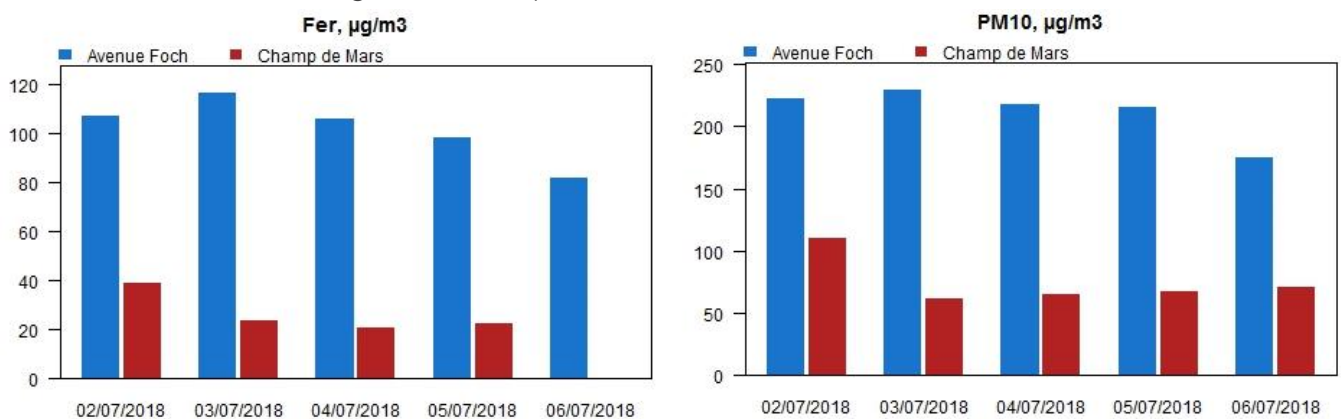


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM<sub>10</sub> à la gare RER C de Champ de Mars et à la station de référence Avenue Foch (RER C), période du 2 au 06/07/2018.

Les teneurs en **Fer** sont plus élevées à Avenue Foch qu'en gare de Champ de Mars, en lien direct avec les particules PM<sub>10</sub> : les moyennes journalières ont varié entre 21 µg/m<sup>3</sup> (04/07/2018) et 39 µg/m<sup>3</sup> (02/07/2018) en gare de Champ de Mars et entre 82 et 117 µg/m<sup>3</sup> à Avenue Foch.

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 Avenue Foch et de 0,98 pour Champ de Mars.

Cinq métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques dizaines à quelques centaines de ng/m<sup>3</sup>. Il s'agit de l'**Aluminium**, du **Chrome**, du **Manganèse**, du **Cuivre** et du **Zinc**. Ces composés sont respectivement 3 fois, 4 fois, 4 fois, 2 fois et 4 fois plus faibles qu'à Avenue Foch. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières d'**Aluminium** ont varié de 270 à 655 ng/m<sup>3</sup>.

Les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 78 et 158 ng/m<sup>3</sup>.

Les teneurs journalières en **Manganèse** ont varié entre 202 à 347 ng/m<sup>3</sup>.

Concernant le **Cuivre**, les concentrations journalières ont varié entre 297 et 500 ng/m<sup>3</sup>.

Les concentrations journalières en **Zinc** ont varié de 197 à 328 ng/m<sup>3</sup>.

Pour les cinq autres métaux, en gare de Champ de Mars, les niveaux journaliers ont varié comme suit :

- Entre 14 et 24 ng/m<sup>3</sup> pour le Nickel,
- Entre 9 et 15 ng/m<sup>3</sup> pour le Plomb,
- Entre 2 et 3 ng/m<sup>3</sup> pour l'Arsenic,
- Entre 1 et 4 ng/m<sup>3</sup> pour l'Antimoine,
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 0,27 ng/m<sup>3</sup> (valeur minimale de quantification).

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM<sub>10</sub> en gare de Champ de Mars varie de 33 à 40% sur la semaine de mesure. A Avenue Foch, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est supérieure, variant de 48 à 53%.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 95% des métaux mesurés à Champ de Mars (96% à Avenue Foch). Suivent ensuite le **Cuivre** et l'**Aluminium** (1,4%), le **Zinc** et le **Manganèse** (0,9%), suivis du **Chrome** (0,4%). Les proportions en Arsenic, Nickel, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf pour l'Aluminium et le Cuivre (1% et 0,7% à Avenue Foch). Les teneurs de métaux à Champ de Mars sont aussi plus faibles, en lien essentiellement avec des niveaux de PM<sub>10</sub> plus faibles.

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

L'examen du ratio PM<sub>2.5</sub> / PM<sub>10</sub> peut permettre d'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<sub>2.5</sub>) et particules fines (PM<sub>10</sub>) est présenté à la Figure 15.

