

**AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE**



**RAPPORT**

**CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT  
DEUX SEMAINES EN GARE D'AVENUE FOCH**

**DOC046151-00 / MES016243**

## AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21 avenue du Président Allende  
F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France  
affaire.aef@sncf.fr  
TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

### Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :**  
**DIRECTION des GARES d'ILE de FRANCE**  
A l'attention d'Alain PORTALIER  
34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE  
75014 Paris  
France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE D'AVENUE FOCH

### Résumé :

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare d'Avenue Foch. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines en octobre 2016.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation et le trafic ferroviaire. Une autre source a été identifiée en période de fermeture de la gare au public ; il s'agit de travaux de maintenance de la voie ferrée qui engendrent les pics de particules les plus élevés lors de cette campagne de mesure.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Foch est supérieur à ceux des gares de Magenta et de Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

#### Elaboration du rapport

##### Rédacteur

Nom : HUPIN Aurelie  
Fonction : Ingénieure spécialiste

##### Vérificateur

Nom : DUPONT Laurent  
Fonction : Responsable de pôle

#### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent  
Fonction : Responsable de pôle

### Avertissement :

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

(La dernière version annule et remplace les versions précédentes)

Version	Date	Motivation et objet de la modification	Paragraphe(s) concerné(s)
00	Indiquée sur la signature numérique		

## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
	Sans objet

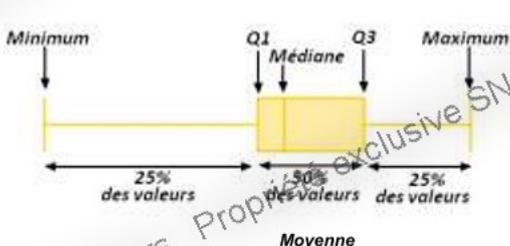
## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC040574-00	Offre – Mesures de concentrations en particules dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France – Année 2016
DOC042475-01	Offre – Mesures complémentaires en gare (métaux et CO <sub>2</sub> ) et mesures individuelles sur agents – 2016

## SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles (unités)	Définitions
µg/m <sup>3</sup>	Micro gramme par mètre cube
ng/m <sup>3</sup>	Nano gramme par mètre cube

## DÉFINITIONS

Termes	Définitions
PM10	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres (µm)
PM2,5	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres (µm)
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> <li>- Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</li> </ul> 

# Sommaire

<b>1. OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2. METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1. DESCRIPTIF DE LA GARE .....	6
2.2. POLLUANTS MESURES .....	6
2.3. MOYENS DE MESURE .....	6
2.4. POINTS DE MESURE .....	7
2.5. PERIODE DE MESURE .....	7
<b>3. RESULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>7</b>
3.1. CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM10 ET PM2,5 .....	7
3.1.1. <i>Niveaux observés en gare d'Avenue Foch</i> .....	7
3.1.2. <i>Variabilité temporelle</i> .....	8
3.1.3. <i>Comparaison avec d'autres gares</i> .....	11
3.2. CONCENTRATIONS EN METAUX .....	13
3.2.1. <i>Niveaux observés en gare d'Avenue Foch</i> .....	13
3.2.2. <i>Variabilité temporelle</i> .....	15
3.3. CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE .....	16
<b>4. CONCLUSION</b> .....	<b>17</b>
<b>ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE D'AVENUE FOCH</b> .....	<b>18</b>

## **1. OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pour les quais de la gare d'Avenue Foch. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2. METHODOLOGIE**

### **2.1. Descriptif de la gare**

La gare d'Avenue Foch se situe sur la ligne C du RER, dans le 16<sup>ème</sup> arrondissement de Paris. Cette gare comporte deux voies et un quai entièrement souterrains. Le bâtiment voyageurs, c'est-à-dire l'espace comprenant le hall voyageurs et le guichet, et les accès aux quais sont aériens. Des tunnels encadrent la gare à chaque extrémité des quais.

Un descriptif de la gare figure en **annexe 1**.

### **2.2. Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

Les concentrations en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc ont été déterminées par prélèvement de particules PM10.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules. Les travaux de maintenance et l'air extérieur sont aussi une source de pollution dans les gares souterraines.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### **2.3. Moyens de mesure**

Les concentrations en particules PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux ont été déterminées par prélèvement de particules PM10 sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc.

Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak Plus.

L'ensemble des appareils a été disposé dans une baie de mesure.

## 2.4. Points de mesure

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point sur le quai de la gare d'Avenue Foch. Ce point a été positionné au niveau d'un pilier situé au milieu du quai A, à proximité du dessin représentant une raie sur une des parois. Il est positionné sur le plan de la gare en annexe 1.

## 2.5. Période de mesure

Les mesures en continu de la concentration en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et dioxyde de carbone ont été réalisées du mardi 04 octobre au mardi 18 octobre 2016 inclus. Cette période de mesure comprend deux week-ends (samedi et dimanche) et onze jours ouvrés, soit quinze jours. La fréquence d'acquisition des appareils a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1<sup>er</sup> train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués le lundi 03, le mardi 04, le mercredi 05, le jeudi 06 et le vendredi 07 octobre 2016 (soit la première semaine de mesure en continu, hormis le lundi 03/10 non compris dans les mesures en continu), de 05h30 à 00h45.

# 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

## 3.1. Concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>

### 3.1.1. Niveaux observés en gare d'Avenue Foch

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules est présenté sous forme de boîte à moustache pour l'ensemble de la campagne de mesure sur la figure 1.

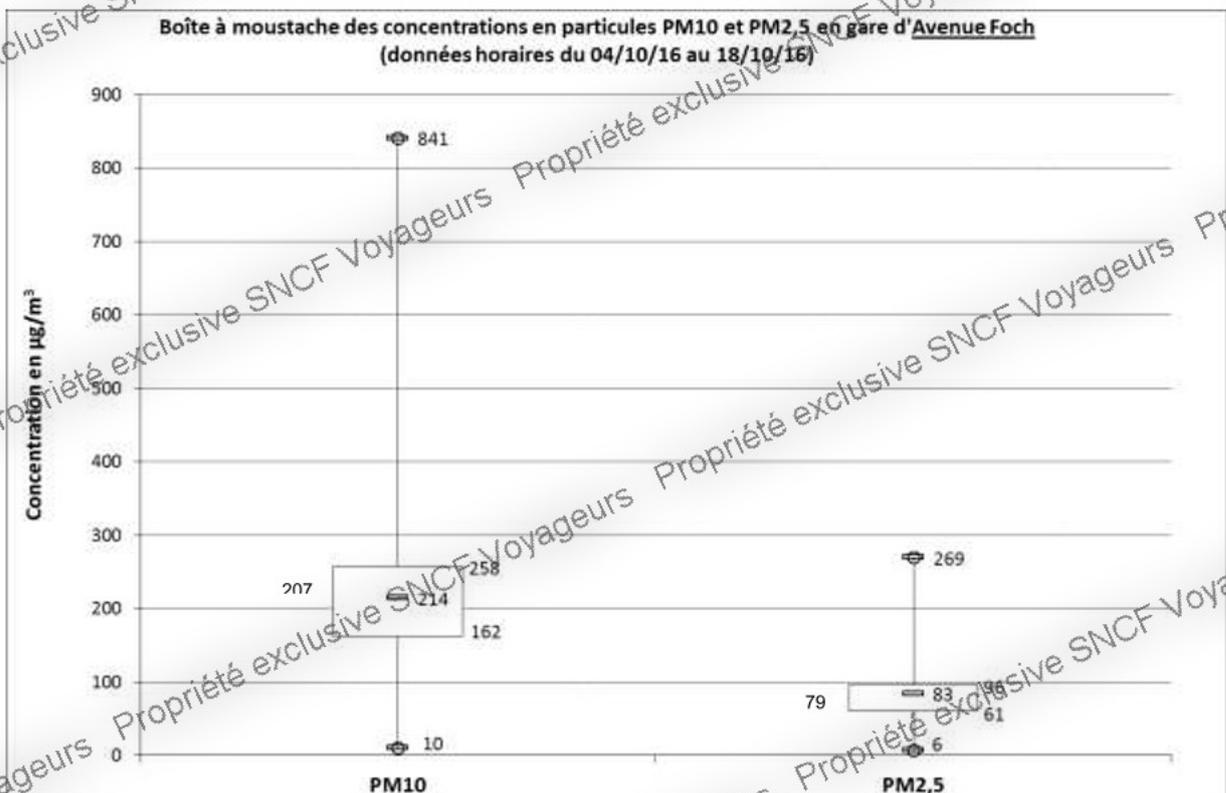


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de  $214 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de  $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure.

