



# Mesures de la qualité de l'air intérieur sur les quais du RER C en gare SNCF de Pont de l'Alma

DU 7 AU 28 JUIN 2021





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 PONT DE L'ALMA – Juin 2021

Septembre 2021

« 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 **07/06/2021 au 28/06/2021** en gare de **Pont de l'Alma (RER C)**. 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 PM<sub>10</sub> mesurées sur les quais du RER C en gare de Pont de l'Alma au cours du mois de juin 2021 étaient en moyenne de 80 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 278 µg/m<sup>3</sup>, atteint le 17 juillet entre 4 et 5h, lors de la fermeture de la gare aux usagers, probablement en lien avec des travaux nocturnes.

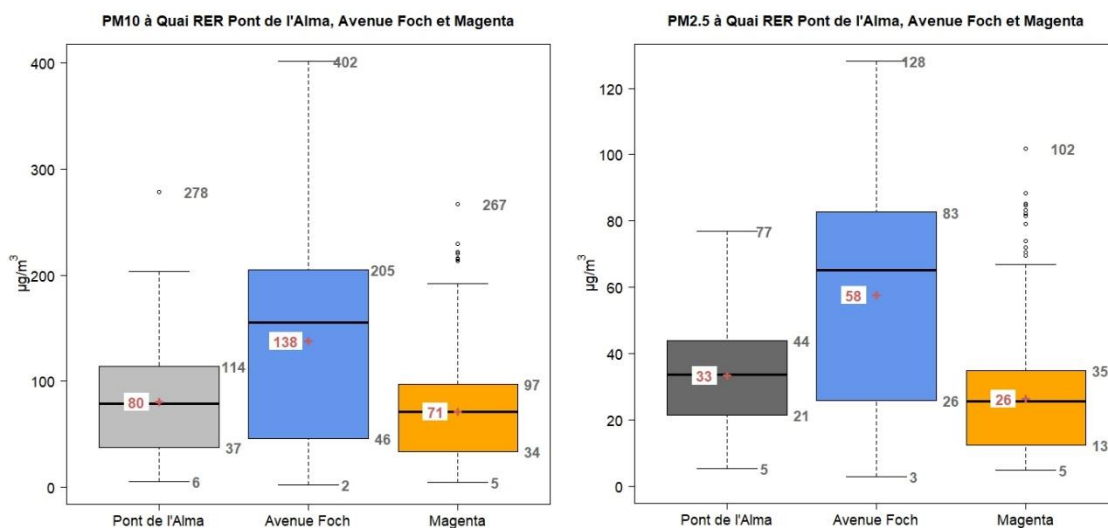


Les niveaux moyens en particules PM<sub>2.5</sub> atteignent 33 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 77 µg/m<sup>3</sup>.

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

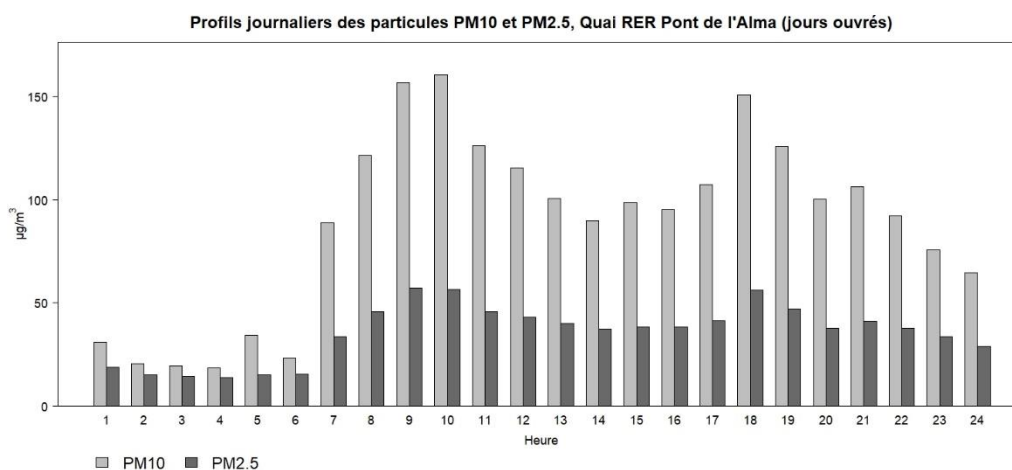
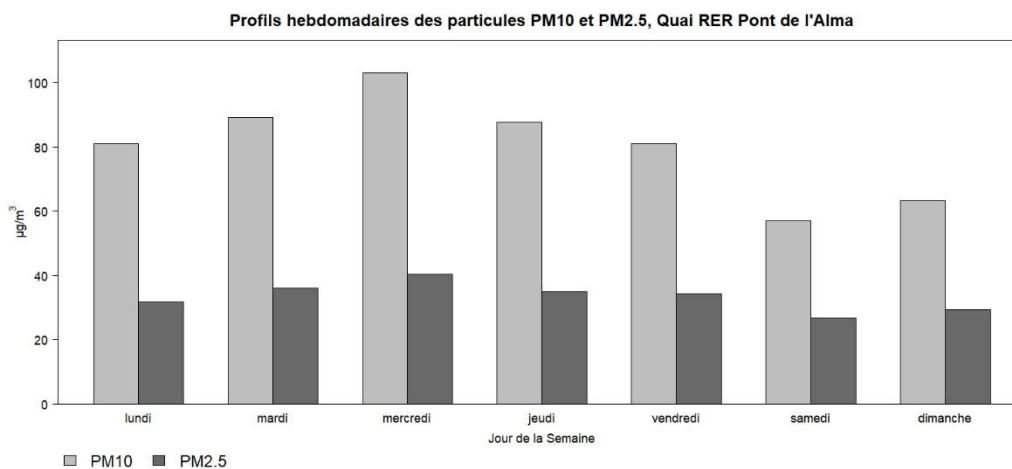
Les niveaux moyens en PM<sub>10</sub> sont inférieurs de 42 % à ceux de la station d'Avenue Foch (138 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période), et supérieurs de 13 % à ceux de la station Magenta (71 µg/m<sup>3</sup> enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en PM<sub>2.5</sub> à la gare de Pont de l'Alma (33 µg/m<sup>3</sup>) sont inférieurs de 43 % à ceux enregistrés à la station Avenue Foch (58 µg/m<sup>3</sup>), et proches de ceux de la station Magenta (26 µg/m<sup>3</sup>).



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

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs les jours ouvrés plus élevées que le weekend, ceci pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> (+32 % et +20 %). Ces profils sont également observés dans les gares de référence (Avenue Foch et Magenta).

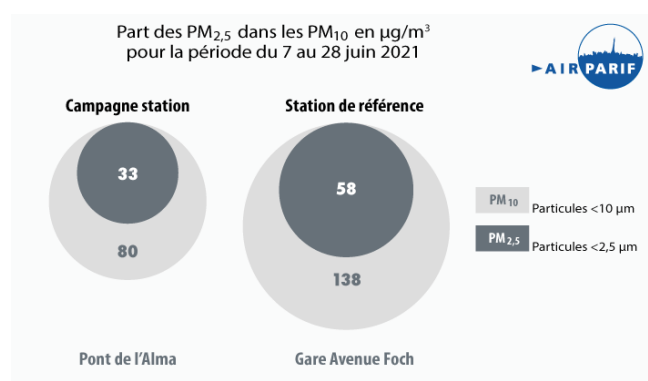


Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Pont de l'Alma, les niveaux nocturnes (entre 1h et 6h) sont les plus faibles, avec en moyenne 24 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>10</sub> et 15 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub>. Les concentrations sont maximales le matin entre 8 et 10h et en soirée entre 18 et 21h. Les concentrations sont alors de 132 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur les heures de pointes en PM<sub>10</sub> et 49 µg/m<sup>3</sup> en PM<sub>2.5</sub>. Ce profil est également observé dans les gares de référence.

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

## 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 Pont de l'Alma est en moyenne de 0,5 ; il est ainsi comparable à celui d'Avenue Foch (0,52) et supérieur à celui de Magenta (0,41). 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<sub>10</sub> dues à l'activité de la gare diminuent fortement.



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

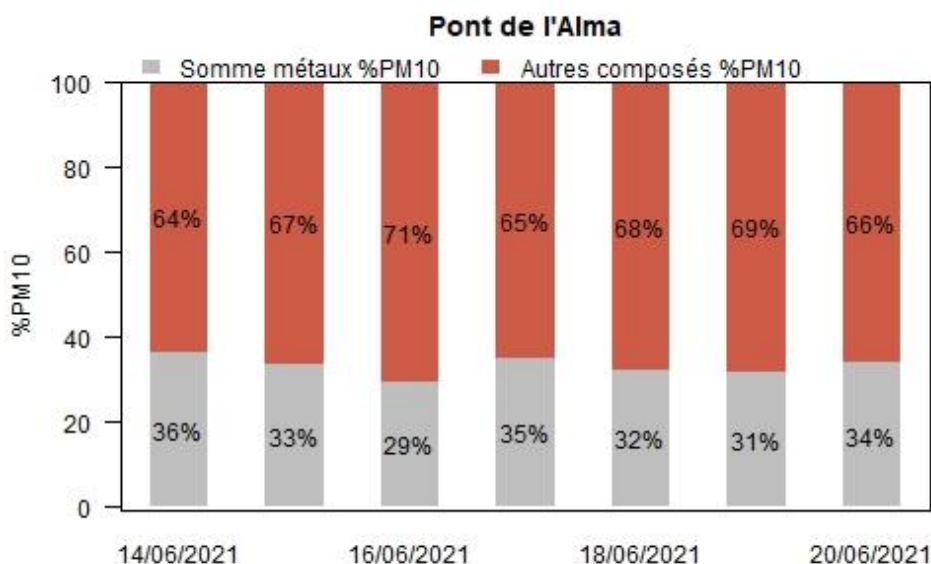
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM<sub>10</sub> varie de 29 à 36 % sur la semaine de mesure (14/06 au 20/06/2021) en gare de Pont de l'Alma. Sur la même période, la part des métaux en gare d'Avenue Foch varie entre 36 à 45 %. La part des métaux est plus faible en gare de Pont de l'Alma, probablement 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 93,1 % des métaux mesurés à Pont de l'Alma et 94,3 % à Avenue Foch. Suivent ensuite le **Baryum** (3,6 %), le **Cuivre** (1,4 %), le **Manganèse** (0,8 %), le **Zinc** (0,7 %) et le **Chrome** (0,3 %). Les proportions sont similaires à Avenue Foch. 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 ?

Les part des métaux varient très peu au cours de la semaine, avec le maximum mesuré le lundi (36 %) et le minimum le mercredi (29 %).



# SOMMAIRE

SYNTHESE .....	4
SOMMAIRE .....	7
GLOSSAIRE .....	8
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS .....	9
1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE.....	11
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	11
1.2 PERIODE DE MESURE.....	12
2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE .....	13
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI .....	13
2.1.1. PARTICULES PM <sub>10</sub> .....	14
2.1.2. PARTICULES PM <sub>2.5</sub> .....	15
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE .....	16
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE .....	16
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE .....	18
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE .....	19
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES.....	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 .....	27
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 .....	31
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE .....	32
4. CONCLUSION .....	34

**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. Un guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines a toutefois été publié par l'INERIS en Novembre 2020<sup>2</sup>.

**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 ont été, 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), Baryum (Ba) et Chrome (Cr). Le Baryum a remplacé l'aluminium dans l'analyse des métaux pour cette campagne conformément aux recommandations concernant la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines<sup>2</sup>. 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>3</sup>. La gare RER C Pont de l'Alma a été fermée durant deux ans et demi pour travaux (mise en accessibilité), et a été rouverte en septembre 2019. Les mesures ont pu être réalisées en 2021.

En parallèle, trois stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2022) : la station Magenta (RER E) et Sevrans-Beaudottes (RER B), gérées 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 stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM<sub>10</sub>) et très fines (PM<sub>2.5</sub>). A la station Avenue Foch sont mesurés également les oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>). Des relevés réguliers de métaux y sont également réalisés. Ces trois stations de référence ont été choisies pour leurs caractéristiques différentes : Magenta est une station récente, avec une ventilation contrôlée, alors que les gares Avenue Foch et Sevrans-Beaudottes sont plus anciennes, sans ventilation mécanique.