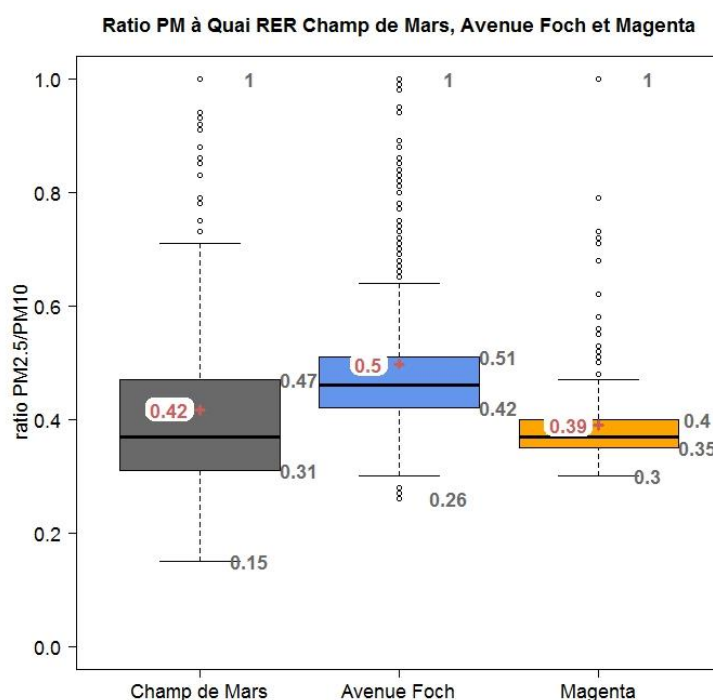


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub>, à la Gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018, hors jours de grève.

En moyenne sur toute la période de mesure, en gare de Champ de Mars, le ratio PM<sub>2.5</sub>/PM<sub>10</sub> est de 0,42. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,5 à Avenue Foch et 0,39 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. Ainsi, malgré la configuration semi-ouverte de la gare de Champ de Mars, le ratio n'est pas plus élevé que dans d'autres gares souterraines. Les particules mesurées sont donc principalement celles de l'activité de la gare (grosses particules), mais à des niveaux relativement faibles grâce à une aération naturelle.

## 2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

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

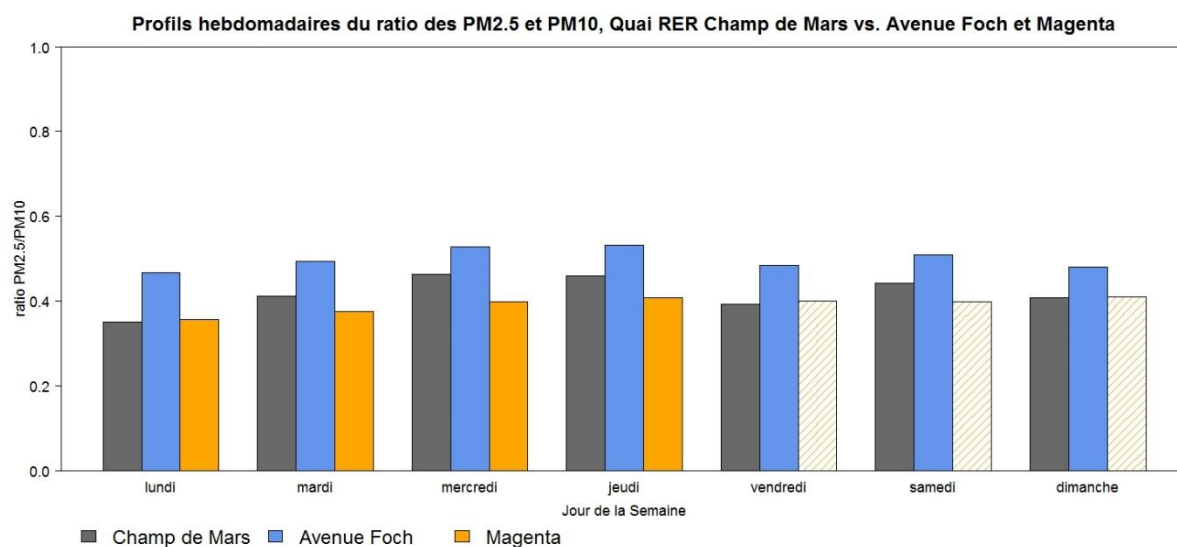


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018, hors jours de grève.

Les fluctuations du ratio journalier moyen sont faibles tout le long de la semaine, oscillant entre 0,35 et 0,46 à Champ de Mars. Cela s'explique par des sources stables de  $PM_{2,5}$  et  $PM_{10}$  tout le long de la semaine. Le ratio est stable le weekend par rapport à la semaine pour toutes les gares.

## 2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les profils hebdomadaires du ratio  $PM_{2,5}/PM_{10}$  (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentés à la Figure 17.

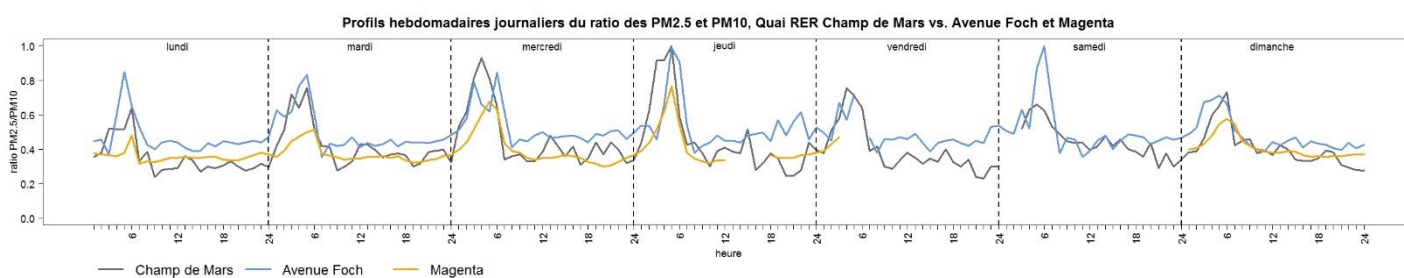


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios  $PM_{2,5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018, hors jours de grève.