La concentration moyenne est de  $207 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et de  $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 38% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre  $162$  et  $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à  $10$  et  $841 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre  $61$  et  $96 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à  $6$  et  $269 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des variations de concentration importantes.

### 3.1.2. Variabilité temporelle

La concentration en moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

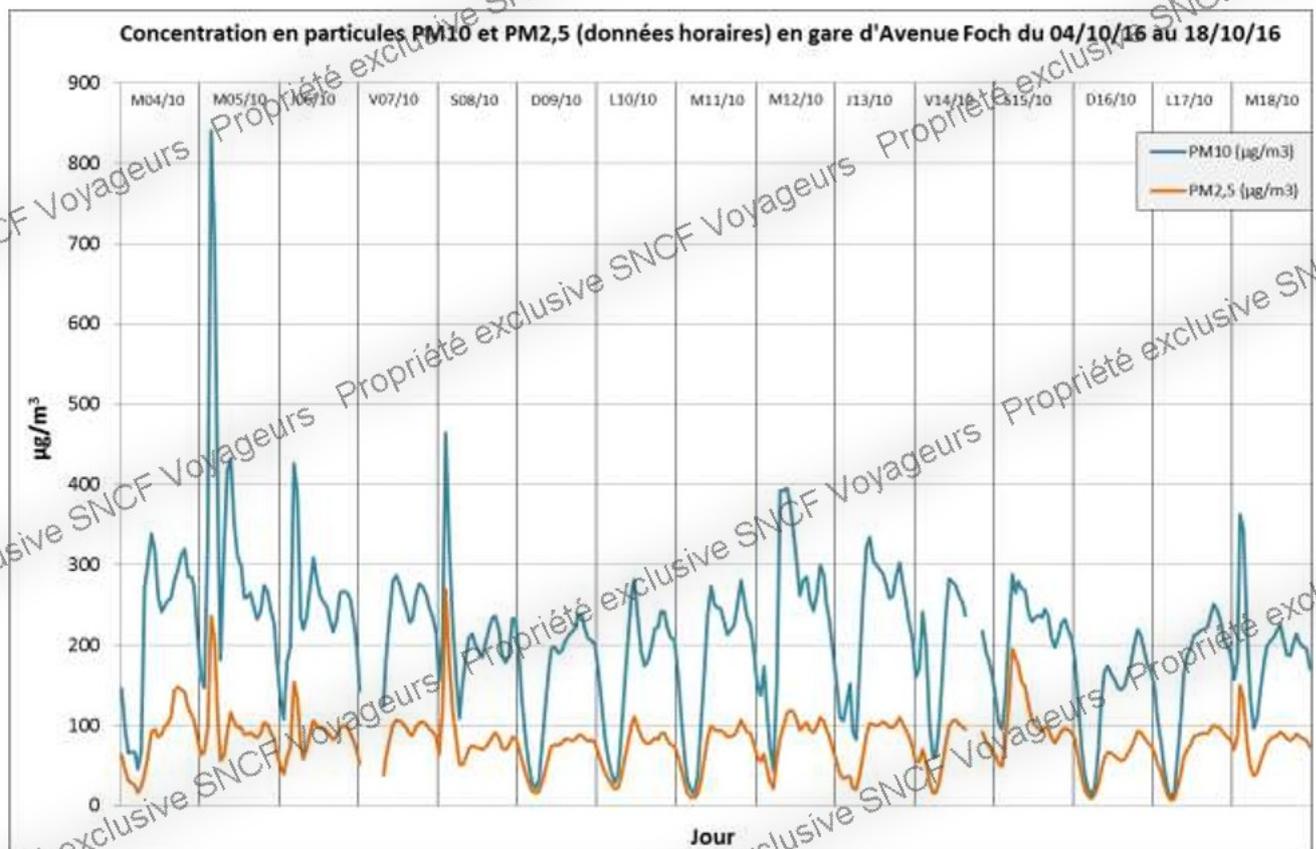


Figure 2

Au cours de la campagne de mesure, les pics de concentrations les plus élevés ont principalement été observés lors de la période de fermeture de la gare au public (de 01h à 05h environ). Ces pics ont été recensés aux périodes suivantes : mardi 05/10 de 03h à 04h, jeudi 06/10 de 4h à 5h, samedi 08/10, de 2h à 3h et mardi 18/10 de 2h à 3h. De même, d'autres pics d'amplitude moindre ont également été observés en période de fermeture de la gare (mercredi 12/10, jeudi 13/10 et vendredi 14/10).

Ces pics nocturnes sont liés à des travaux de renouvellement de rails réalisés en période de fermeture de la gare entre les gares d'Avenue du Président Kennedy et de Porte de Clichy lors de la période de mesure à Avenue Foch ; cette dernière se situant au milieu de la zone de travaux.

L'utilisation de divers engins et les activités liées à ces travaux sont une source importante de particules. Ces travaux peuvent expliquer le niveau élevé d'empoussièrement en période de fermeture de la gare au public.

En période d'ouverture de la gare, deux pics se distinguent les matins du mardi 05/10 de 08h à 10h et du mercredi 12/10 de 7h à 9h.

A l'échelle de la semaine et suivant les tailles de particules, les niveaux sont légèrement plus faibles ou équivalents les jours de weekend par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi).

Les concentrations moyennes (calculées à partir des moyennes disponibles sur 24h) pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

	Concentration moyenne pour les <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne pour les jours de <u>week-end</u> (samedi et dimanche)
Concentration en particules PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	218	182
Concentration en particules PM2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	79	79

Tableau 1

Ainsi, la différence de niveaux moyens de particules entre la semaine et le week-end est légèrement marquée pour la gare d'Avenue Foch. On constate une diminution des concentrations en PM10 de l'ordre de 16% le week-end. Il est à noter que le nombre de circulations de train varie entre les jours de semaine et de week-end. En effet, le trafic théorique en gare d'Avenue Foch lors de la campagne de mesure était de 170 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi, 143 trains le samedi et 145 trains le dimanche, soit une diminution moyenne de 15% entre la semaine et le week-end. La diminution du trafic et l'abaissement des concentrations en particules PM10 le week-end sont donc corrélés dans cette gare.

A l'échelle de la journée, les concentrations en particules sont en moyenne moins élevées aux heures de fermeture de la gare par rapport aux heures d'ouverture (hormis lors des travaux).

En période d'ouverture de la gare, deux pointes par jour, d'amplitude variable, se distinguent globalement de la période creuse, de façon plus accentuée lors des jours ouvrés. Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les PM10 et les PM2,5 en figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés (du lundi au vendredi).