**C'est dans le cadre de ce programme qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de Pont de l'Alma en juin 2021, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.**

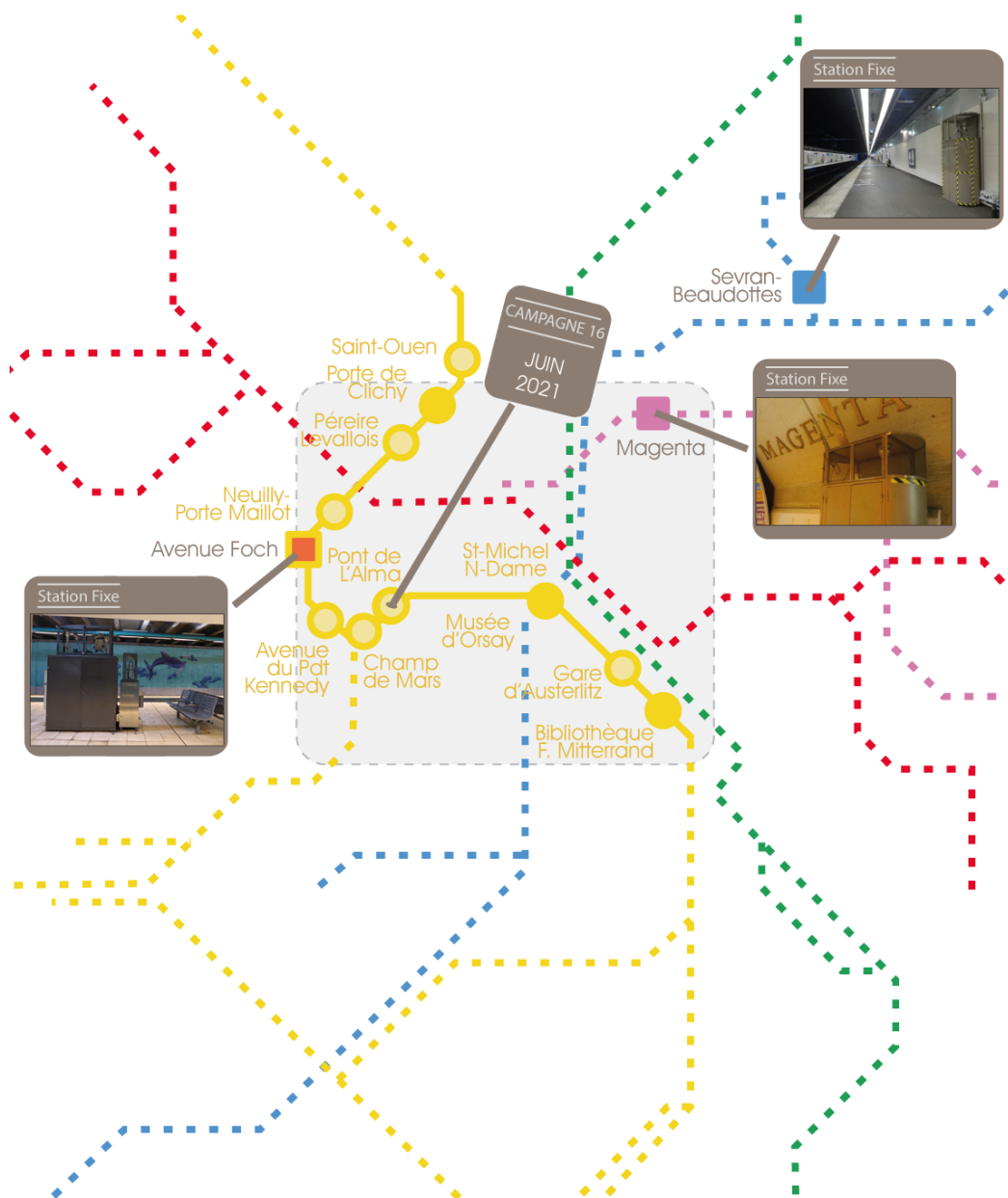
---

<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> <https://www.ineris.fr/fr/recommandations-realisation-mesures-harmonisees-qualite-air-enceintes-ferroviaires-souterraines>

<sup>3</sup> AEF : Agence Essais Ferroviaires, Laboratoire d'Essais de la SNCF.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Pont de l'Alma), ainsi que celle des trois stations permanentes (Magenta, Avenue Foch et Sevrans-Beaudottes).



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 trois stations fixes (Magenta, Avenue Foch et Sevrans-Beaudottes)

# 1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

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

La gare de Pont de l'Alma, sur le RER C (branche centrale dans Paris), est concernée par le programme de partenariat. Elle est située Place de la Résistance, dans le 7<sup>ème</sup> arrondissement de Paris (75007).

Cette gare n'a pas de correspondance. **Cette gare RER est souterraine**, avec deux quais, dont un avec des ouvertures à une extrémité, donnant sur le Port de la Bourdonnais. **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 Pont de l'Alma (RER C) est de 1 011 par jour (source SNCF : carte des montants 2017).

Le nombre de trains moyen circulant par jour en gare de Pont de l'Alma (2 sens confondus) est de 319 (jours ouvrés et week-end confondus).

La station de mesure a été installée sur la voie 1, en direction des Invalides (Sud). Le point bleu sur la figure ci-dessous désigne l'emplacement de la station sur le quai.

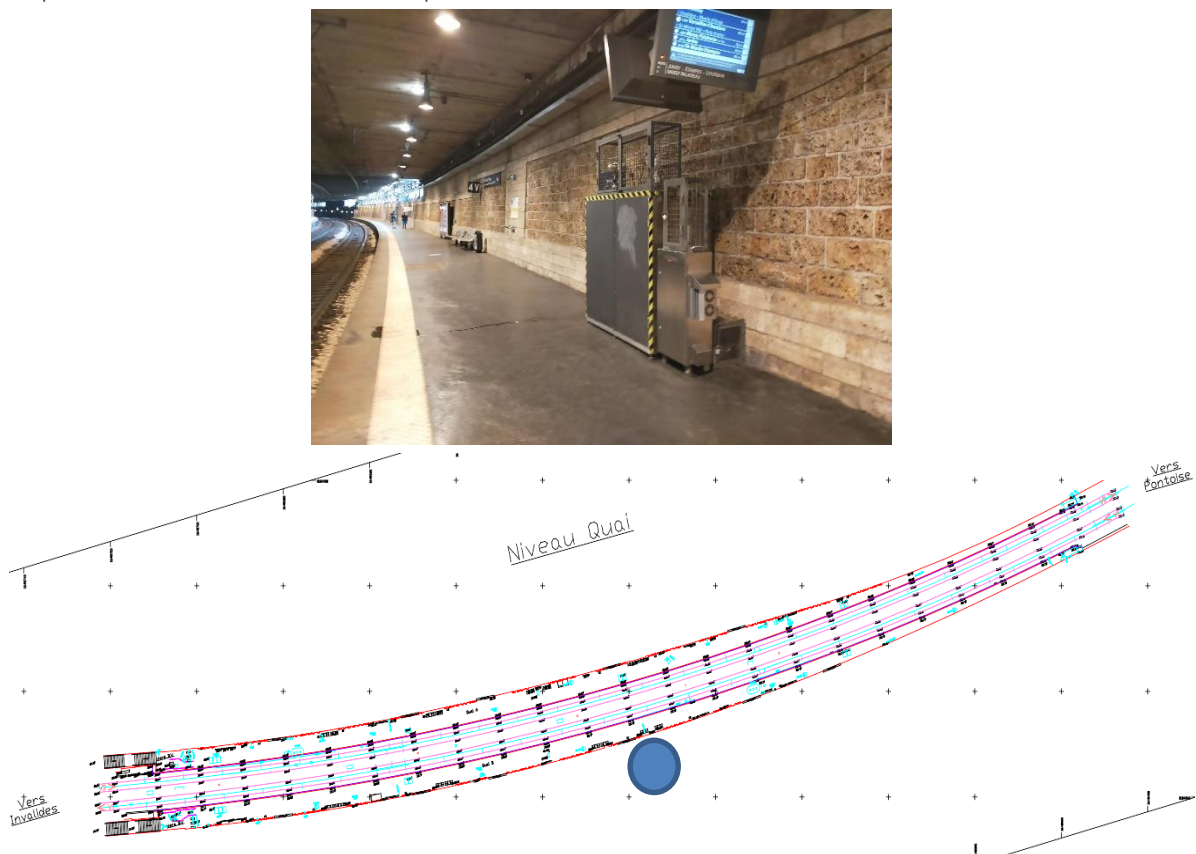


Figure 2 – Photo de la station de mesure (quai de la gare de Pont de l'Alma, ligne RER C) et plan de la gare.

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

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

## 1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de pollution atmosphérique à la gare de Pont de l'Alma ont été réalisées pendant 3 semaines, du **07/06/2021 au 28/06/2021**. 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 14/06/2021 pour une semaine.

## 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 Pont de l'Alma sont comparés aux observations des stations de référence Magenta et Avenue Foch, pendant la même période de mesure – du 7 au 28 juin 2021. La comparaison avec la station Sevrans-Beaudottes n'a pas été réalisée dans ce rapport, en cohérence avec les autres rapports précédemment rédigés.

### 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 Pont de l'Alma et les gares de référence, sur l'ensemble de la période de mesure (07/06 - 28/06/2021).

Statistiques ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	PM <sub>10</sub> (particules fines)			PM <sub>2.5</sub> (particules très fines)		
	Pont de l'Alma	Avenue Foch	Magenta	Pont de l'Alma	Avenue Foch	Magenta
Minimum horaire	6	2	5	5	3	5
Percentile 25 (P25)	37	46	34	21	26	13
Médiane ou Percentile 50	79	156	71	34	65	26
Moyenne	<b>80</b>	<b>138</b>	<b>71</b>	<b>33</b>	<b>58</b>	<b>26</b>
Percentile 75 (P75)	114	205	97	44	83	35
Maximum horaire	278	402	267	77	128	102
% de données horaires valides	100	96	99	100	96	99

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare RER C de Pont de l'Alma et aux gares de référence Magenta et Avenue Foch, période du 07/06 au 28/06/2021.

Le niveau moyen en PM<sub>10</sub> relevé en gare de Pont de l'Alma est inférieur à celui de la gare d'Avenue Foch mais supérieur à celui de la gare de Magenta. Le niveau moyen est inférieur de 42 % en gare de Pont de l'Alma qu'en gare d'Avenue Foch. Le maximum horaire est plus élevé en gare de Pont de l'Alma qu'en gare de Magenta (278  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  contre 267  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ), mais inférieur au maximum horaire relevé en gare RER C Avenue Foch (402  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

Le niveau moyen pour les PM<sub>2.5</sub> à la Gare RER C Pont de l'Alma est plus faible que celui de la gare d'Avenue Foch (de 43 %) et supérieur à celui de la gare de Magenta. La concentration maximale est plus faible en gare Pont de l'Alma (77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) aussi bien par rapport à la gare de Magenta (102  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) qu'à la gare d'Avenue Foch (128  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

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

La variabilité des concentrations en PM<sub>10</sub> à la Gare RER C de Pont de l'Alma est présentée à la Figure 3.

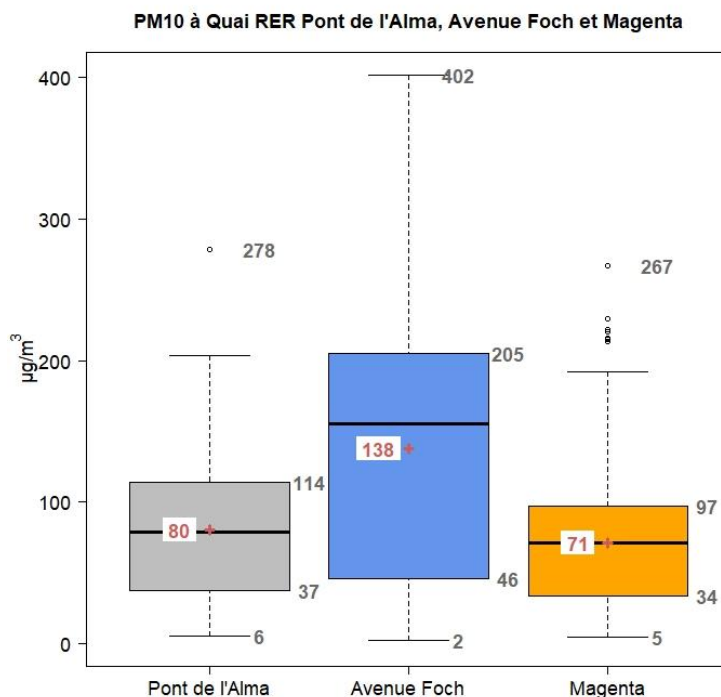


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup>, à la Gare RER C de Pont de l'Alma et aux stations de référence Magenta et Avenue Foch, période du 07/06 au 28/06/2021.

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 Pont de l'Alma 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 Pont de l'Alma sont comprises entre 37 et 114 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 80 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 79 µg/m<sup>3</sup>.

Les niveaux mesurés à la gare Pont de l'Alma sont nettement inférieurs à ceux d'Avenue Foch : 80 µg/m<sup>3</sup> contre 138 µg/m<sup>3</sup> en moyenne, soit 42 % de moins. Les niveaux mesurés en gare de Magenta sont inférieurs de 13 % à ceux de Pont de l'Alma, avec une moyenne de 71 µg/m<sup>3</sup>. Le maximum horaire rencontré en gare de Pont de l'Alma (278 µg/m<sup>3</sup>, enregistré la nuit entre 4h et 5h, probablement durant des travaux nocturnes) est également supérieur à celui rencontré en gare de Magenta (267 µg/m<sup>3</sup>).

<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.