Les profils des trois gares sont proches en journée, avec d'une part moins de fluctuations en gare de Magenta, et d'autre part des ratios plus élevés en gare d'Avenue Foch. Les trois gares présentent une hausse nocturne du ratio, 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  $PM_{2,5}$ .

Les profils moyens journaliers du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  sont présentés à la Figure 18.

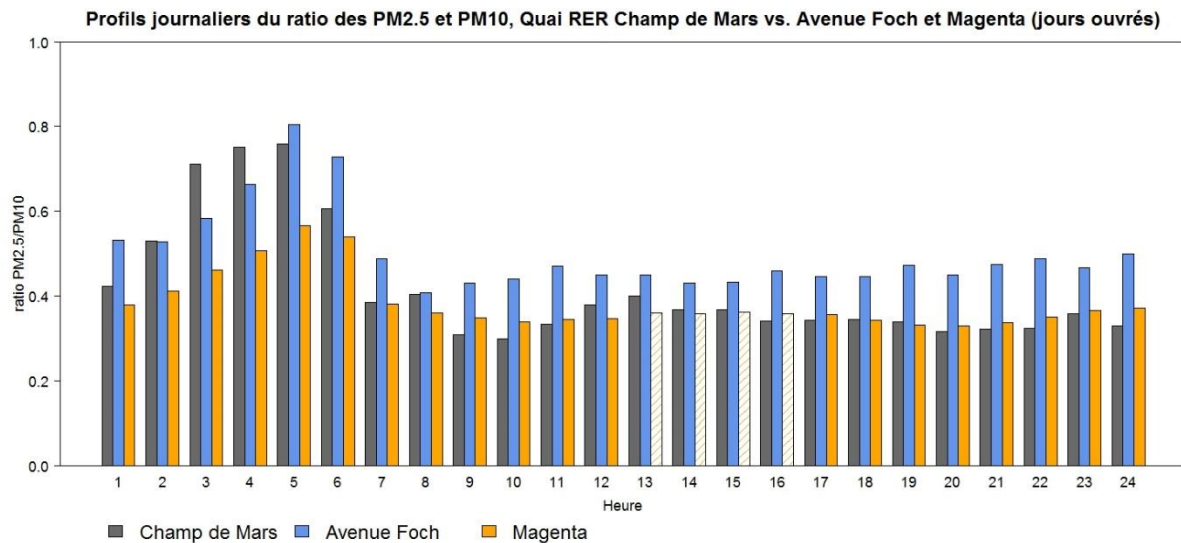


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018 – jours ouvrés hors grève.

Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 6h à 24h), autour de 0,35. Les ratios augmentent la nuit, jusqu'à 0,7 (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public), en lien avec la dépose des particules  $PM_{10}$  au sol, d'où une diminution importante des concentrations en  $PM_{10}$  et un ratio comparable à ce qui est observé en air extérieur.

**Les particules  $PM_{10}$  mesurées en gare de Champ de Mars sont constituées pour 2/5 environ de particules  $PM_{2.5}$  (ratio moyen de 0,42).** Le ratio moyen  $PM_{2.5}/PM_{10}$  atteint 0,5 à Avenue Foch et 0,39 à Magenta.

Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est relativement stable **à l'échelle hebdomadaire** à Champ de Mars et aux deux autres gares, même le weekend.

**A l'échelle horaire**, des fluctuations importantes existent entre le jour et la nuit sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,35 en journée, qui augmente la nuit jusqu'à 0,7, lorsque l'air extérieur est la principale influence pour les particules de la gare de Champ de Mars.

## 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 conditions météorologiques ont été à la fois sèches et ensoleillées, avec néanmoins de forts cumuls de pluie sur de courtes périodes début juillet. Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR<sup>6</sup>, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible pendant 33% du temps de la campagne de mesure (7 jours). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 13 jours (62 % du temps), et l'indice « élevé » un jour, le samedi 7 juillet.

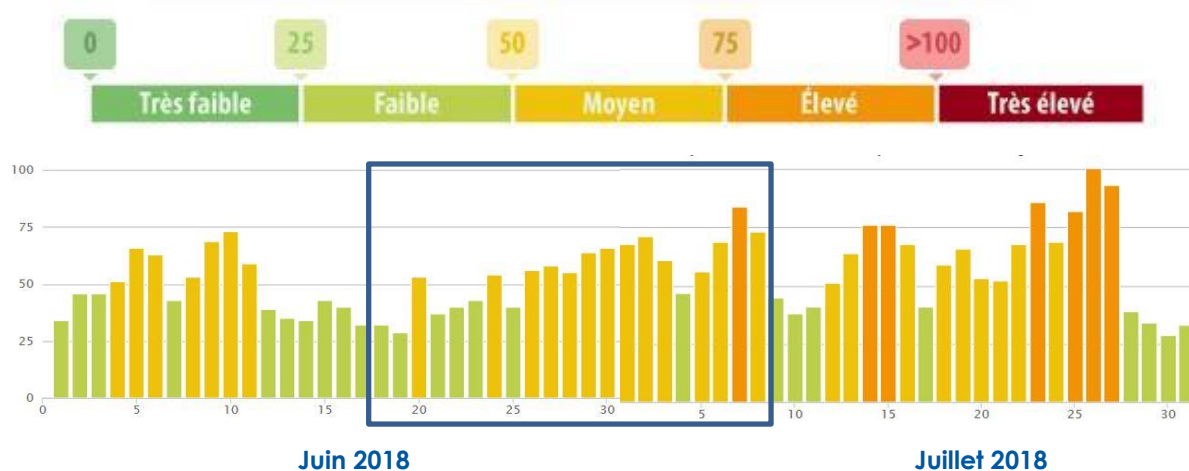
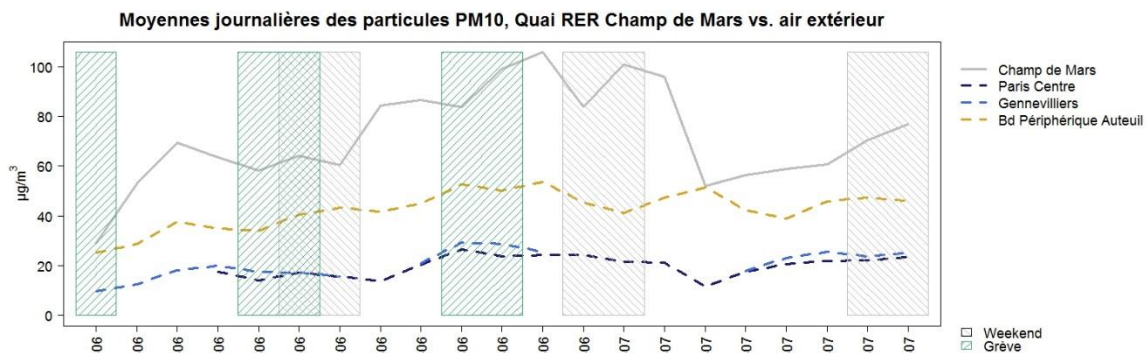