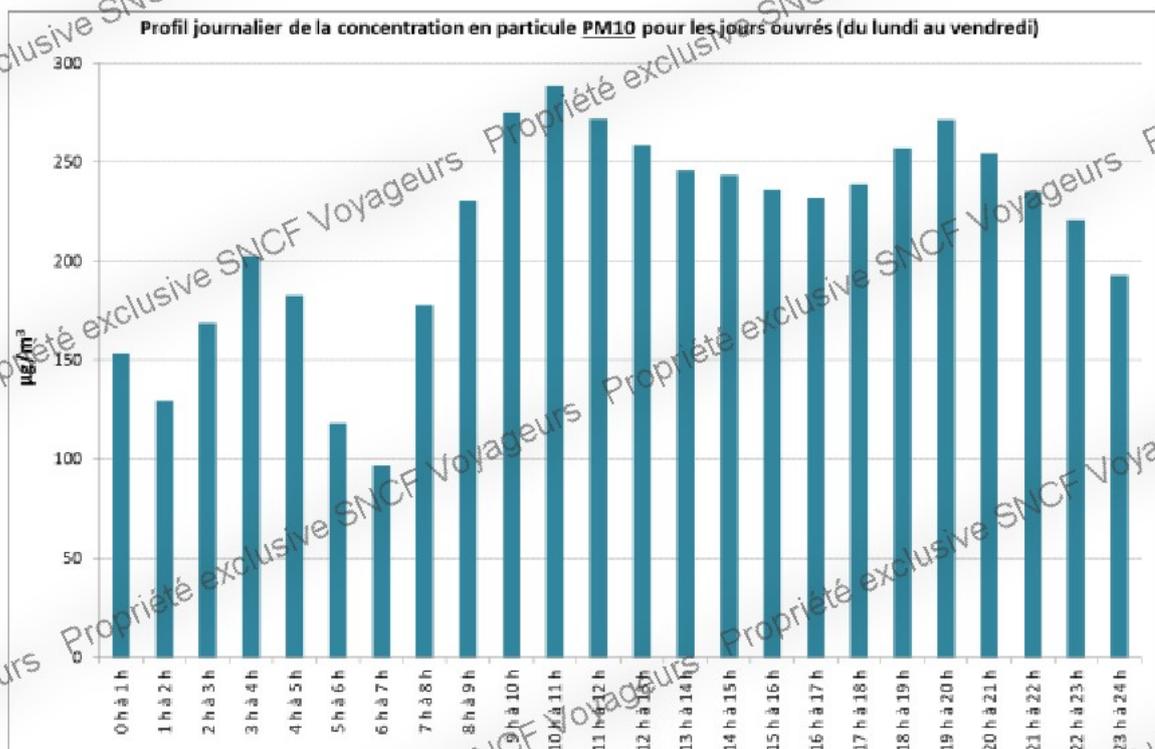


Figure 3

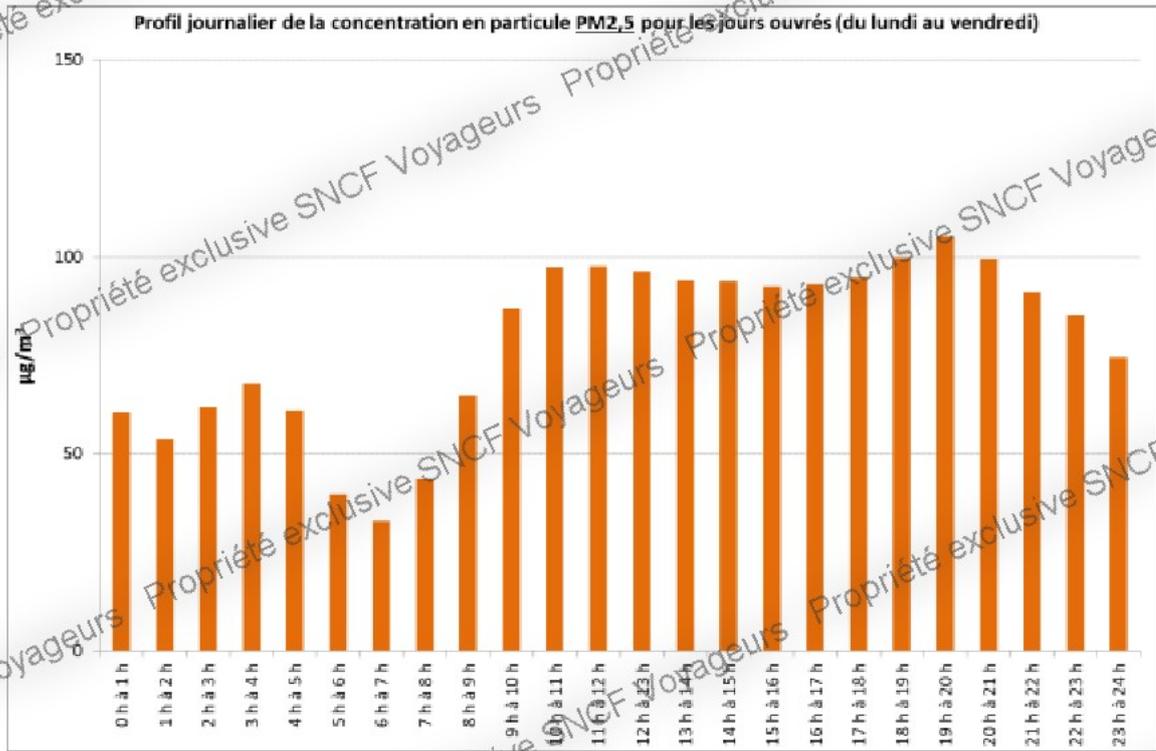


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés mettent en évidence, de façon plus marquée pour les PM10, une pointe du matin (approximativement entre 9h et 12h, avec un maximum sur la période 10h-11h pour les particules PM10) et une pointe du soir (approximativement entre 18h et 21h, avec un maximum sur la période 19h-20h pour les particules PM10 et PM2,5).

En dehors de la période de fermeture de la gare, le profil des concentrations en particules est corrélé au nombre théorique de trains circulant dans cette gare. Comme le montre la figure 5 ci-dessous, il apparaît un décalage entre le pic de circulation et le pic de concentration le matin et le soir. Ceci peut en partie s'expliquer par la moyenne glissante calculée par l'appareil de mesure.

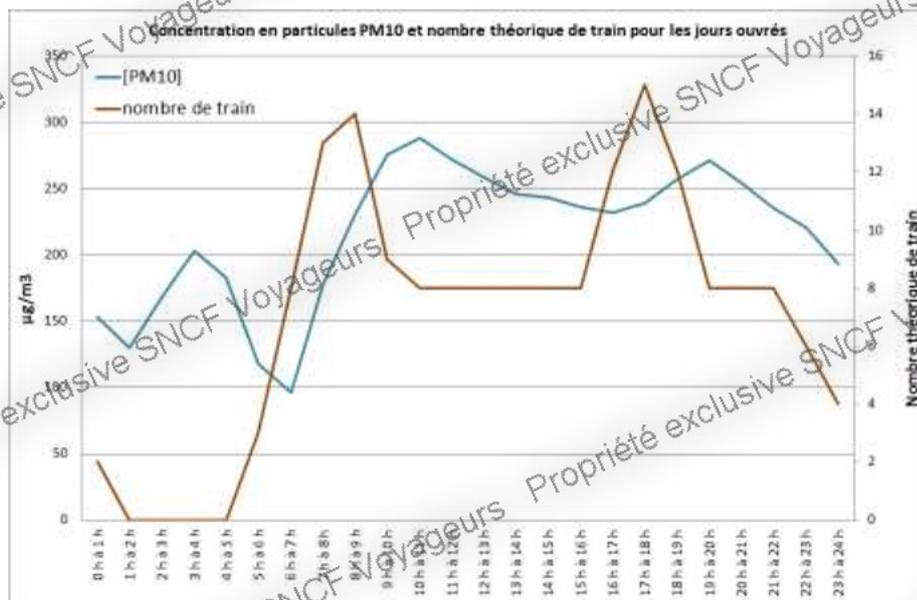


Figure 5

Une pointe de nuit est également mise en évidence, avec un maximum entre 3h et 4h pour les deux tailles de particules. L'origine de cette pointe, pendant une période où la gare est fermée au public, est la réalisation de travaux de renouvellement de rails dans la gare, les tunnels encadrants ou les gares proches sur la ligne C.

Ces profils journaliers montrent que les concentrations les plus basses sont observées peu après l'ouverture de la gare.