## 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 Pont de l'Alma est présentée Figure 4.

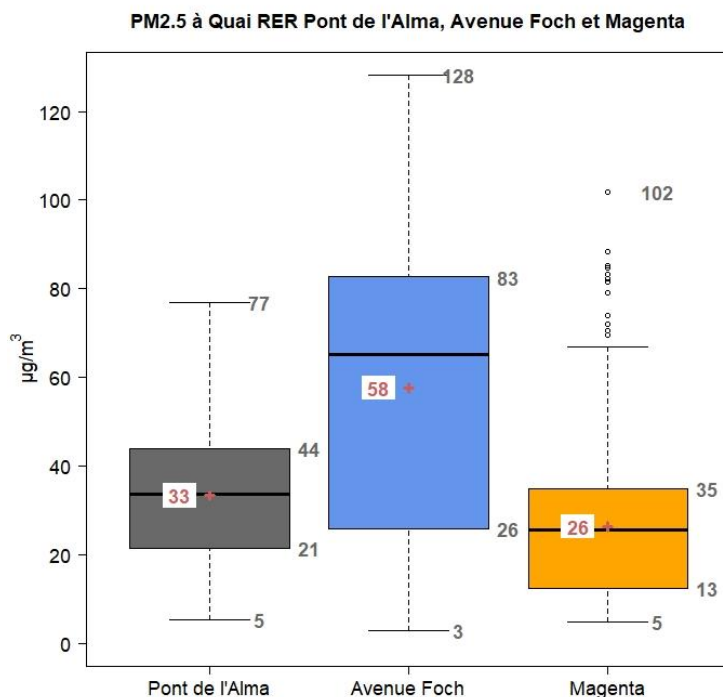


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> à la Gare RER C de Pont de l'Alma et aux stations de référence Magenta et Avenue Foch, période du 07/06 au 28/06/2021.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM<sub>2.5</sub> en Gare RER C de Pont de l'Alma montre une répartition « équilibrée » des mesures<sup>5</sup>. Sur l'ensemble de la campagne, 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C Pont de l'Alma sont comprises entre 21 et 44 µg/m<sup>3</sup>, pour une moyenne de 33 µg/m<sup>3</sup> et une médiane à 34 µg/m<sup>3</sup>.

Comme pour les PM<sub>10</sub>, les niveaux en gare de Pont de l'Alma sont plus faibles que ceux d'Avenue Foch, mais supérieurs à ceux de Magenta, (de 43 % et 22 % respectivement).

La teneur moyenne relevée en particules PM<sub>10</sub> sur les quais de la gare RER C de Pont de l'Alma pendant la campagne est de 80 µg/m<sup>3</sup> pour les particules PM<sub>10</sub> et 33 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>), calculés sur l'ensemble de la période sont nettement inférieurs à ceux de la gare Avenue Foch et légèrement supérieurs à ceux de la gare Magenta.**

<sup>5</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.

## 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.

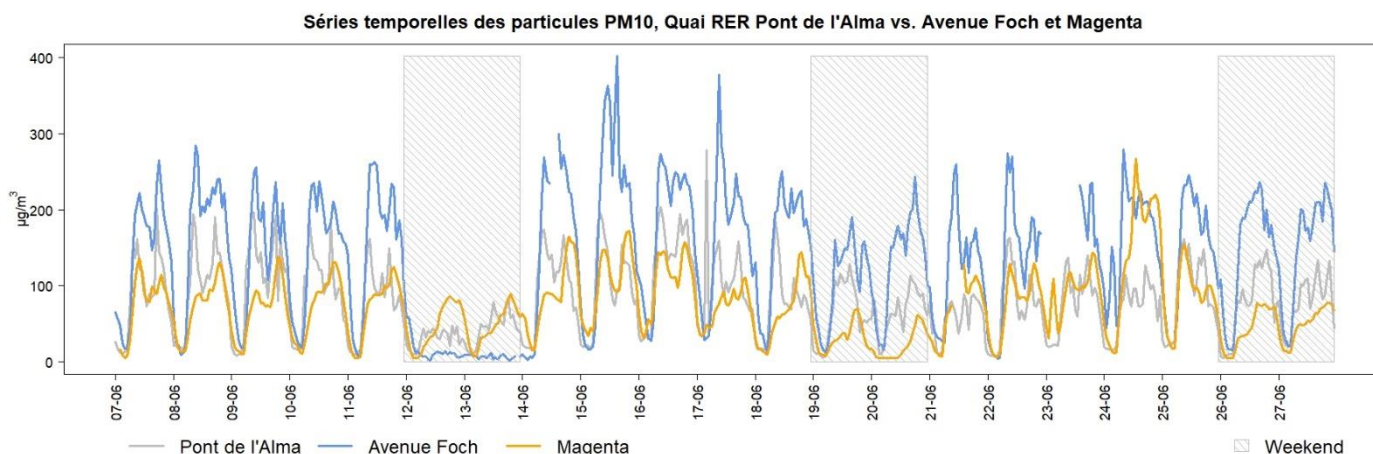


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>10</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Pont de l'Alma et gares de référence Avenue Foch et Magenta, période du 07/06 au 28/06/2021).

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 Pont de l'Alma, les teneurs peuvent dépasser les 100 µg/m<sup>3</sup> en journée, alors que la nuit, les niveaux peuvent atteindre une dizaine de µg/m<sup>3</sup>. Les niveaux de nuit sont globalement homogènes entre les trois gares. Les concentrations relevées en gare RER C Avenue Foch le 12 et 13 juin sont très faibles du fait de l'absence de circulation entre les gares d'Invalides et Pontoise pour cause de travaux.

On notera toutefois un pic de concentration en particules PM<sub>10</sub> (278 µg/m<sup>3</sup>) à la gare Pont de l'Alma le 17/06 entre 4h et 5h, probablement lors du passage d'un train travaux (nombreux travaux sur la ligne en soirée du 14 au 20 juin). 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.



## 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.

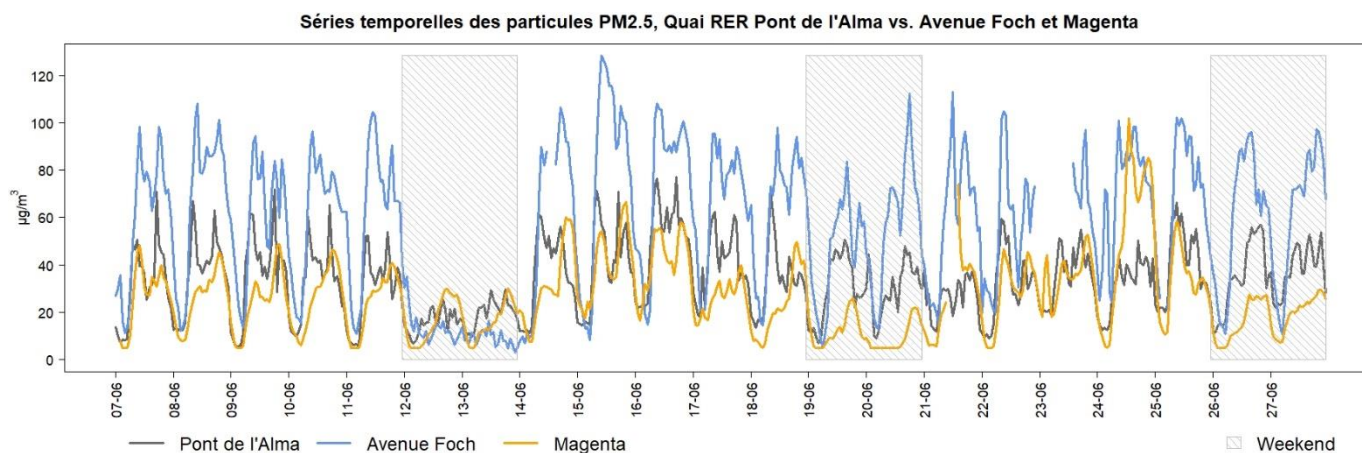
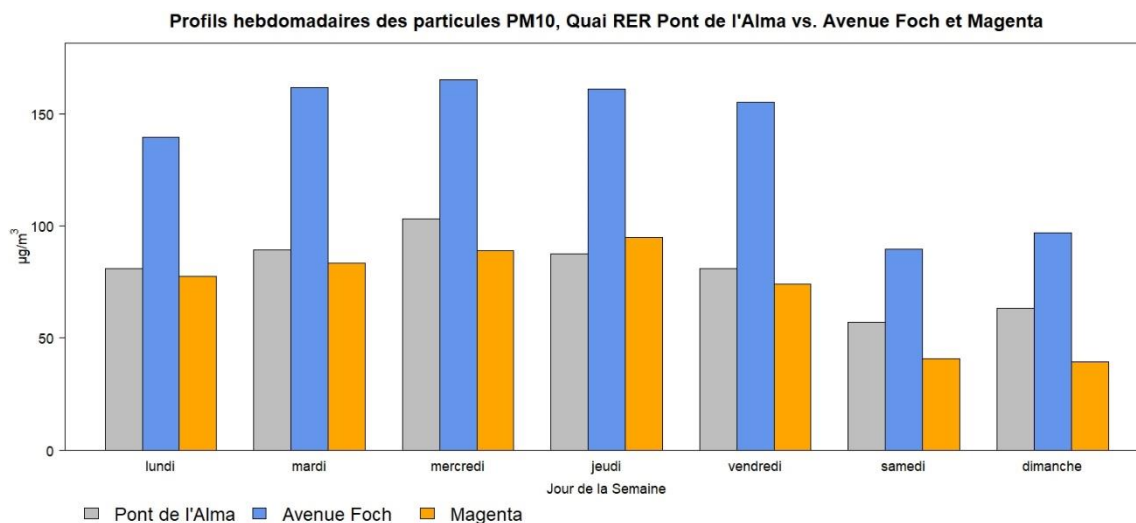


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM<sub>2.5</sub>, en µg/m<sup>3</sup> (gare RER C de Pont de l'Alma, période du 07/06 au 28/06/2021).

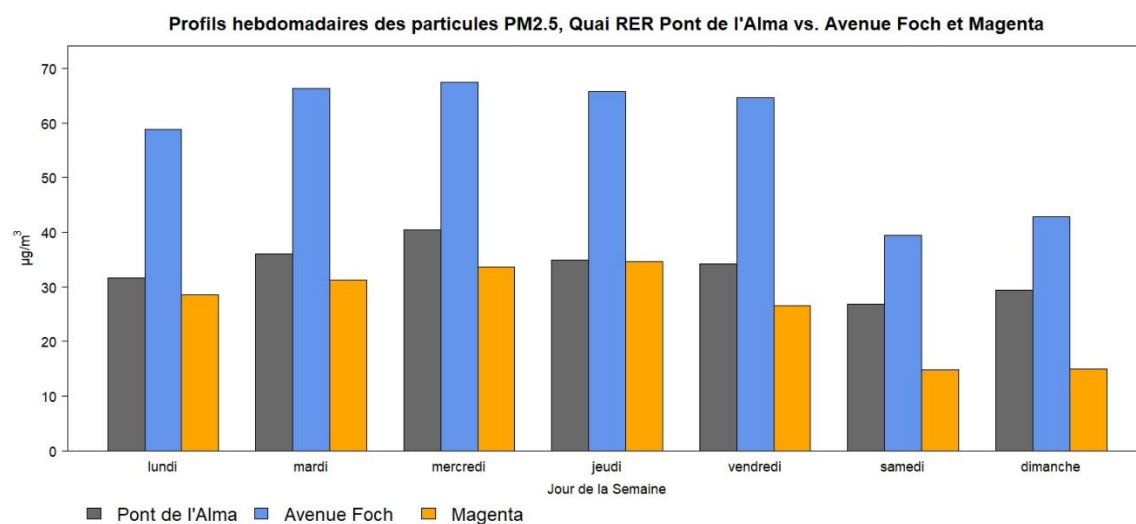
Ce graphique montre, comme pour les PM<sub>10</sub>, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par le nombre de trains en circulation : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et la remise en suspension de ces particules, phénomènes non 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> peuvent dépasser les 50 µg/m<sup>3</sup>, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m<sup>3</sup>. Comme pour les PM<sub>10</sub>, les teneurs de PM<sub>2.5</sub> les 12 et 13 juin sont très faibles du fait de l'absence de circulation entre les gares d'Invalides et Pontoise pour cause de travaux.

## 2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Pont de l'Alma 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 RER C Pont de l'Alma 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 Pont de l'Alma, période du 07/06 au 28/06/2021, et comparaison avec les résultats d'Avenue Foch et Magenta.

Les niveaux moyens en particules PM<sub>10</sub> sont de 88 µg/m<sup>3</sup> sur une journée ouvrée et ceux en PM<sub>2.5</sub> s'élèvent à 35 µg/m<sup>3</sup>. Comme sur les autres gares, les niveaux diminuent le weekend, de l'ordre de 32 et 20 % respectivement pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> en gare de Pont de l'Alma. En gare d'Avenue Foch, les diminutions sont respectivement de 40 et 37%, et elles sont de 52 % pour les PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> à Magenta.

## 2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 8, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée, jours ouvrés uniquement.