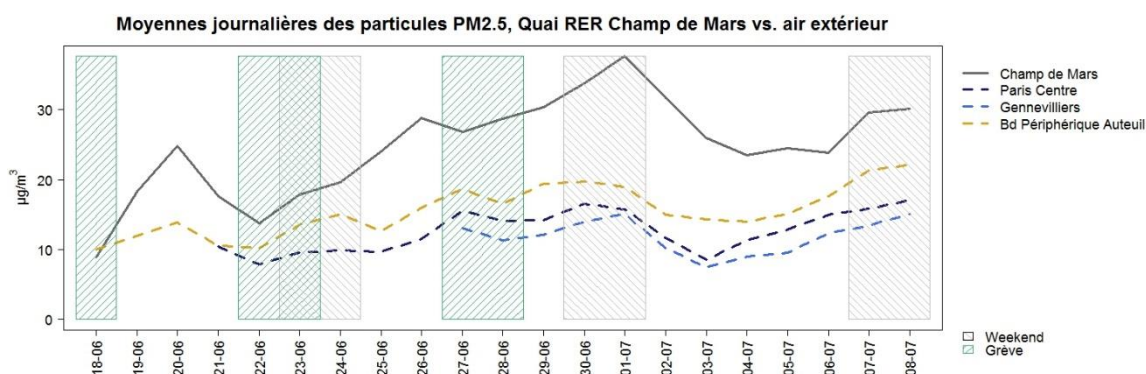
Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois de juin et juillet 2018.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Champ de Mars avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée à la Figure 20 pour les particules PM<sub>10</sub> et les particules fines PM<sub>2,5</sub>.

<sup>6</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.



(a)



(b)

Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM<sub>10</sub>(a) et en PM<sub>2.5</sub> (b) en gare de Champ de Mars et en air extérieur (situation de fond à Paris Centre et Gennevilliers, en proximité du trafic routier à Boulevard Périphérique Porte d'Auteuil), période du 18/06 au 08/07/2018.

Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Champ de Mars sont faiblement corrélées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif : les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires de Champ de Mars et des stations extérieures vont de 0,21 à 0,26 pour les PM<sub>10</sub>, de 0,31 à 0,33 pour les PM<sub>2.5</sub>. Malgré la typologie semi-ouverte de la gare, l'air extérieur ne semble pas avoir un impact prépondérant, seulement léger, sur les niveaux de particules dans la gare.

## 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 de CO<sub>2</sub> (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 Champ de Mars

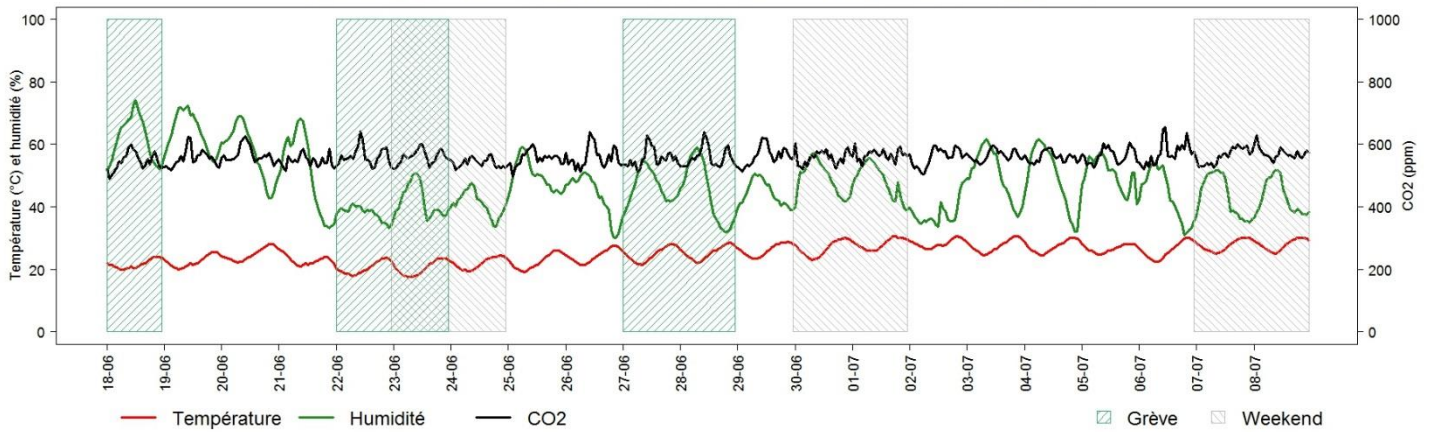


Figure 21 – Réglés horaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018.