Ainsi, il existe une relation entre les teneurs en particules et les activités dans la gare d'Avenue Foch. Le trafic ferroviaire est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. En période de pointe du matin et du soir, la densité du trafic et des voyageurs est plus importante, ce qui conduit à des émissions de particules plus élevées.

Pour cette gare, une autre source a été identifiée en période de fermeture de la gare au public, il s'agit de travaux de maintenance de la voie ferrée qui engendrent les pics de particules les plus élevés lors de cette campagne de mesure.

Enfin, de par l'activité en gare, les particules émises sont sans cesse remises en suspension dans l'air, lors des passages des trains et des déplacements des voyageurs.

### 3.1.3. Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare d'Avenue Foch ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare d'Avenue Foch (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part, pour la totalité des moyennes horaires disponibles.

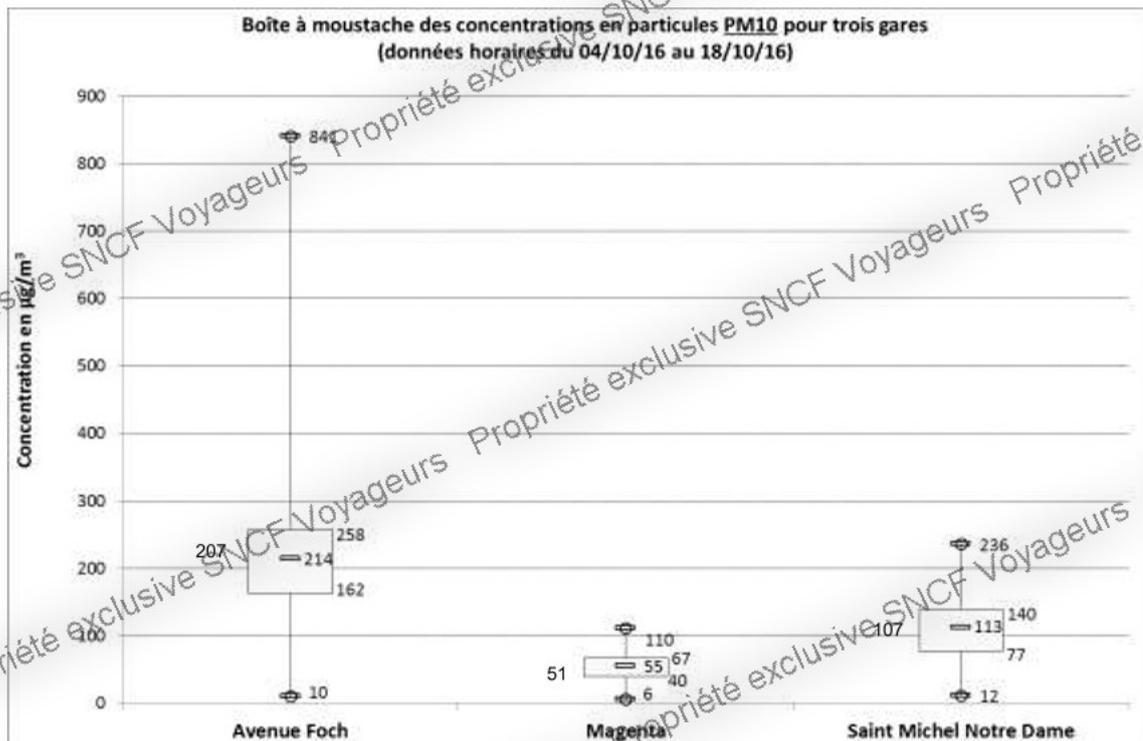


Figure 6

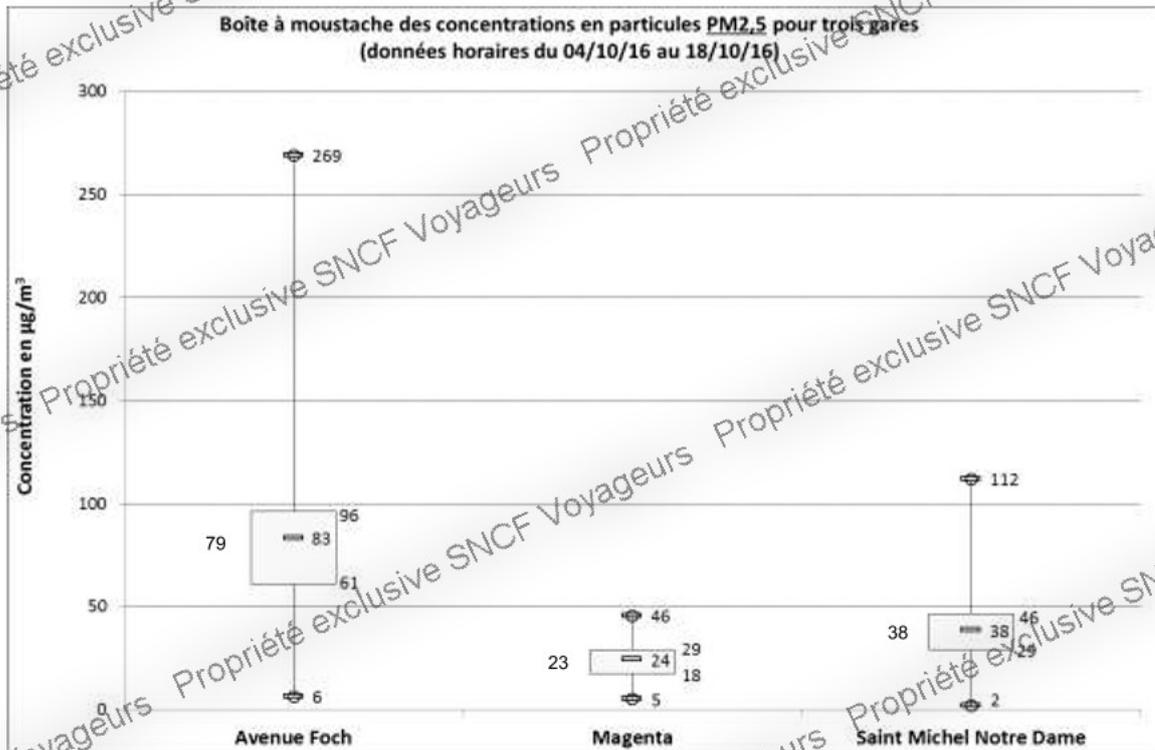


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrément en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en gare d'Avenue Foch est supérieur à celui des gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame. En effet, en gare d'Avenue Foch, la concentration moyenne en PM<sub>10</sub> est environ deux fois plus élevée qu'en gare de Saint Michel Notre Dame et quatre fois plus importante qu'en gare de Magenta.

Les maximums observés en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> à Avenue Foch (en période de fermeture de la gare au public) sont très élevés par rapport aux deux autres gares. Quant à la dispersion des concentrations en particules, elle est plus importante pour la gare d'Avenue Foch, suivie de Saint Michel Notre Dame et enfin Magenta pour laquelle les concentrations sont moins étendues (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75). Cependant, le rapport entre les percentiles 25 et 75 (environ 0,6) reste stable pour les trois gares.

Les gares d'Avenue Foch et de Saint Michel Notre Dame sont toutes les deux situées sur la ligne C du RER ; le type de matériel roulant est donc identique entre ces gares. Par contre, la gare d'Avenue Foch a la particularité d'avoir un seul quai central. Concernant la fréquentation en terme de voyageurs et de trains, elle est largement différente puisque la gare d'Avenue Foch accueille 1 820 voyageurs montants par jour alors que la gare de Saint Michel Notre Dame en accueille 59 480 (soit un facteur d'environ 33 entre les deux gares). Concernant le nombre de train théorique par jour, il est de 170 à Avenue Foch contre 477 à Saint Michel Notre Dame pour les jours ouvrés, soit près de 3 fois moins de trains pour la gare d'Avenue Foch.