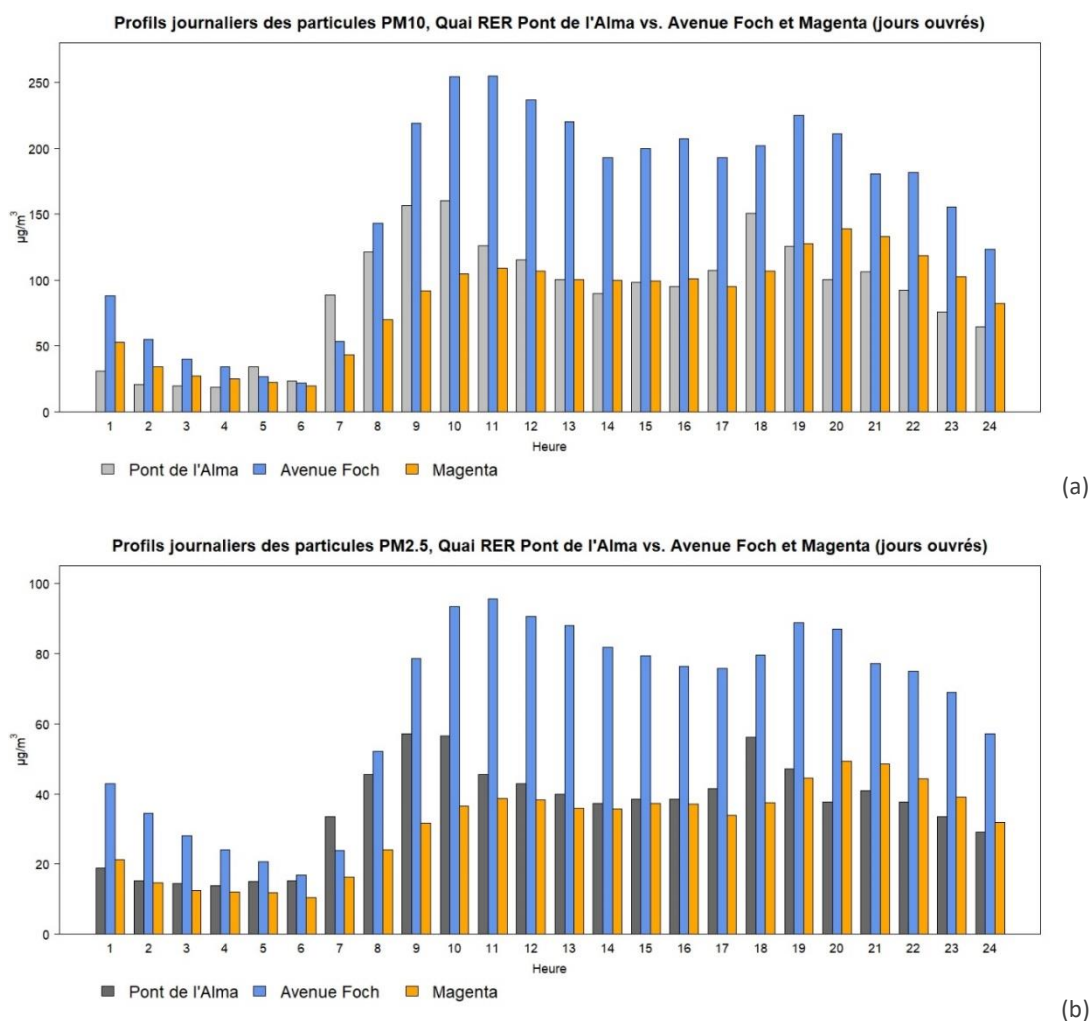


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM<sub>10</sub> (a) et PM<sub>2.5</sub> (b) à la gare RER C de Pont de l'Alma, période du 07/06 au 28/06/2021 et comparaison avec les résultats des stations de référence.

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-10h) et le soir (entre 18h-21h). Sur ces plages horaires, les niveaux sont en moyenne de 132 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>10</sub> et 49 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> en gare de Pont de l'Alma. Les heures de pointe à la gare d'Avenue Foch ont lieu approximativement aux mêmes heures (9h-11h et 18h-20h) que pour la gare Pont de l'Alma. Aux heures de pointe, la moyenne des concentrations horaires enregistrées en gare RER C Pont de l'Alma est inférieure de 42 % et 44 % 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 : 22 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et environ 15 µg/m<sup>3</sup> pour les PM<sub>2.5</sub> en gare Pont de l'Alma.

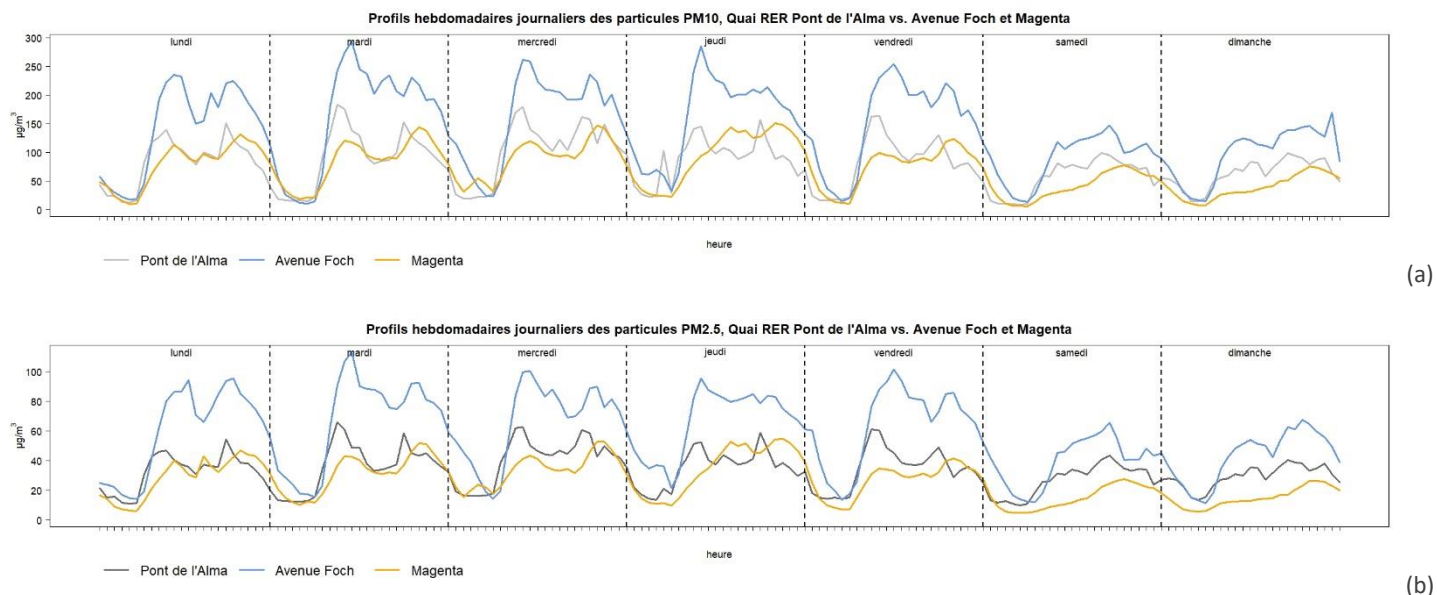
Ces profils journaliers en particules (PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub>) fluctuent en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire et la fréquentation sont également maximales (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC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

Le profil journalier en PM<sub>2.5</sub> présente des variations horaires moindres (écart type de 16 µg/m<sup>3</sup> sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM<sub>10</sub> (écart type de 50 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 Pont de l'Alma qu'aux stations de référence.



Les variations montrent d'une part les fluctuations les jours ouvrés (niveaux les plus faibles la nuit, puis hausse des teneurs en journée avec les maxima entre 8-10h et 18-21h) et des niveaux globalement plus faibles et moins dynamiques (augmentation régulière le long de la journée, maximum le soir) le week-end que les jours ouvrés.

Les niveaux en gare de Pont de l'Alma sont légèrement supérieurs à ceux de Magenta, principalement lors des heures de pointe.

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).

**A l'échelle hebdomadaire**, les profils montrent des teneurs le week-end en baisse par rapport à ceux des jours ouvrés (respectivement -32 et -20 % pour les PM<sub>10</sub> et les PM<sub>2.5</sub> en gare de Pont de l'Alma). Cette diminution est également observée dans les gares de référence d'Avenue Foch et Magenta.

**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 10h le matin et entre 18h et 21h le soir en gare de Pont de l'Alma. Lors de ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent 132 µg/m<sup>3</sup> en moyenne pour les PM<sub>10</sub>, et 49 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 ferroviaires souterraines, provenant notamment des systèmes de freinage<sup>6</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 Pont de l'Alma chaque jour pendant une semaine (du 14 au 20 avril). 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 : **Baryum**, Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément au « guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines » de l'INERIS. Il s'agit de la première campagne de mesures concernant le Baryum dans le cadre de ce programme.

### 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 RER C Pont de l'Alma et Avenue Foch.

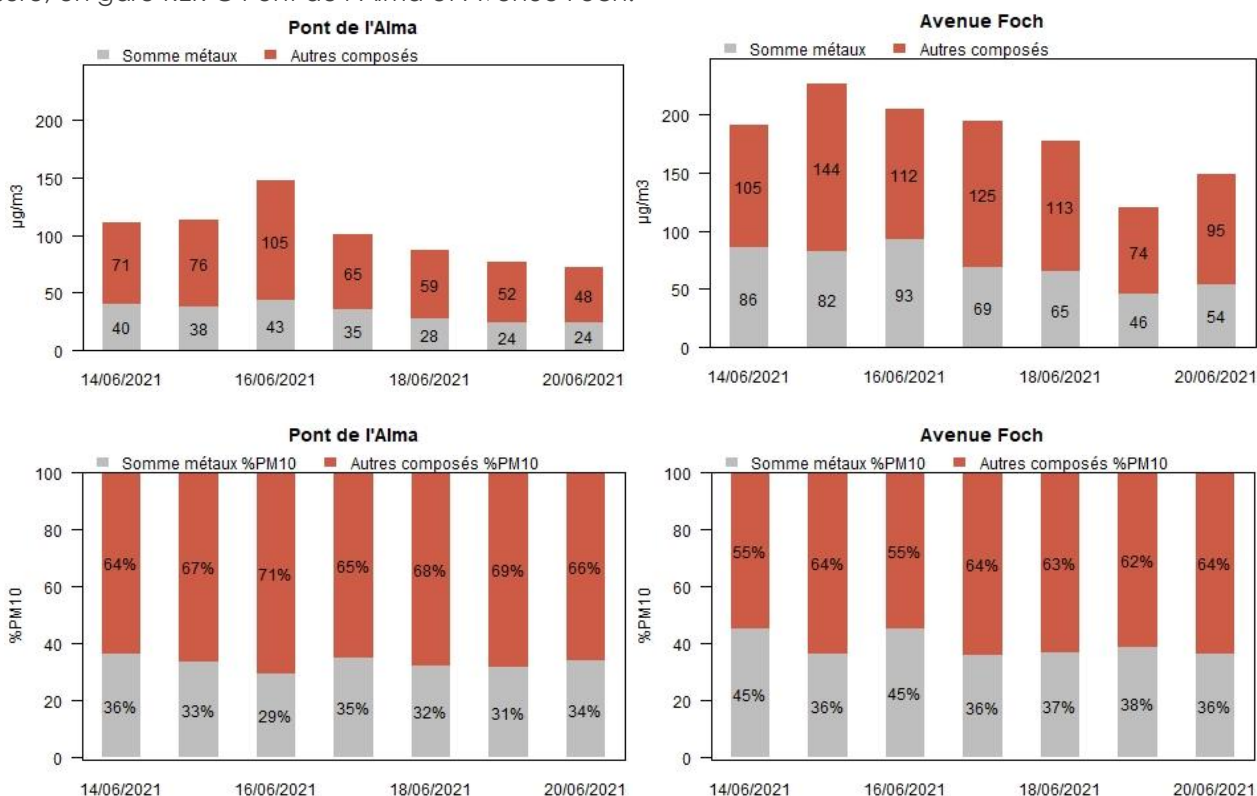


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement en concentration et en % de particules PM<sub>10</sub>, à la gare RER C Pont de l'Alma et Avenue Foch, période du 14/06/2021 au 20/06/2021.

En gare de Pont de l'Alma, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 24 µg/m<sup>3</sup> (le 19 et 20 juin) à 43 µg/m<sup>3</sup> (le 16/06/21). La part des métaux a varié de 31 % (le 19/06/2021) à 36 % (le 14/06/2021).

<sup>6</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 moyenne sur les 7 jours de mesures, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est de 33 % en gare de Pont de l'Alma. Cette proportion est comparable à certaines gares précédemment instrumentées.

Sur la même période, à la station Avenue Foch, la concentration des métaux a varié entre 46 µg/m<sup>3</sup> (le 19/06/2021) et 93 µg/m<sup>3</sup> (le 16/06/2021). La part de métaux a varié de 36 % (les 15, 17 et 20 juin) à 45 % (le 16/06/2021). En moyenne sur la semaine, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> est de 39 % en gare Avenue Foch.

La part des métaux dans les particules est donc plus faible en gare de Pont de l'Alma qu'en gare d'Avenue Foch, en partie en raison de l'influence de l'air extérieur dans cette gare (ouvertures donnant sur le port de la Bourdonnais en bout de quai).

## 2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 14/06 et le 20/06/2021, aussi bien en gare de Pont de l'Alma qu'à Avenue Foch. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

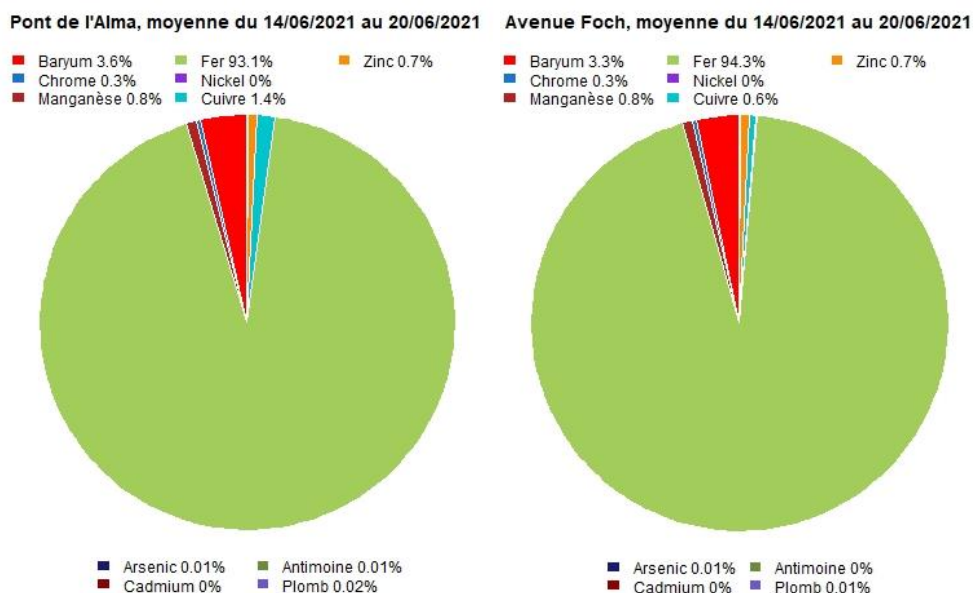


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 14 au 20 juin, en gare de Pont de l'Alma et Avenue Foch.