Sur l'ensemble de la période (jours de grève compris), la température moyenne en gare de Champ de Mars est de 25°C, les réglés horaires ayant varié entre 18 et 30°C. L'humidité relative moyenne en gare de Champ de Mars est de 48%, les réglés horaires ayant varié fortement de 30% à 74%. Ces réglés sont en moyenne similaires à ceux de la gare d'Avenue Foch, mais plus variables car plus influencés par les variations de l'air extérieur.

Les réglés horaires en CO<sub>2</sub> sont plus fluctuants à l'échelle horaire que les paramètres de température et d'humidité, ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 559 ppm sur la période de mesure, les réglés varient entre 488 ppm et 654 ppm (entre 5h et 23h). Tous les réglés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, seuil à respecter dans des conditions normales d'occupation d'un bâtiment non résidentiel<sup>7</sup>.

Le profil journalier des niveaux de CO<sub>2</sub> (jours ouverts hors jours de grève) en gare de Champ de Mars, 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 Champ de Mars (jours ouverts)

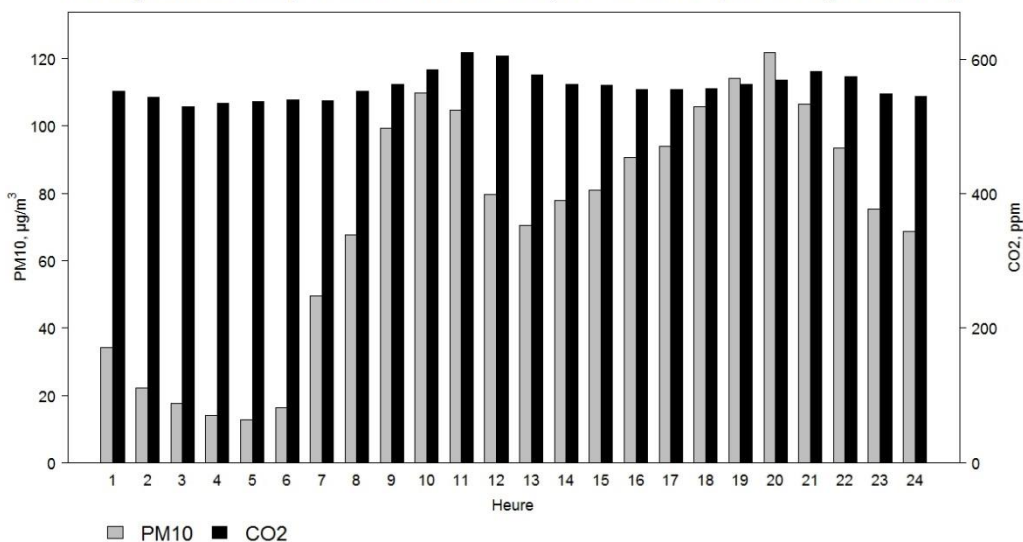


Figure 22 – Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018 – jours ouverts hors grèves.

<sup>7</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.

Les variations des concentrations de CO<sub>2</sub> sont en moyenne faibles dans la gare de Champ de Mars. 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 sont observées pour le CO<sub>2</sub> avec un décalage d'une heure le matin et le soir par rapport aux teneurs maximales en particules. La corrélation entre les teneurs en CO<sub>2</sub> et les PM<sub>10</sub> est plus faible à Champ de Mars (0,38) qu'à Avenue Foch (0,50), le confinement de la gare étant plus important en gare d'Avenue Foch, et donc favorisant une évolution similaire des PM<sub>10</sub> et du CO<sub>2</sub>.

### 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 Champ de Mars 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 Avenue Foch et Magenta) : la gare de Champ de Mars est plus fréquentée qu'Avenue Foch (21 880 voyageurs par jour montant contre 1 823 à Avenue Foch, source interne SNCF : carte des montants 2016) et les concentrations en particules y sont plus faibles. Pareillement, la gare de Magenta est plus fréquentée qu'Avenue Foch (78 212 voyageurs montants par jour), mais les teneurs en particules y sont moindres.

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

En moyenne, les jours ouvrés, 432 trains circulent en gare de Champ de Mars (contre 170 en gare d'Avenue Foch et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 352 trains qui circulent en moyenne en gare de Champ de Mars (143 à Avenue Foch et 407 à Magenta) et 317 trains le dimanche (145 à Avenue Foch et 407 à Magenta). Les chiffres, pour la gare de Champ de Mars, sont présentés en Figure 23 à l'échelle horaire.