Au vue des plus faibles fréquentations de voyageurs et de trains à Avenue Foch, on pouvait supposer des concentrations en particules inférieures par rapport à celles de Saint Michel Notre Dame. Or, les résultats indiquent une tendance inverse. Pour la gare d'Avenue Foch, il existe donc d'autres sources. L'une d'elles est la réalisation de travaux en période de fermeture de la gare. Ces pointes nocturnes de particules ont contribué à augmenter les niveaux de façon globale, lors des périodes d'ouverture, par la remise en suspension des particules émises par les engins de travaux et les activités de maintenance.

La gare de Magenta, où les niveaux de particules sont relativement faibles, est largement plus fréquentée (78 210 voyageurs montants, 432 trains pour les jours ouvrés) que la gare d'Avenue Foch. Magenta est une gare très volumineuse et possède une ventilation mécanique optimisée, ce qui explique des concentrations plus basses.

## 3.2. Concentrations en métaux

### 3.2.1. Niveaux observés en gare d'Avenue Foch

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare d'Avenue Foch, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les taux de concentration moyens pour les dix métaux mesurés.

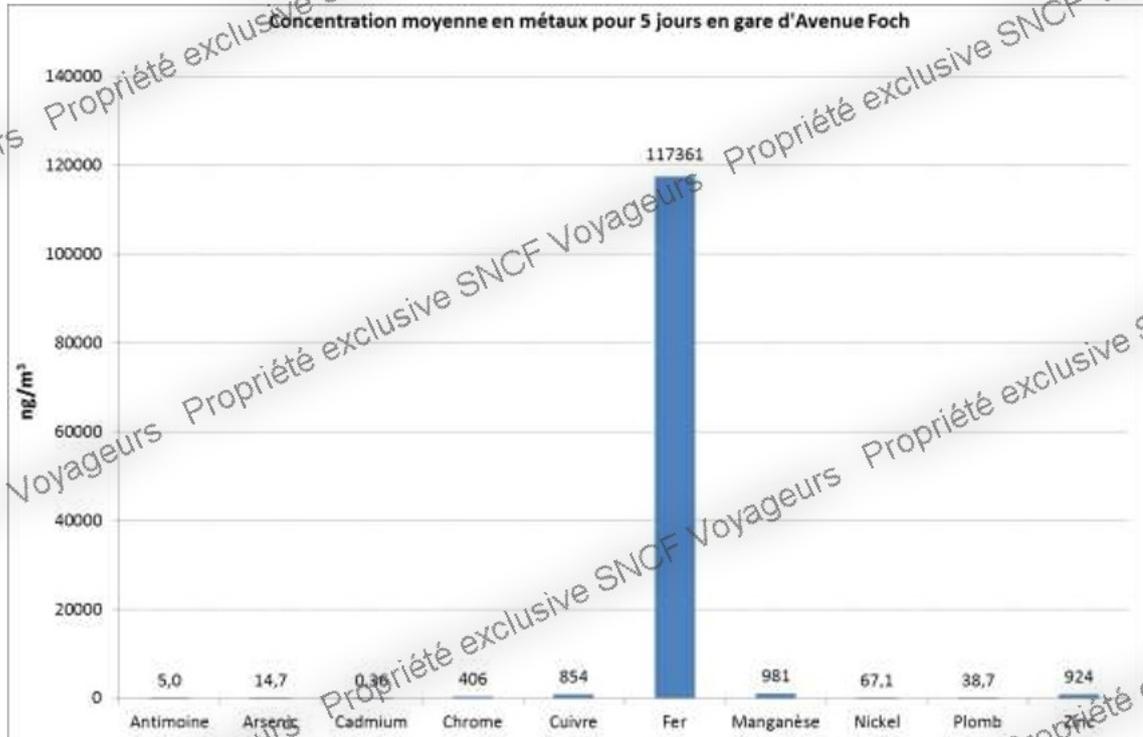


Figure 8

En moyenne, le fer représente 48 % de la composition des particules PM10. Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (97,3 % de fer et 2,7 % d'autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces particules riches en fer sont principalement issues d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

La figure 9 montre les concentrations pour les neuf autres métaux, excepté le fer, afin de rendre le graphique plus lisible.

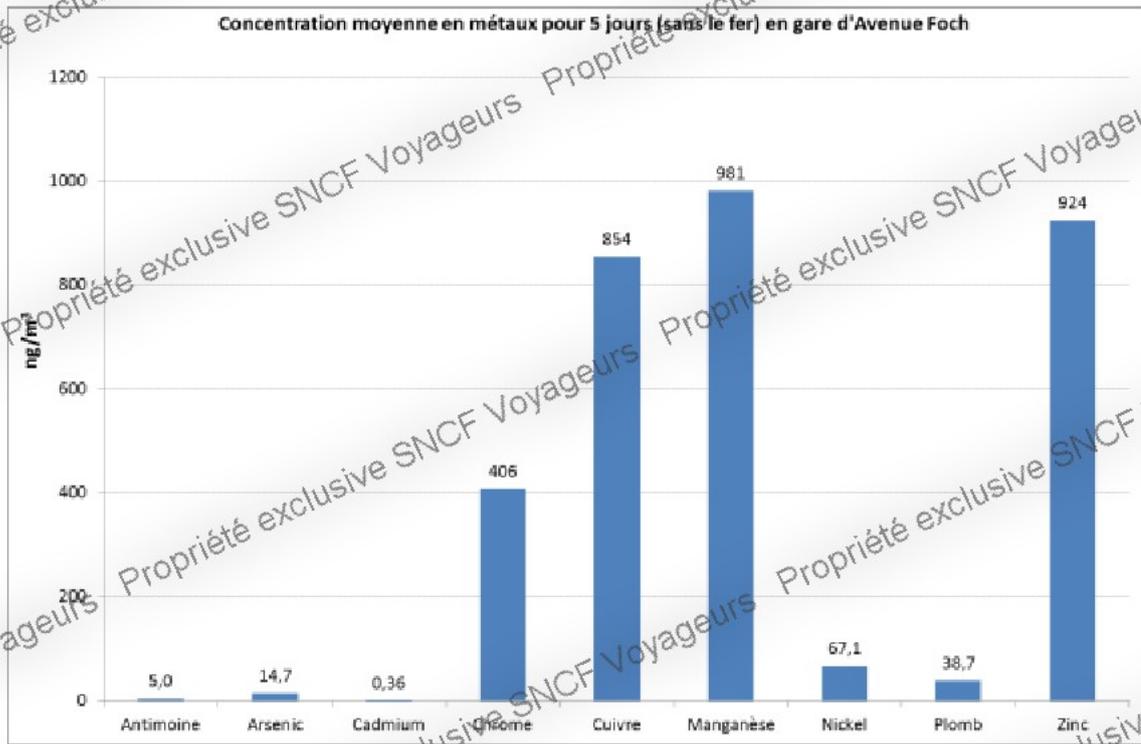


Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le manganèse, le zinc, le cuivre et le chrome. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le nickel, le plomb, l'arsenic, l'antimoine et le cadmium.

En complément, la figure 10 reprend la répartition moyenne en pourcentage de chacun des dix métaux analysés pour les cinq journées de mesure.