Parmi les onze métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 93 % des métaux mesurés à Pont de l'Alma et 94 % à Avenue Foch. Ce résultat est comparable aux mesures des précédentes gares instrumentées.

En dehors du Fer, les métaux dont les concentrations sont les plus élevées en gare RER C Pont de l'Alma sont le **Baryum**, le **Cuivre**, le **Manganèse** et le **Zinc**, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 3,6 % pour le **Baryum** (3,3 % à Avenue Foch), 1,4 % pour le **Cuivre** (0,6 % à Avenue Foch), 0,8 % pour le **Manganèse** (0,8 % à Avenue Foch) et 0,7 % pour le **Zinc**. Les proportions de ces composés sont très proches entre les deux gares. Par rapport aux précédentes campagnes dans d'autres gares, les proportions en métaux, et notamment en Fer, ont légèrement diminué, du fait de la contribution non négligeable du Baryum, qui n'était pas analysé jusqu'à présent.

Les proportions en **Nickel**, **Arsenic**, **Cadmium**, **Antimoine** et **Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Pont de l'Alma ou Avenue Foch. Les proportions en Antimoine et Plomb sont plus importantes en gare RER C Pont de l'Alma qu'à Avenue Foch, mais restent très faibles.



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

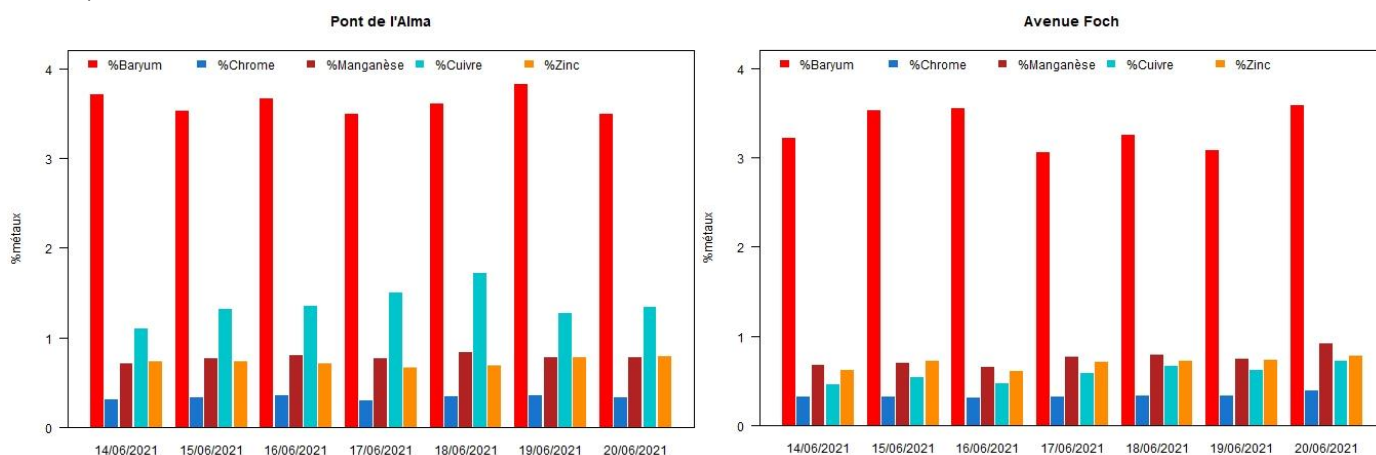


Figure 12 – Part journalière de Baryum, Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Pont de l'Alma et Avenue Foch, période du 14/06/2021 au 20/06/2021.

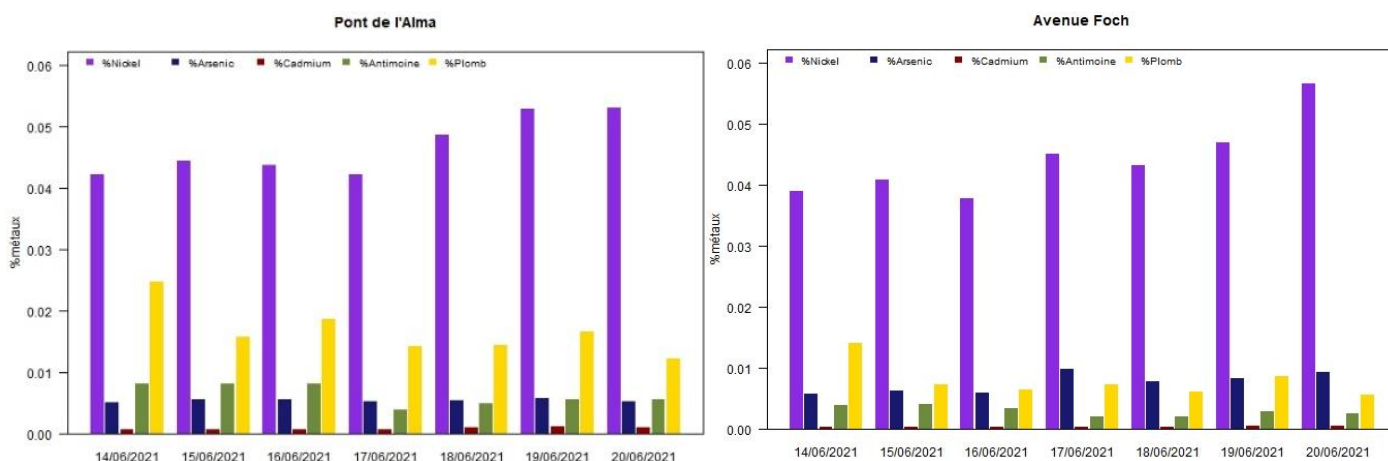


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Pont de l'Alma et Avenue Foch, période du 14/06/2021 au 20/06/2021.

**La part relative de chacun des métaux est globalement stable sur les sept jours de mesure en gare Avenue Foch et Pont de l'Alma.**

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, Chrome, Plomb, Cuivre, Nickel, Antimoine, Baryum) 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, du Manganèse et du Baryum.

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

Les différences observées entre les deux gares en termes de proportions peuvent s'expliquer par des configurations de gare différentes : une partie du quai de la gare Pont de l'Alma possède des ouvertures sur l'extérieur d'où une influence potentiellement plus importante de l'air extérieur, qui ne contient que très peu de métaux.

### 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 Pont de l'Alma et à la station de référence Avenue Foch.

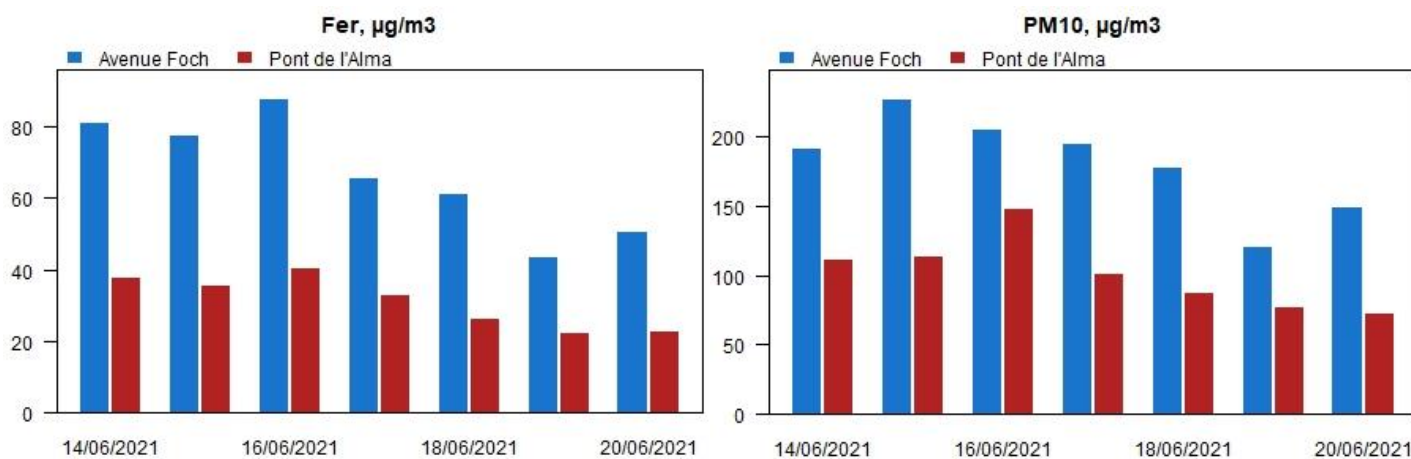


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM<sub>10</sub> à la gare RER C de Pont de l'Alma et Avenue Foch, période du 07/06/2021 au 20/06/2021.

Les teneurs en **Fer** sont environ deux fois plus faibles à Pont de l'Alma qu'à Avenue Foch, en lien direct avec les niveaux plus faibles de particules PM<sub>10</sub> : les moyennes journalières en Fer ont varié de 22 µg/m<sup>3</sup> (le 19/06/2021) à 40 µg/m<sup>3</sup> (le 16/06/21) en gare de Pont de l'Alma et entre 43 (le 19/06/2021) et 87 µg/m<sup>3</sup> (le 16/06/2021) à Avenue Foch.

Cinq métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m<sup>3</sup>. Il s'agit du **Baryum**, du **Manganèse**, du **Cuivre**, du **Chrome** et du **Zinc** pour la gare de Pont de l'Alma. Mis à part le cuivre, présent dans des proportions similaires, ces composés sont environ 2 fois plus faibles qu'en gare RER C Avenue Foch. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières de **Baryum** ont varié entre 854 et 1581 ng/m<sup>3</sup>.

Celles de **Manganèse** ont varié entre 187 et 345 ng/m<sup>3</sup>.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 306 et 580 ng/m<sup>3</sup>.

Les concentrations journalières en **Chrome** ont varié de 82 et 151 ng/m<sup>3</sup>.

Les teneurs journalières en **Zinc** à Pont de l'Alma ont varié de 186 et 307 ng/m<sup>3</sup>.

Les cinq autres métaux ont varié comme suit :

- Entre 13 et 19 ng/m<sup>3</sup> pour le **Nickel** ;
- Entre 1,3 et 2,4 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 1,3 et 3,5 ng/m<sup>3</sup> pour l'**Antimoine** ;
- Entre 3 et 10 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 Pont de l'Alma varie de 31 à 36 % sur la semaine de mesure. A Avenue Foch, la part des métaux dans les particules PM<sub>10</sub> varie entre 36 % et 45 %. L'air en gare de Pont de l'Alma est en effet plus influencé par l'air extérieur, moins riche en métaux (présence d'ouverture au niveau du Port de la Bourdonnais).

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 93 % des métaux mesurés à Pont de l'Alma, contre 94 % en gare d'Avenue Foch. Viennent ensuite le **Baryum** (3,6 % contre 3,3 % à Avenue Foch), le **Cuivre** (1,4 % contre 0,6 % à Avenue Foch), le **Manganèse** (0,8 %, comme à Avenue Foch), et le **Zinc** (0,7 % comme à Avenue Foch). Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, et Plomb et Antimoine sont très faibles (inférieures à 0,1 %) par rapport aux métaux précédemment évoqués.

Les teneurs de métaux à Pont de l'Alma sont plus faibles qu'à Avenue Foch, liées essentiellement aux concentrations de PM<sub>10</sub> plus faibles.

## 2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES $PM_{10}$ ET PARTICULES TRÈS FINES $PM_{2.5}$

L'examen du ratio  $PM_{2.5} / PM_{10}$  peut permettre d'identifier des sources de particules différentes. Les particules émises par le trafic ferroviaire (passage des trains, freinage, remise en suspension) sont en effet de grosses tailles.

### 2.4.1. NIVEAUX MOYENS

Le ratio entre particules très fines ( $PM_{2.5}$ ) et particules fines ( $PM_{10}$ ) est présenté à la Figure 15.

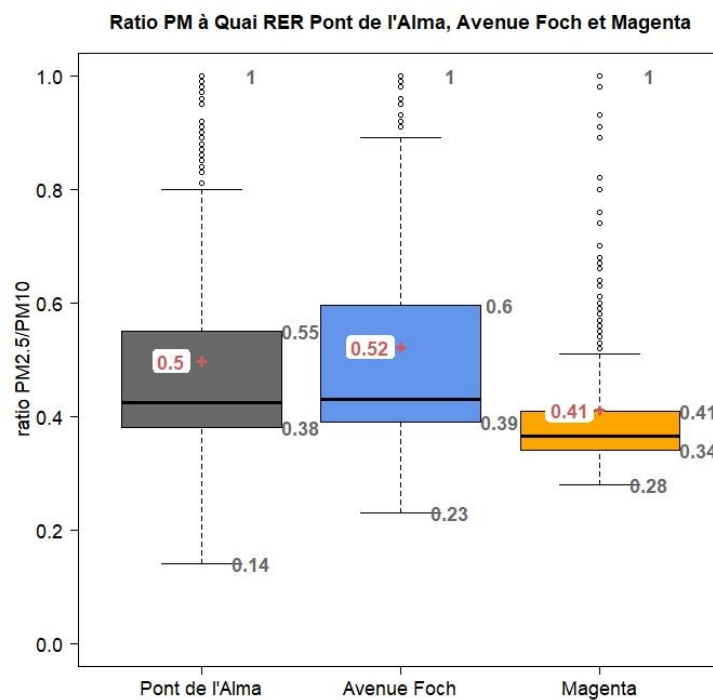


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , à la Gare RER C de Pont de l'Alma et aux stations de référence Magenta et Avenue Foch, période du 07/06/2021 au 28/06/2021.