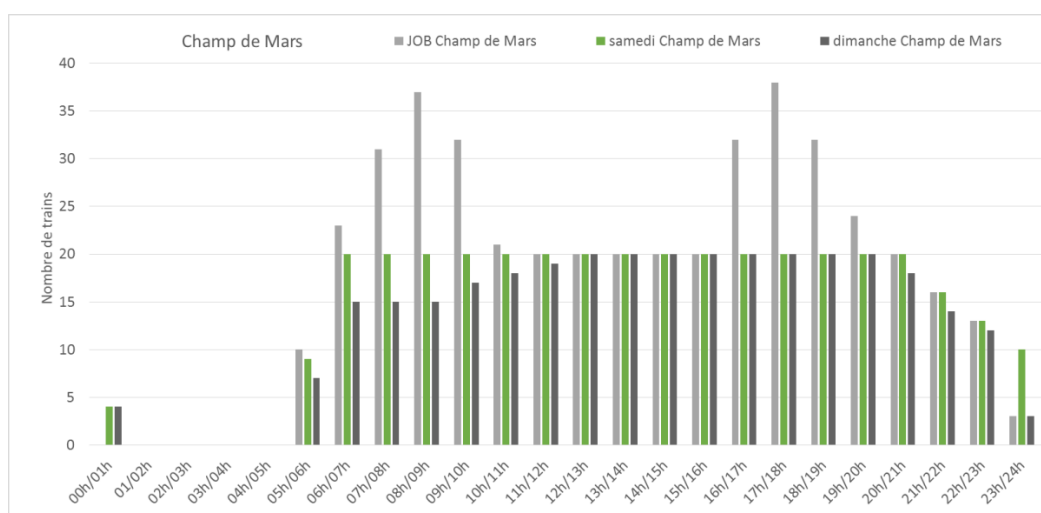


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Champ de Mars (jours ouvrés hors jours de grève).

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 (hors jours de grève), pour la gare de Champ de Mars. Le profil des teneurs en particules PM<sub>10</sub> est corrélé au nombre de trains en circulation, avec un décalage de 1 heure.

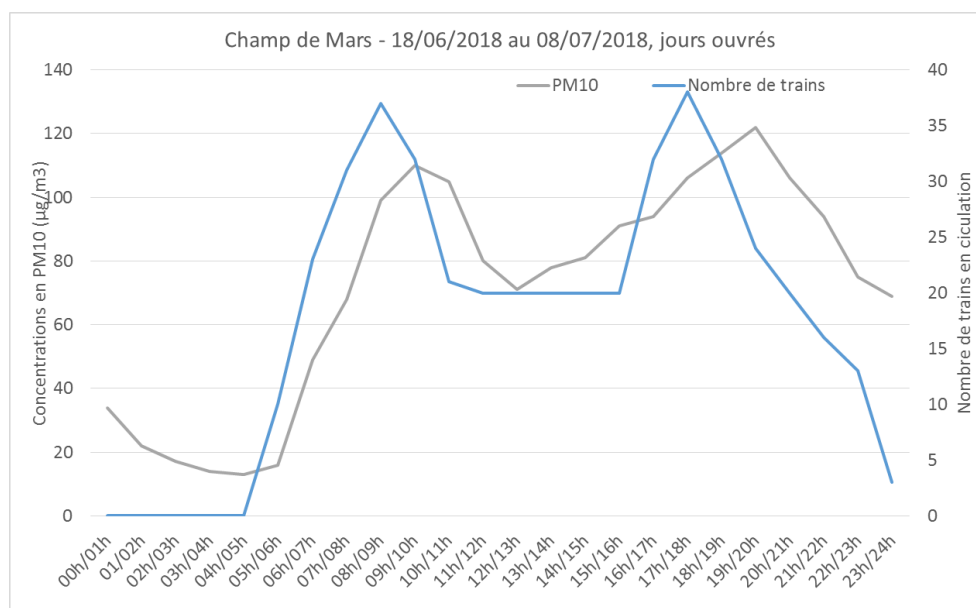


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM<sub>10</sub> observées les jours ouvrés (hors jours de grève) et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018.

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.

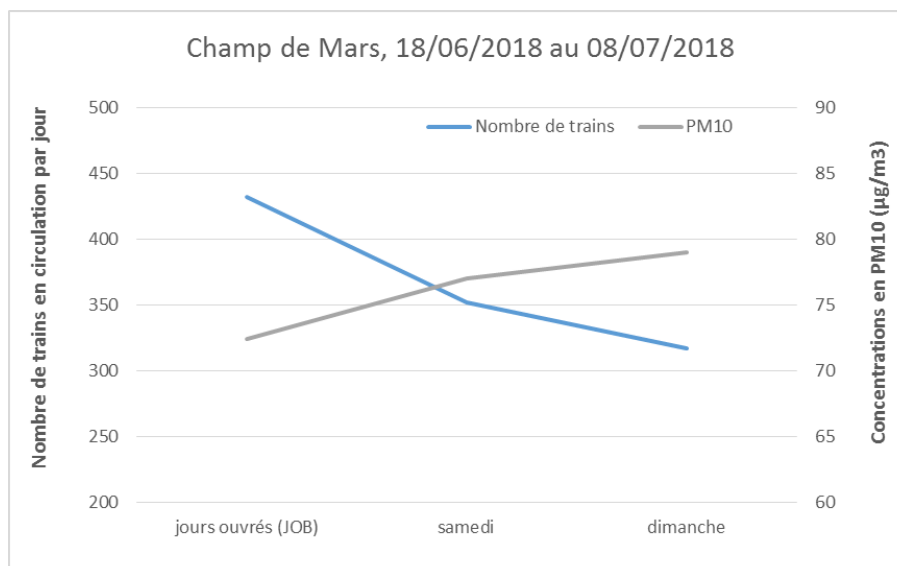


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM<sub>10</sub> observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche (hors jours de grève), à la gare RER C de Champ de Mars, période du 18/06 au 08/07/2018.