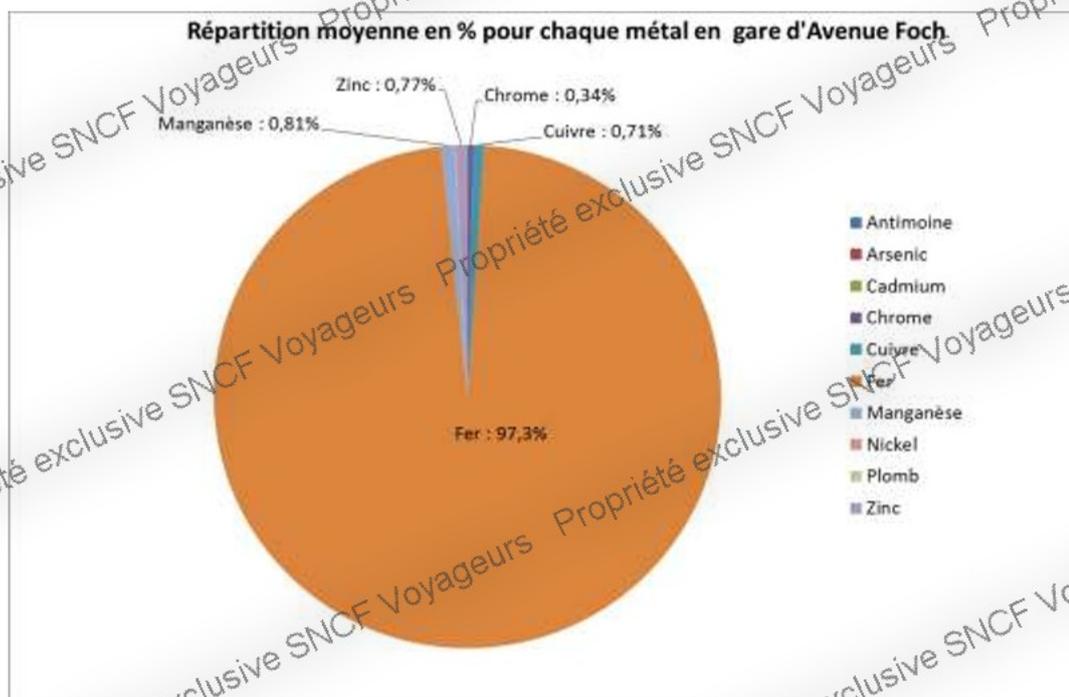
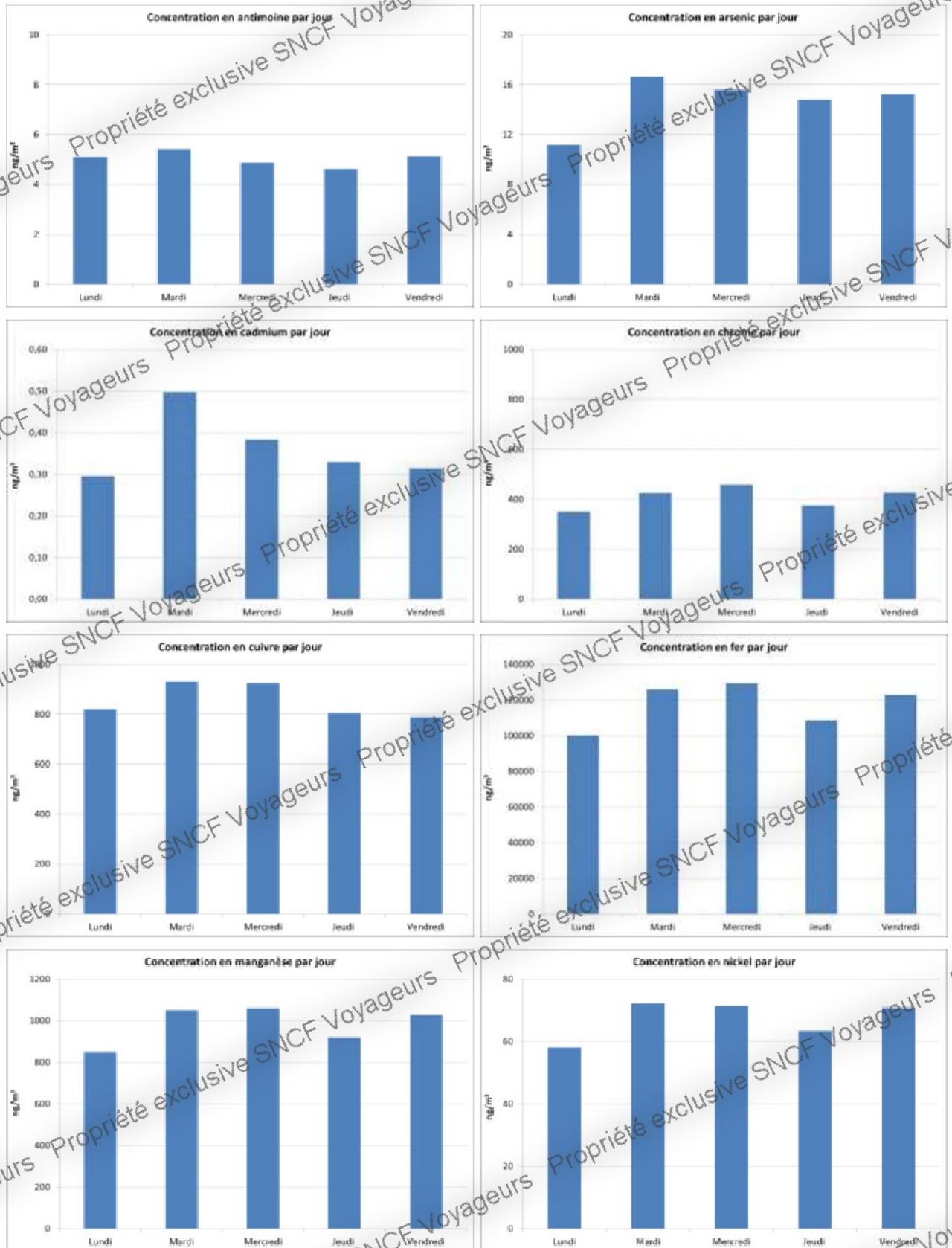


Figure 10

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse, qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux, ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2. Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées.



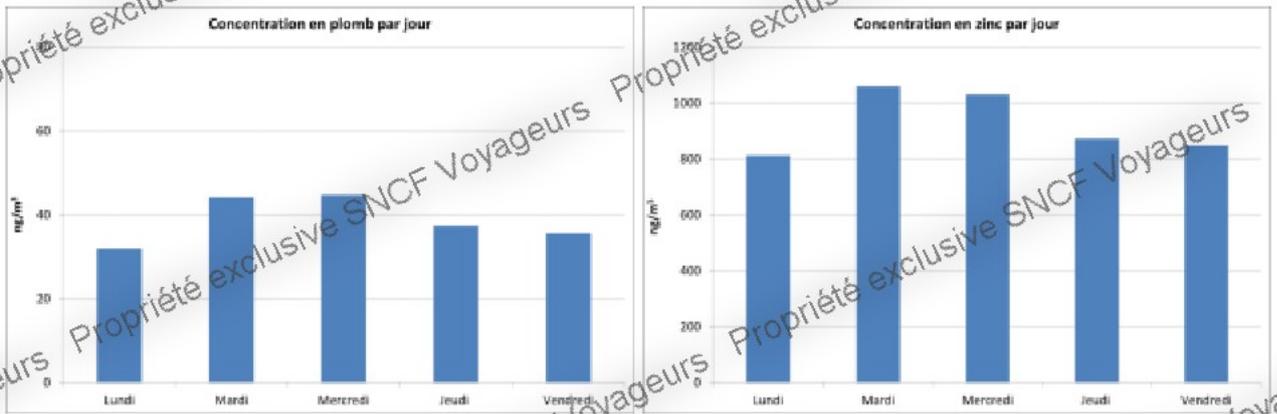


Figure 11

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre, selon les éléments. Elles varient globalement dans le même sens pour la majorité des éléments, à savoir des concentrations plus faibles le lundi et le jeudi par rapport au mardi, mercredi et vendredi.

Ces niveaux légèrement plus faibles le lundi et le jeudi sont également observés pour les particules PM10 prélevées sur ces mêmes périodes de mesure. Les teneurs en éléments métalliques sont donc globalement proportionnelles aux concentrations en particules.

Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure.