En moyenne, en gare de Pont de l'Alma, le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est de 0,5. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,52 à Avenue Foch et 0,41 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7.

Pour les trois gares, les boîtes à moustaches ne montrent pas de répartition équilibrée des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$ , avec des valeurs moyennes supérieures à la médiane et proche du percentile 75, notamment pour la gare Magenta.

## 2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de  $PM_{2.5}/PM_{10}$  sont présentées à la Figure 16.

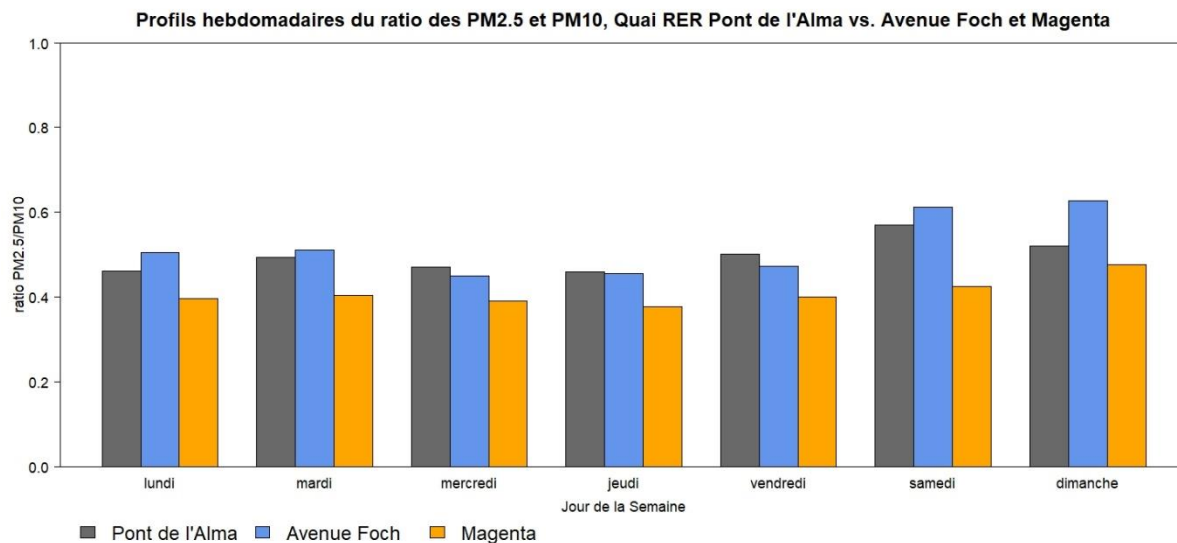


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Pont de l'Alma et aux stations de référence de Magenta et Avenue Foch, période du 07/06/2021 au 28/06/2021.

Les fluctuations du ratio journalier moyen sont très faibles les jours ouvrés, oscillant entre 0,46 et 0,57 à Pont de l'Alma. Cela s'explique par des sources stables de  $PM_{2.5}$  et  $PM_{10}$  du lundi au vendredi. Le ratio est plus élevé le weekend de 15 % par rapport aux jours ouvrés, de par les activités moins importantes de la gare (moins d'émissions dues aux mouvements des trains et moins de remise en suspension due à la baisse de fréquentation notamment) : l'influence de l'air extérieur est alors plus importante qu'en semaine.

## 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.

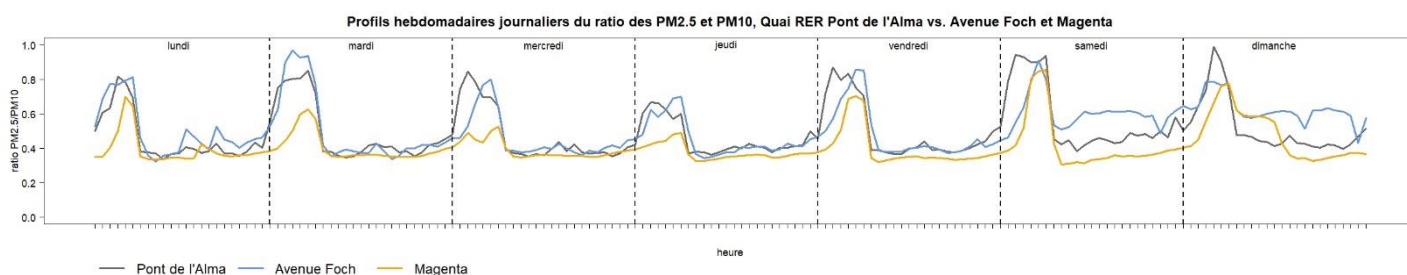


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Pont de l'Alma et aux stations de référence, période du 07/06/2021 au 28/06/2021.

Les profils du ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  en gare Pont de l'Alma sont globalement similaires à ceux de la gare RER C Avenue Foch et plus élevés que ceux de Magenta. Les trois gares présentent une hausse nocturne du ratio, lorsque l'activité de la gare est plus faible ou nulle (trains, voyageurs) : les particules  $PM_{10}$  se déposent au sol et les concentrations en  $PM_{10}$  diminuent fortement pour se rapprocher de celles des  $PM_{2.5}$  et un équilibre se fait avec l'air extérieur.

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

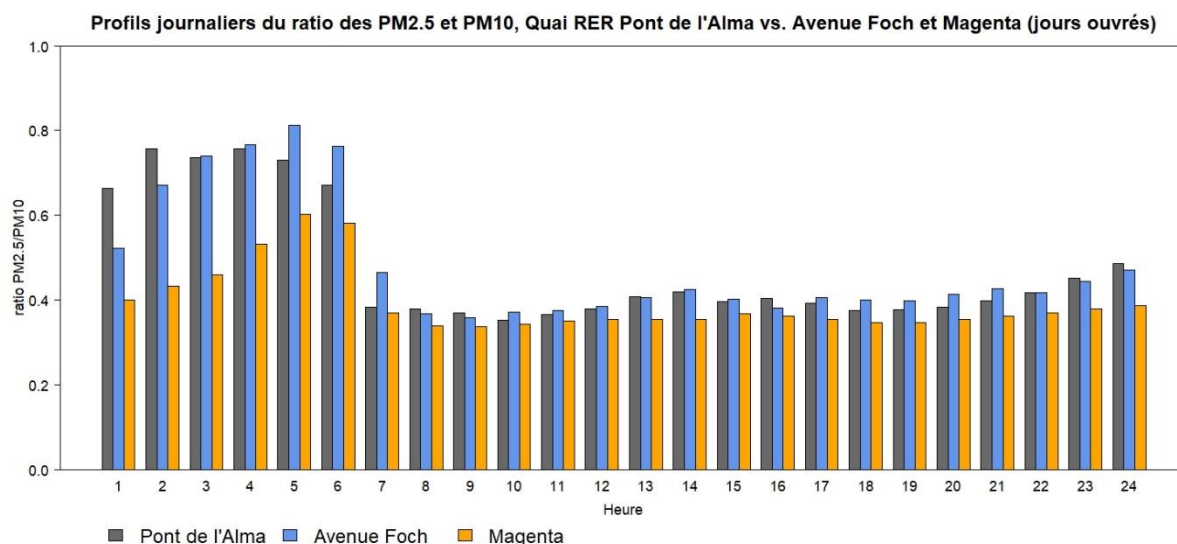


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  à la gare RER C de Pont de l'Alma et aux stations de référence Magenta et Avenue Foch, période du 07/06/2021 au 28/06/2021.

A Pont de l'Alma, comme sur les stations de référence, les ratios  $PM_{2.5}/PM_{10}$  sont stables en journée, de 6h à 22h, autour de 0,4 et ils augmentent modérément la nuit jusqu'à 0,6 environ (entre 1h et 6h, lors de la fermeture des gares au public), en lien avec l'absence de sources liées aux trains et à la dépose des particules  $PM_{10}$  au sol.

**Les particules  $PM_{10}$  mesurées en gare de Pont de l'Alma sont constituées de la moitié de particules  $PM_{2.5}$  (ratio moyen de 0,5).** Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  atteint 0,52 à Avenue Foch et 0,41 à Magenta.

Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est relativement stable **à l'échelle hebdomadaire** à Pont de l'Alma et aux deux autres gares. Le ratio  $PM_{2.5}/PM_{10}$  est cependant légèrement plus élevé le weekend que durant les jours ouvrés de par les activités moins importantes de la gare (moins de remise en suspension due à la fréquentation notamment).

**A l'échelle horaire**, le ratio est stable en journée, autour de 0,4 et augmente la nuit jusqu'à 0,7 lorsque les concentrations en  $PM_{10}$  diminuent fortement pour se rapprocher de celles des  $PM_{2.5}$ .

## 3. FACTEURS D'INFLUENCE

### 3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR

Les polluants de l'air extérieur peuvent se retrouver dans les enceintes souterraines, de façon plus ou moins marquée selon la profondeur de la gare, les accès vers l'extérieur et le système de ventilation en place. L'influence sera d'autant plus importante que la gare est peu profonde et qu'il existe plusieurs accès vers l'extérieur (voies d'accès par exemple) et un système de ventilation en marche.

La qualité de l'air extérieur est influencée au quotidien par les émissions anthropiques et les conditions météorologiques. Aussi il est important de préciser si les paramètres météorologiques observés pendant la période de mesure ont été ou non favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique. Des conditions dispersives des polluants atmosphériques correspondent à des états dépressionnaires, avec un temps pluvieux ou venteux. A l'inverse, des temps anticycloniques, avec peu de vents ou des inversions de température, sont souvent synonymes de conditions météorologiques défavorables pour la qualité de l'air extérieur.

Pendant cette campagne de mesure, les conditions météorologiques ont été chaudes et humides, avec de forts cumuls de pluie sur la période de la campagne (74,6 mm de pluie). Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** globalement « moyen » sur la période de mesures, comme le montre la figure ci-dessous.

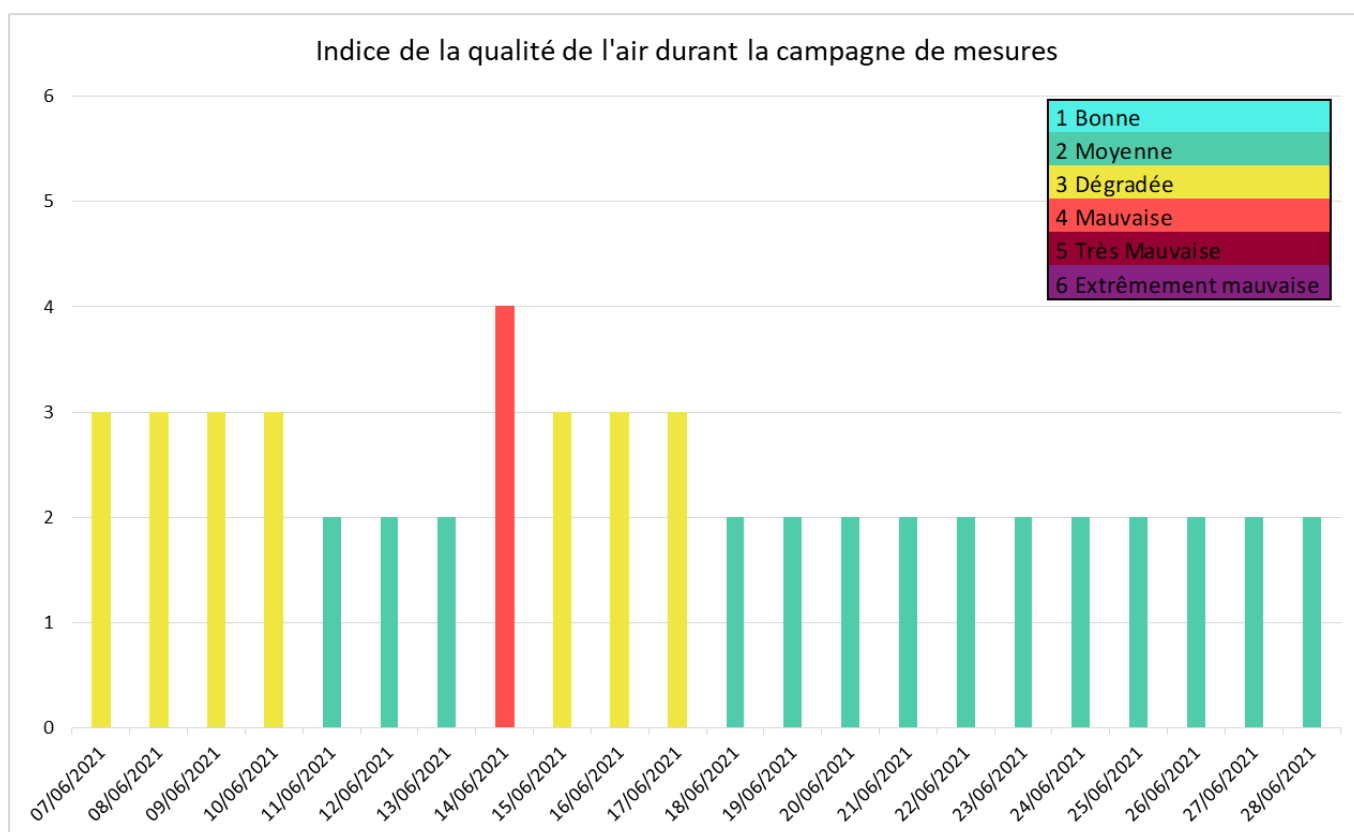


Figure 19 – Historique de l'indice ATMO du 7<sup>e</sup> arrondissement de Paris du 7 au 28 juin 2021.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Pont de l'Alma avec les niveaux enregistrés en air extérieur dans différentes stations Airparif est présentée à la Figure 20 pour les particules PM<sub>10</sub> et les particules fines PM<sub>2.5</sub>.