En gare de Champ de Mars, la diminution du nombre de trains en circulation le week-end ne se traduit pas par une diminution des concentrations moyennes de PM<sub>10</sub>, contrairement à ce qui est habituellement observé dans les gares souterraines. Cela peut s'expliquer par l'influence de l'air extérieur en gare de Champ de Mars, gare ouverte sur l'extérieur, dans la mesure où, lors des weekends de la campagne, les niveaux extérieurs ont été parfois plus élevés qu'en semaine, notamment le dernier weekend. Par ailleurs, si la fréquence des trains est moins importante le week-

end, il est possible que la fréquentation des voyageurs soit plus importante, en raison de la proximité de la Tour Eiffel.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur ou encore les paramètres techniques de la gare de Champ de Mars a été étudiée.

- **Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules** sur le quai, d'où des maxima observés aux heures de pointe en semaine. L'influence du nombre de trains est visible au niveau journalier mais pas à un niveau hebdomadaire (semaine/weekend) : les concentrations ne diminuent pas le weekend lorsque moins de trains circulent.
- L'air extérieur influence suffisamment les niveaux à quai de Champ de Mars pour pouvoir observer une tendance similaire entre les concentrations aux stations de fond d'Airparif et les concentrations sur les quais. C'est ce facteur qui joue le plus à l'échelle hebdomadaire.

La gare ne dispose pas de ventilation mécanique, celle-ci ne peut donc avoir d'influence sur les teneurs observées sur le quai.

## 4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Champ de Mars, pour les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> :

- La teneur en particules fines PM<sub>10</sub> mesurée sur les quais du RER C en gare de Champ de Mars au cours des mois de juin/juillet 2018 (hors jours de grève) était en moyenne de 74 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 198 µg/m<sup>3</sup> (enregistré lors de pointe du matin le 2 juillet).
- Le niveau moyen en particules très fines PM<sub>2,5</sub> atteint 27 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 62 µg/m<sup>3</sup> enregistré au même moment que pour les PM<sub>10</sub>.

Les concentrations en particules PM<sub>10</sub> à la gare de Champ de Mars sont en moyenne 2 fois inférieures à celles enregistrées sur la même période à la station de référence d'Avenue Foch (RER C, station ventilée naturellement). Elles sont par ailleurs comparable en dynamique et supérieures en moyenne (+8%) à celles mesurées en gare de Magenta.

Les concentrations en PM<sub>2,5</sub> en gare de Champ de Mars sont de même près de 2,7 fois inférieures à celles enregistrées à Avenue Foch, et similaires 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 95 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion l'Aluminium et le Cuivre (1,4%), le Zinc et le Manganèse (0,9%), et le Chrome (0,4%). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare d'Avenue Foch, excepté pour l'Aluminium (1%) et le Cuivre (0,7%).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation d'une part (au niveau journalier mais pas hebdomadaire), et les concentrations en particules dans l'air extérieur d'autre part (influence visible au niveau hebdomadaire). 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 Champ de Mars sont des paramètres favorisant l'évacuation de la pollution aux particules.

Ce rapport concerne les résultats de la quatorzième 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 CHAMP DE MARS**

#### **Configuration de la gare :**

Pas de portes palières, 2 voies, 2 quais, correspondance métro ligne 6.

**Ventilation** : Naturelle

#### **Fréquentation de la gare :**

Nombre de voyageurs montants /jour :  
21 880 (source SNCF, carte des montants 2016)

#### **Caractéristiques du matériel roulant :**

Matériel : type RER

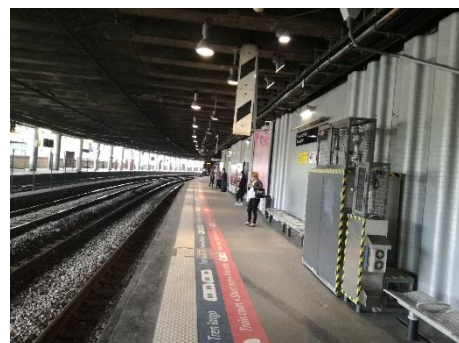
Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

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

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer



#### **Conditions de circulation pendant la campagne :**

Un mouvement social a perturbé la circulation des trains entre avril et juin 2018. Les jours de grève (alternance de 2 jours de grève et de 3 jours de circulation normale) pendant la campagne de mesure ont été les suivants :

18, 22, 23 27 et 28 juin (dont seul le 23 juin était un jour de weekend).

## 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>8</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 l'Avenue Foch.

### 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>9</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>5</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).

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>8</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.

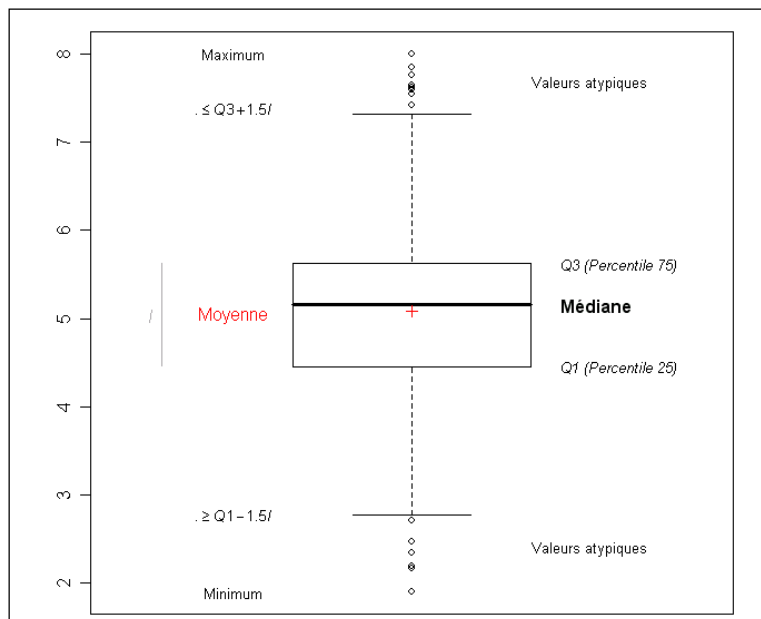
<sup>9</sup> Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>