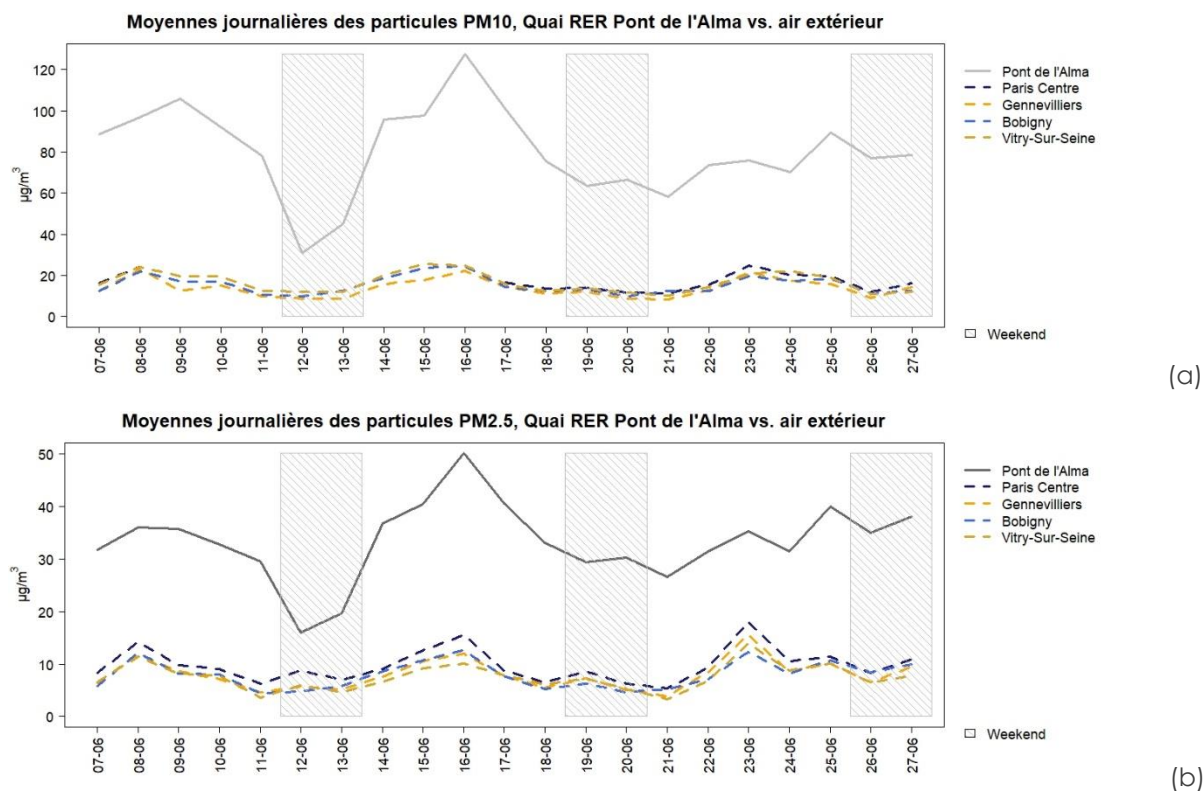


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM<sub>10</sub> (a) et en PM<sub>2.5</sub> (b) en gare de Pont de l'Alma et en air extérieur (situation de fond à Paris Centre, Gennevilliers, Bobigny et Vitry-sur-Seine), période du 07/06 au 28/06/2021.

Les teneurs moyennes en PM<sub>10</sub> enregistrées sur le quai à Pont de l'Alma sont bien plus élevées que les concentrations relevées par les stations de fond du réseau Airparif. Concernant les particules PM<sub>2.5</sub>, le constat est le même, les concentrations relevées en gare sont 2 à 4 fois supérieures à celles mesurées par les stations de fond du réseau Airparif. Ainsi une influence de l'air extérieur est difficilement observable. Toutefois, due à la configuration de la gare, avec des ouvertures au niveau du port de la Bourdonnais, une influence de l'air extérieure est possible.

## 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. Des problèmes techniques sont survenus sur le capteur de CO<sub>2</sub> au démarrage de la campagne, le taux de disponibilité des données n'est donc que de 69 % sur la période de mesure. Les résultats sont donc donnés à titre indicatif.

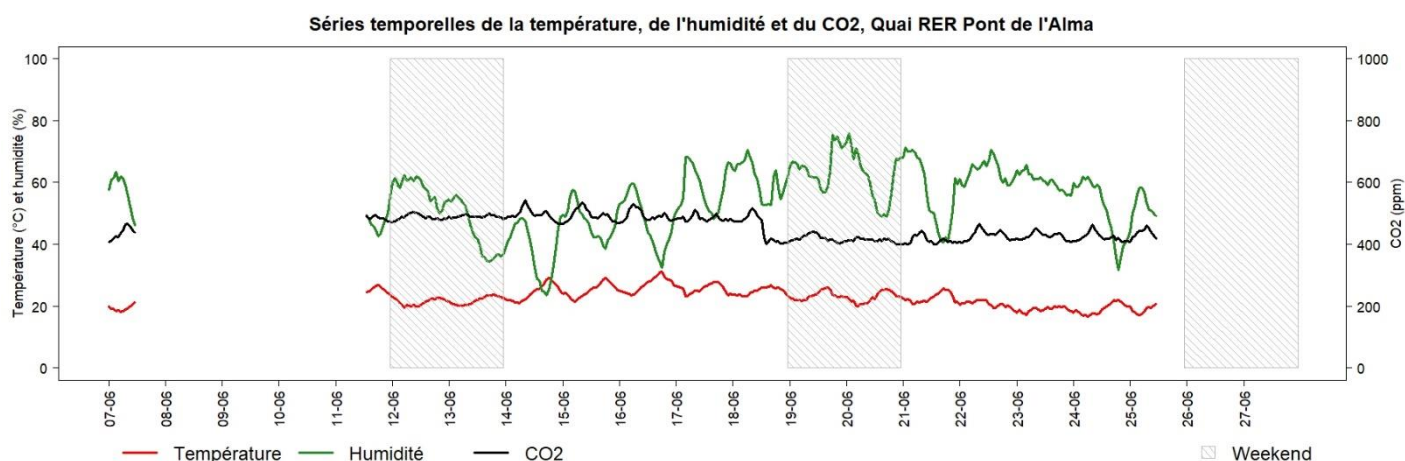


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Pont de l'Alma, période du 07/06/2021 au 28/06/2021.

Sur l'ensemble de la période, la température moyenne en gare de Pont de l'Alma est de 23°C, les relevés horaires ayant varié entre 17 et 31°C. L'humidité relative moyenne en gare de Pont de l'Alma est de 55 %, les relevés horaires ayant fortement varié de 24 % à 76 %.

Les relevés horaires en CO<sub>2</sub> varient peu sur la période de mesures. La teneur moyenne est de 455 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 399 ppm et 543 ppm. Tous les relevés 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> en gare de Pont de l'Alma, comparé à celui des PM<sub>10</sub>, est présenté Figure 22. Seule la période du 12 au 25 juin a été prise en compte pour ce graphique.

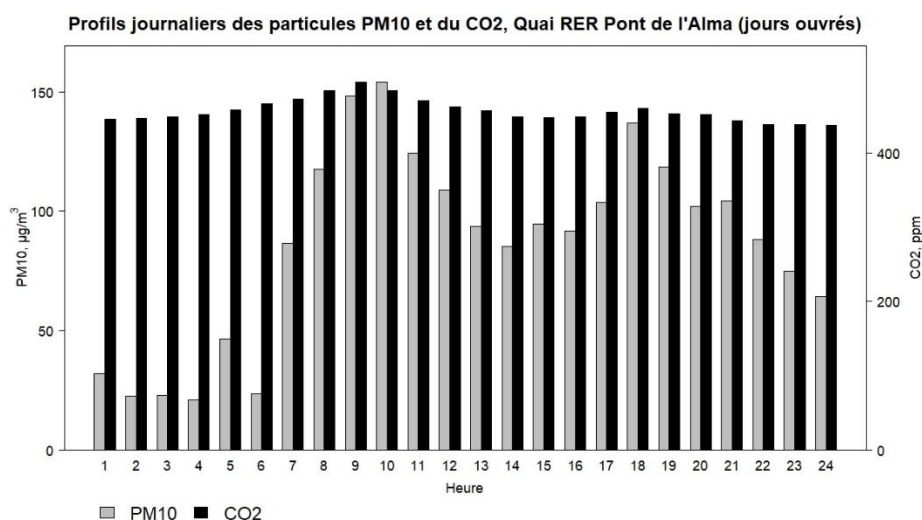


Figure 22 – Profils journaliers en PM<sub>10</sub> et CO<sub>2</sub> à la gare RER C de Pont de l'Alma, période du 07/06 au 28/06/2021.

<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 Pont de l'Alma. La comparaison des concentrations horaires en particules (PM<sub>10</sub>) et en CO<sub>2</sub> les jours ouvrés montre que les teneurs maximales en particules sont observées en même temps que pour le CO<sub>2</sub>, en matinée, avec un décalage d'une heure. En journée, de 12h à 16h une diminution puis une stabilisation des concentrations en CO<sub>2</sub> est observée, avant une légère augmentation des concentrations liées à l'heure de pointe du soir.

### 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 qu'éléments potentiellement explicatifs des niveaux de particules et de leurs variations.

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

Le nombre de trains circulant en gare de Pont de l'Alma (et aux stations de référence) pendant la campagne de mesure a été transmis par la SNCF Gares d'Ile-de-France.

En moyenne, 318 trains circulent en gare de Pont de l'Alma (contre 170 en gare d'Avenue Foch et 432 en gare de Magenta). Les chiffres, pour la gare de Pont de l'Alma, sont présentés en Figure 23 à l'échelle horaire.

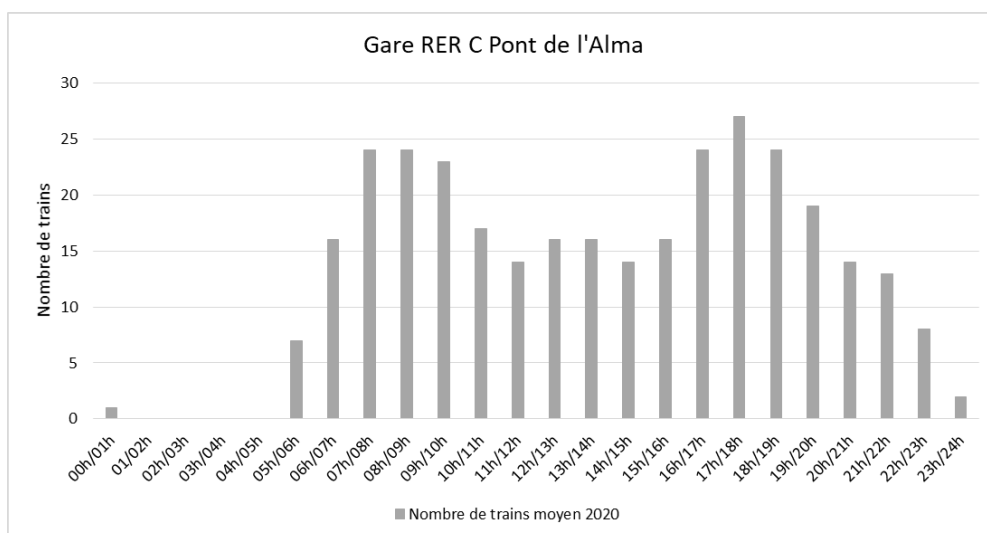


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Pont de l'Alma (jours ouvrés et week-end confondus).

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 24, pour les jours ouvrés, pour la gare de Pont de l'Alma. Le profil des teneurs en particules PM<sub>10</sub> est corrélé au nombre de trains en circulation, avec un léger décalage temporel, déjà observé dans les précédentes campagnes.



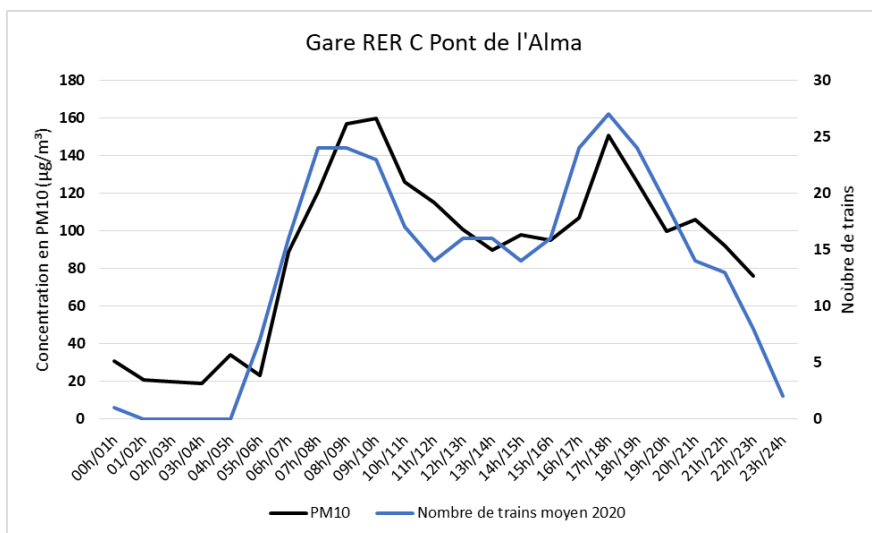


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM<sub>10</sub> observées les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Pont de l'Alma, période du 07/06 au 28/06/2021.

La comparaison du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules en fonction du jour (jour ouvré / week-end) ne peut pas être réalisée faute de données disponibles.

L'influence de paramètres comme les concentrations en particules en air extérieur ou les paramètres techniques de la gare de Pont de l'Alma 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. L'influence du nombre de trains est visible au niveau journalier.
- L'influence des concentrations extérieures sur les concentrations intérieures est difficilement observable mais probable du fait de la présence d'ouvertures donnant sur le Port de la Bourdonnais.
- 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 Pont de l'Alma, 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 Pont de l'Alma au cours du mois de juin 2021 était en moyenne de 80 µg/m<sup>3</sup>, le maximum horaire atteint étant de 278 µg/m<sup>3</sup> (enregistré la nuit, entre 4h et 5h, le 17 juin) ;
- Le niveau moyen en particules très fines PM<sub>2.5</sub> atteint 33 µg/m<sup>3</sup>, pour un maximum horaire de 77 µg/m<sup>3</sup> (enregistré le 16 juin entre 17 et 18h).

Les concentrations moyennes en particules PM<sub>10</sub> à la gare de Pont de l'Alma sont inférieures de 42 % à celles enregistrées sur la même période à la station de référence d'Avenue Foch (RER C, station non ventilée) et inférieures de 13 % à celles mesurées en gare de Magenta.

Comme pour les PM<sub>10</sub>, les concentrations moyennes en PM<sub>2.5</sub> en gare de Pont de l'Alma sont inférieures de 43 % à celles enregistrées sur la même période à la station de référence d'Avenue Foch (RER C, station non ventilée). Elles sont par ailleurs proches de celles mesurées en gare de Magenta (26 µg/m<sup>3</sup> sur la période).

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 93 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Baryum (3,6 %), le Cuivre (1,4 %), le Manganèse (0,8 %), le Zinc (0,7 %) et le Chrome (0,3 %). Ces proportions sont proches de ceux observés en gare d'Avenue Foch mais les teneurs y sont plus faibles.

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation. Les différences de niveaux entre les gares s'expliquent aussi par le système de ventilation, le volume de la gare et sa configuration. En effet, le système de ventilation en place en gare de Magenta et la structure naturellement aérée de la gare Pont de l'Alma sont des paramètres favorisant l'évacuation de la pollution aux particules.

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 PONT DE L'ALMA**

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

Pas de portes palières, 2 voies, 2 quais.

**Ventilation** : Naturelle

#### **Fréquentation de la gare :**

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 1 010 (source : SNCF, carte des montants 2017)

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

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Energie motrice : électricité (caténaire)

Type de roulement : fer

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

Aucune perturbation (situation dégradée, mouvements sociaux, fermeture de la gare) signalée par la SNCF.

## ANNEXE 2 : DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

### Indicateurs de la pollution retenus

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

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

**Dans le cadre du partenariat, les particules fines PM<sub>10</sub> et très fines PM<sub>2.5</sub> sont mesurées.**

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

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

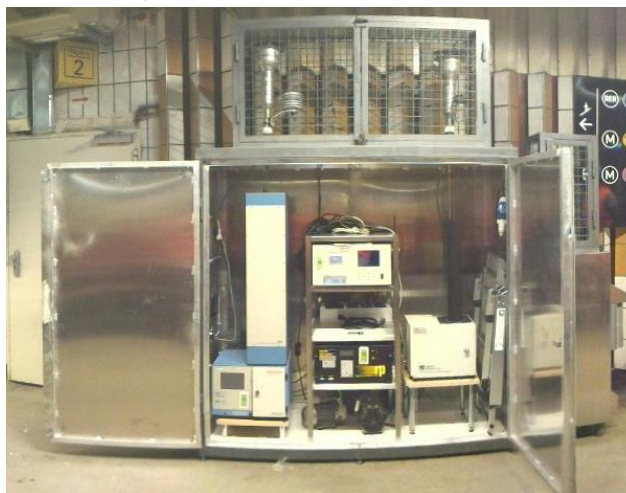
### Moyens techniques mis en œuvre

#### ANALYSEURS AUTOMATIQUES

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

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

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



Les concentrations en particules (PM<sub>10</sub>)<sup>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.

<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.

## 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 7 jours ouvrés, 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'INERIS 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 Baryum (Ba).

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.

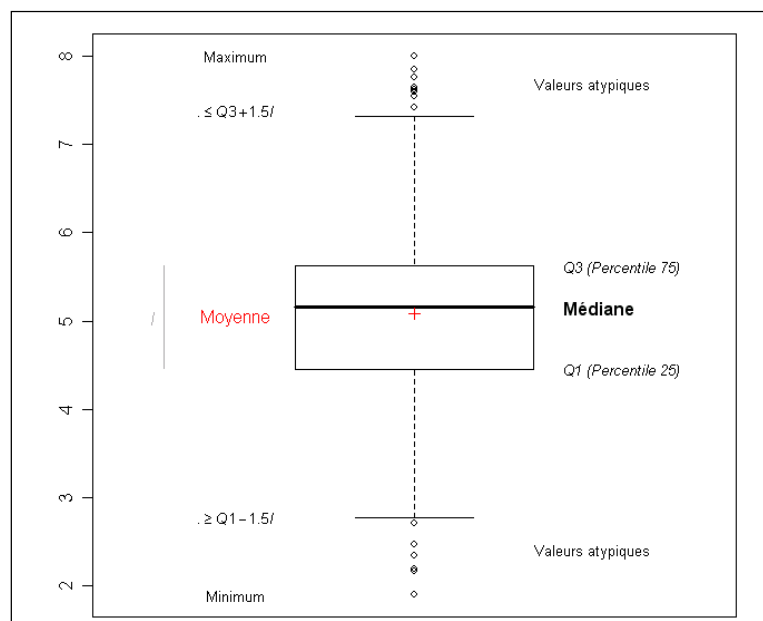
L'exploitation des données est réalisée sur des relevés validés. Une donnée est considérée comme valide si au moins 75% de ses éléments constitutifs le sont. Par exemple, une moyenne horaire est calculable si au moins 75 % (≥) de données 15 minutes sont valides, consécutives ou non sur l'heure.

<sup>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).



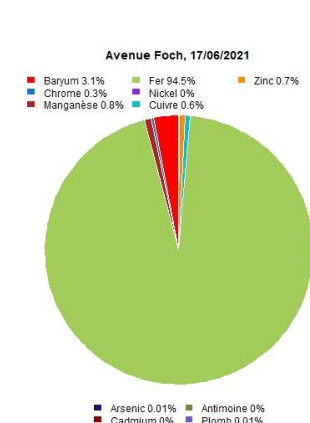
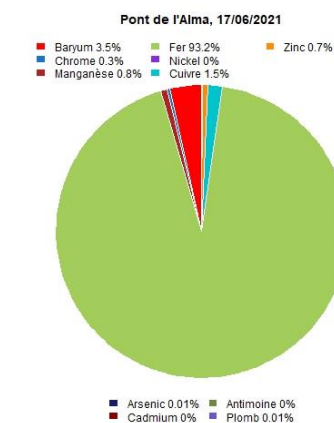
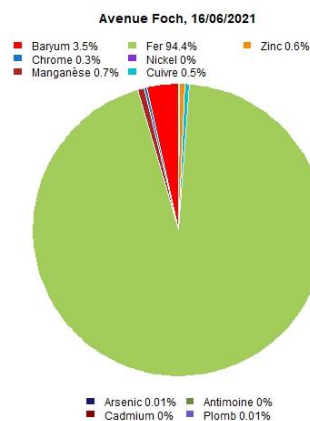
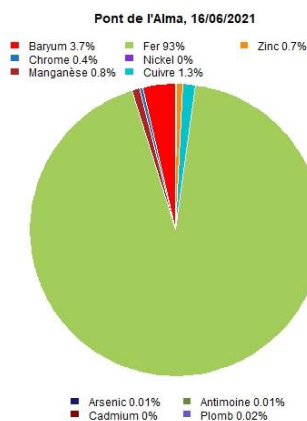
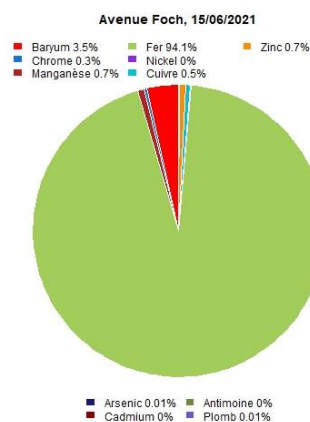
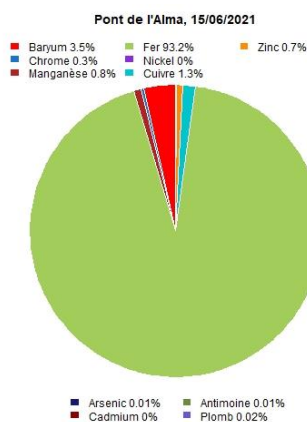
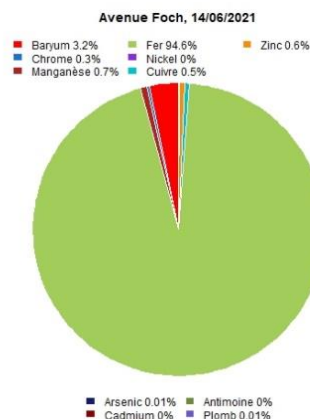
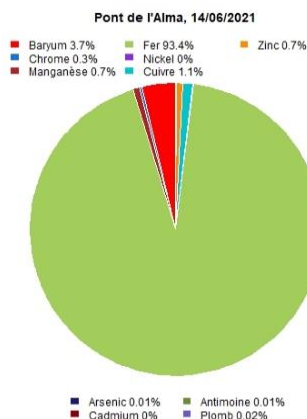
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2<sup>ème</sup> et 3<sup>ème</sup> quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles.

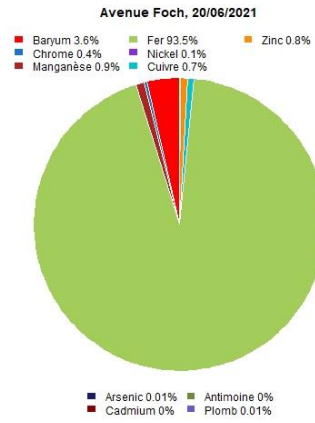
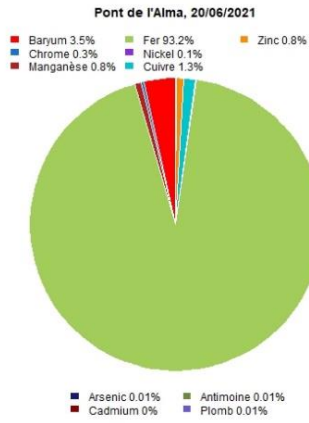
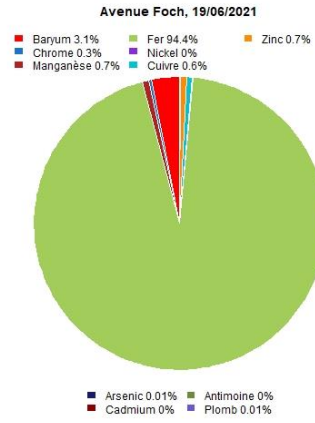
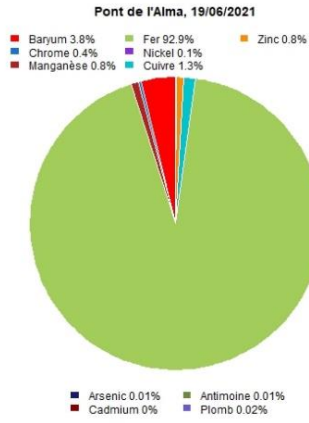
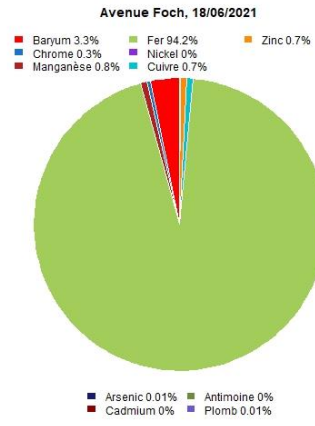
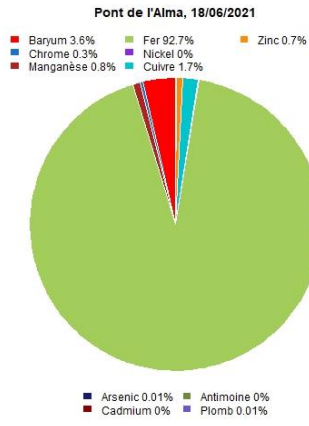
Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur,  $1.5*I$  ( $I$  étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches. 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







## ANNEXE 5 :

### RELEVES JOURNALIERS DE BARYUM, CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE RER C DE BIBLIOTHEQUE FRANCOIS MITTERRAND ET AVENUE FOCH, PERIODE DU 14/06/2021 AU 20/06/2021.