## ANNEXE 3 : BOITE A MOUSTACHE

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

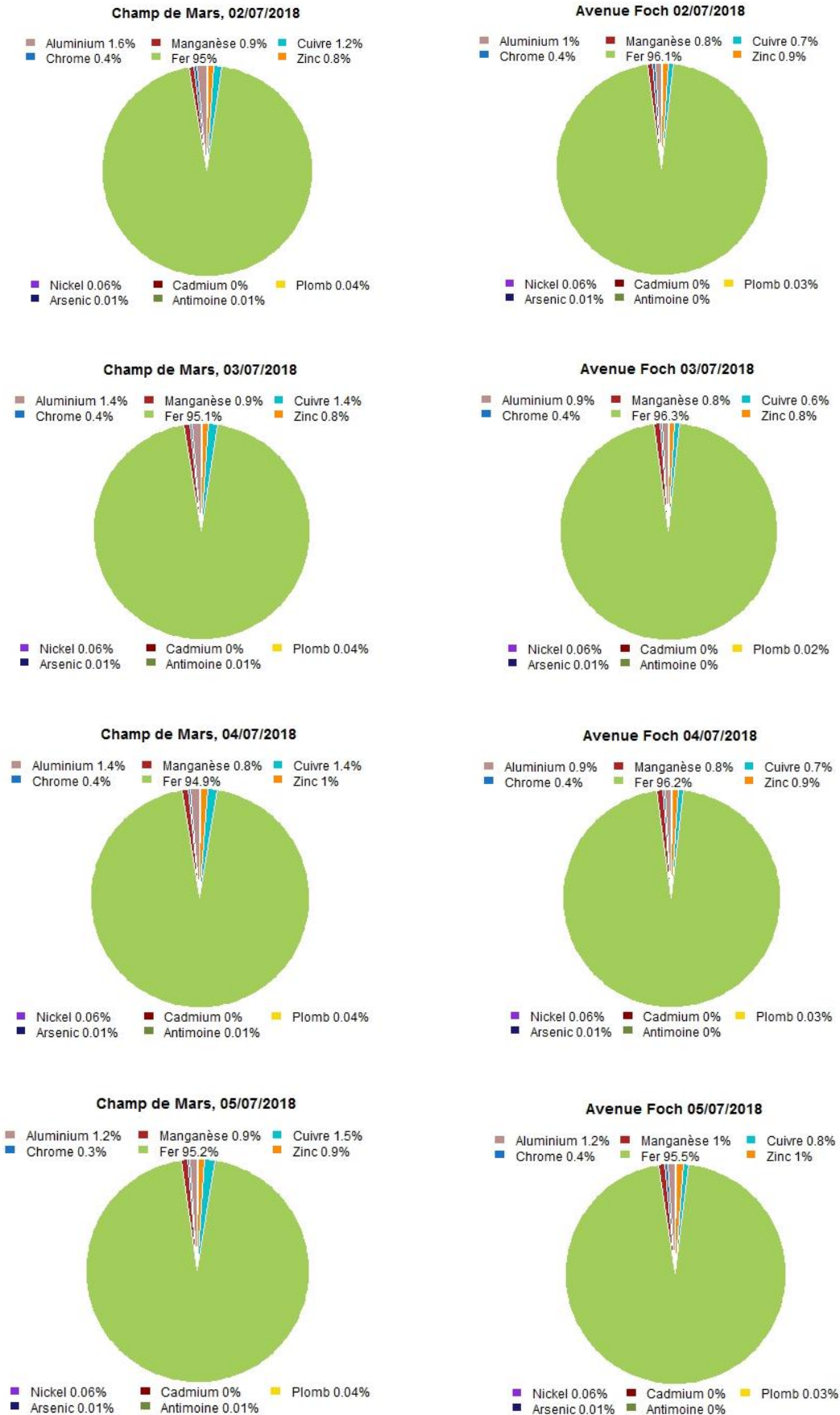
Une boîte à moustache (ou box plot) est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Pour ce faire, l'échantillon est séparé en 4 parties de même effectif, appelées quartiles. Un quartile est donc constitué de 25 % des données de l'ensemble de l'échantillon. Le deuxième quartile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



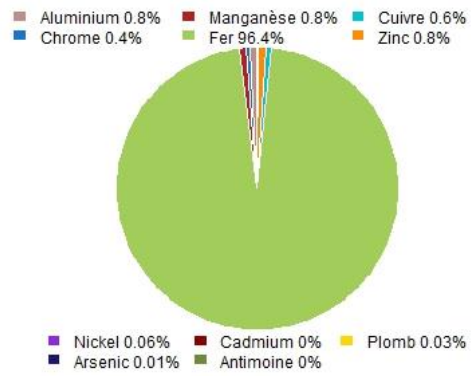
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près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



**Avenue Foch 06/07/2018**



## ANNEXE 5 :

### RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE, CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM, ALUMINIUM ET PLOMB A LA GARE RER C DE CHAMP DE MARS ET A AVENUE FOCH, PERIODE DU 16/04/2017 AU 21/04/2017.