### 3.3. Concentrations en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 12 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

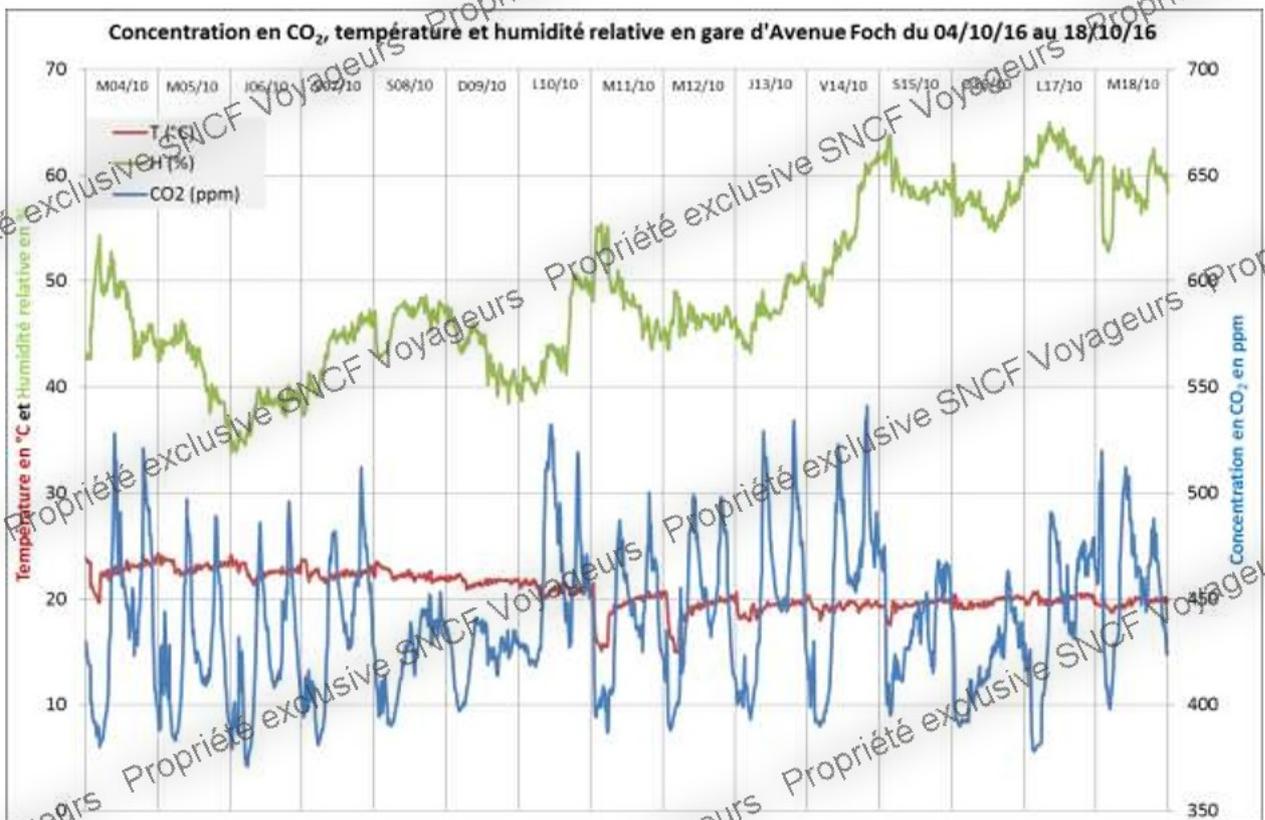


Figure 12

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare d'Avenue Foch est restée plutôt stable avec une moyenne proche de 21°C. L'humidité relative était comprise en 34 et 65 % ; avec des valeurs plus élevées en fin de période de mesure.

Concernant le dioxyde de carbone, l'évolution globale de sa concentration est similaire à celle des concentrations en particules, à savoir une concentration généralement plus faible la nuit et le week-end et deux pointes en journée du lundi au vendredi. Ces profils représentent la fréquentation des voyageurs sur le quai de la gare. Il est à noter que lors des pics de particules en période de fermeture de la gare, des variations de la concentration en dioxyde de carbone sont également observées.

#### **4. CONCLUSION**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare d'Avenue Foch. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines en octobre 2016.

Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare d'Avenue Foch a été de 207  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et 79  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation de la gare et le trafic ferroviaire. Ce dernier est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. Une autre source a été identifiée en période de fermeture de la gare au public. Il s'agit de travaux de maintenance de la voie ferrée qui engendrent les pics de particules les plus élevés lors de cette campagne de mesure.

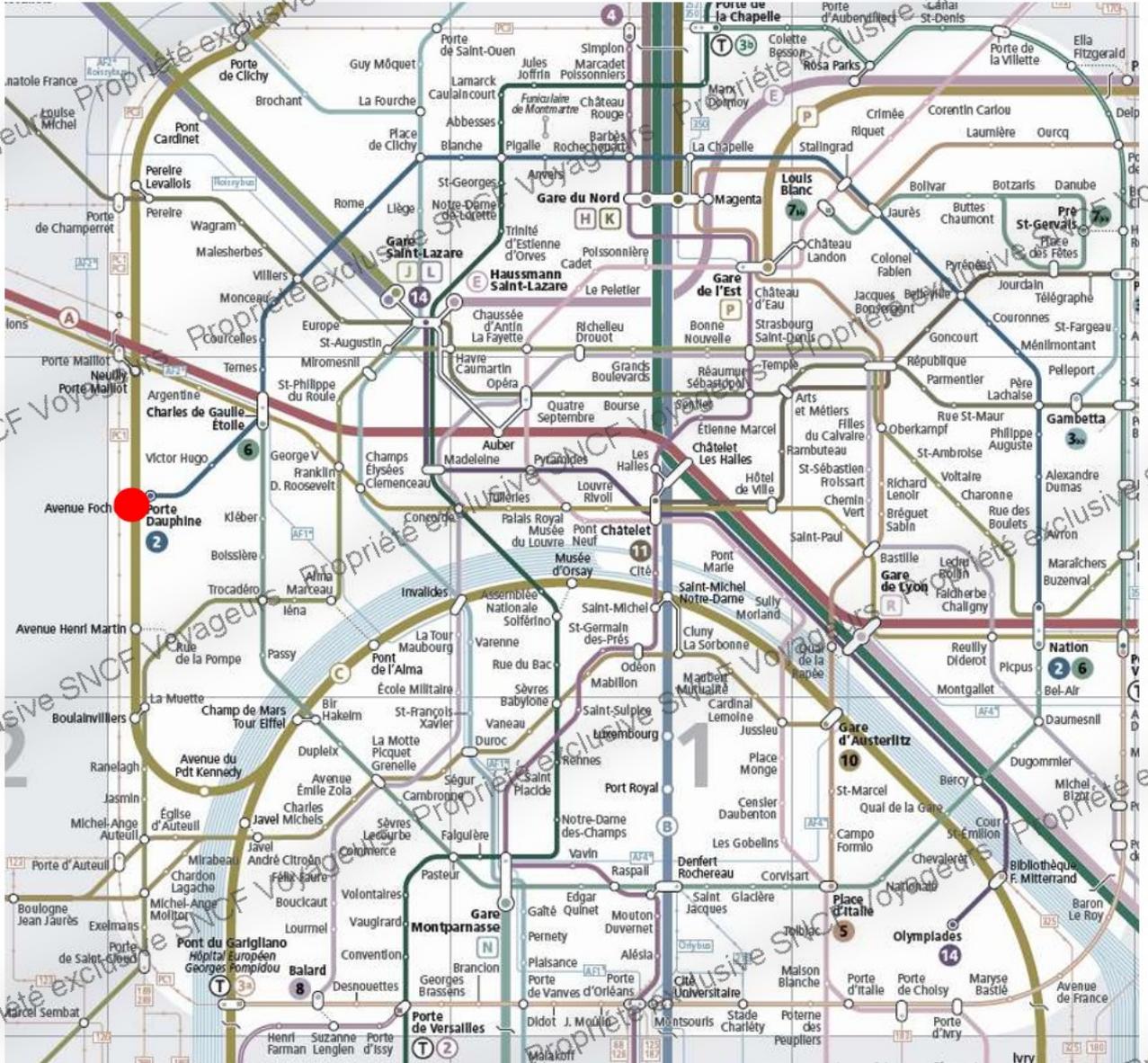
Le niveau d'empoussièrément en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Foch est supérieur à celui des gares de Magenta et de Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le manganèse, le zinc, le cuivre, et le chrome. Il y aurait lieu d'identifier précisément les sources par des études complémentaires.

## ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE D'AVENUE FOCH

### Positionnement

La gare d'Avenue Foch est située sur la ligne C du RER (cf. point rouge sur le plan ci-dessous).



### Caractéristiques architecturales

La gare d'Avenue Foch comporte des parties souterraines (le quai et les voies) et des parties aériennes (le hall voyageurs, le guichet et les accès aux quais). Les deux voies et le quai central qui composent la gare sont encadrés par des tunnels à chaque extrémité. Le quai présente une légère courbe et ne possède pas d'ouverture sur l'extérieur (mis à part les accès via les escaliers situés aux extrémités du quai). Les parties souterraines sont de profondeur faible.

Cette gare n'est pas équipée de ventilation mécanique de confort.



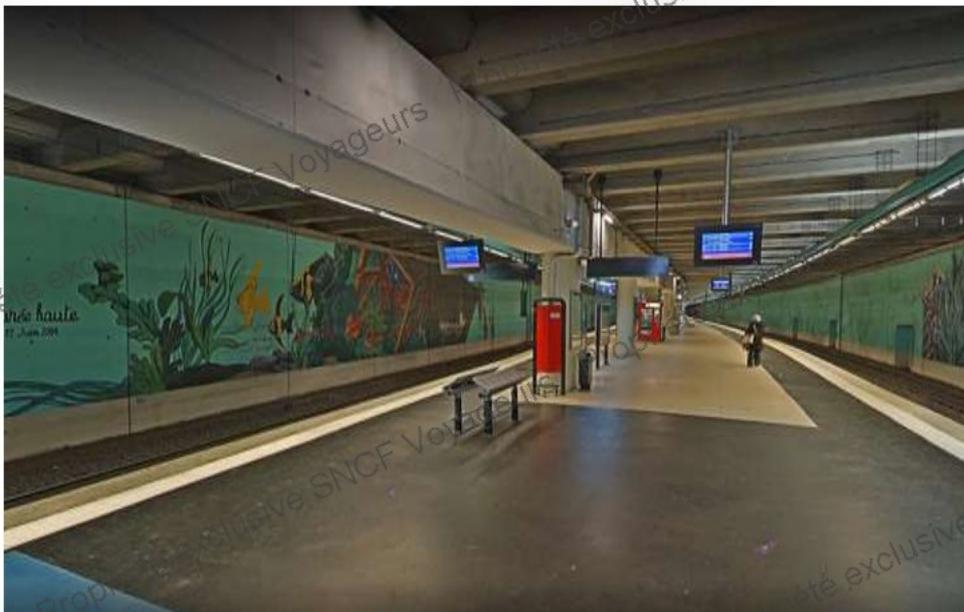
Point de mesure

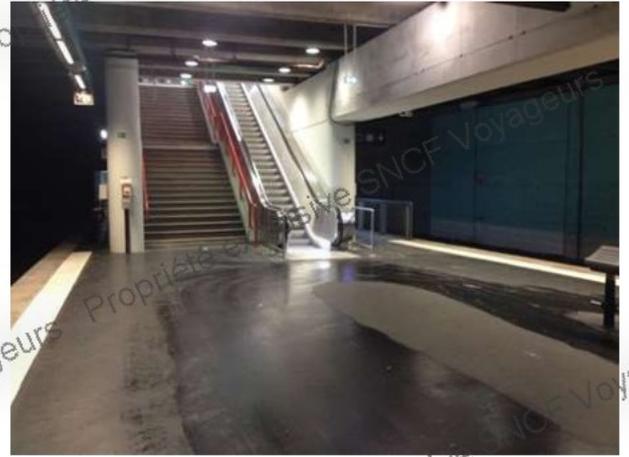
Photos de la gare

Extérieur de la gare :



Intérieur de la gare





Emplacement de la baie de mesure

### Matériel roulant

Le type de matériel circulant en service commercial en gare d'Avenue Foch est uniquement constitué des Z2N (automotrices deux niveaux).

Il existe 5 sous séries de Z2N :

- 5600 : 4 caisses mono courant 1500V Continu ;
- 5600 : 6 caisses mono courant 1500V Continu ;
- 8800 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif ;
- 20500 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif ;
- 20900 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif (équipées de ventilation réfrigérée).

En conditions normales de circulation, le nombre de trains en heure de pointe est au maximum de 15 par heure ; il est globalement de 8 en heure creuse. Lors de la campagne de mesure, les trains ont circulé d'environ 05h30 à 00h45.

### Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la gare accueille chaque jour en moyenne 1 820 personnes (nombre de voyageurs montants en 2014).

**AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE**



**RAPPORT**

**CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT  
DEUX SEMAINES EN GARE D'AVENUE HENRI MARTIN**

**DOC046545-00 / MES017696**

Agence  
Essai  
Ferroviaire

Signature numérique de Laurent DUPONT  
Date : 2017.09.07 15:26:54 +02'00'  
Version d'Adobe Reader : 7.1.0.20

# AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21, avenue du Président Allende  
 F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France  
 affaire.aef@sncf.fr  
 TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

## Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :** **DIRECTION des GARES d'ILE DE FRANCE**  
 A l'attention d'Alain PORTALIER  
 34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE  
 75014 Paris  
 France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE D'AVENUE HENRI MARTIN

### Résumé :

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare d'Avenue Henri Martin. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 20 mai au 04 juin 2017.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation et le trafic ferroviaire.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Henri Martin est intermédiaire par rapport aux gares de Magenta et de Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

### Elaboration du rapport

#### Rédacteur

Nom : EL MOUDEN Leïla  
 Fonction : Technicienne supérieure

#### Vérificateur

Nom : HUPIN Aurélie  
 Fonction : Ingénieure Spécialiste

### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent  
 Fonction : Responsable de pôle

### Avertissement :

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

(La dernière version annule et remplace les versions précédentes)

Version	Date	Motivation et objet de la modification	Paragraphe(s) concerné(s)
00	Indiquée sur la signature numérique		

## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
	Sans objet

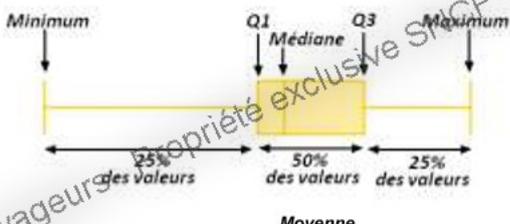
## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC044936-01	Offre – Assistance technique et mesure de qualité de l'air dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France - 2017

## SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles (unités)	Définitions
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micro gramme par mètre cube
$\text{ng}/\text{m}^3$	Nano gramme par mètre cube

## DÉFINITIONS

Termes	Définitions
<b>PM10</b>	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
<b>PM2,5</b>	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
<b>Boîte à moustache</b>	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> <li>- Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</li> </ul> 

# Sommaire

<b>1.</b>	<b>OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1.	DESCRIPTIF DE LA GARE .....	6
2.2.	POLLUANTS MESURES .....	6
2.3.	MOYENS DE MESURE .....	6
2.4.	POINTS DE MESURE .....	7
2.5.	PERIODE DE MESURE .....	7
<b>3.</b>	<b>RESULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>7</b>
3.1.	CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM10 ET PM2,5 .....	7
3.1.1.	<i>Niveaux observés en gare d'Avenue Henri Martin</i> .....	7
3.1.2.	<i>Variabilité temporelle</i> .....	9
3.1.3.	<i>Comparaison avec d'autres gares</i> .....	12
3.2.	CONCENTRATIONS EN METAUX .....	14
3.2.1.	<i>Niveaux observés en gare d'Avenue Henri Martin</i> .....	14
3.2.2.	<i>Variabilité temporelle</i> .....	16
3.3.	CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE .....	17
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>18</b>

<b>ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE D'AVENUE HENRI MARTIN</b> .....	<b>19</b>
---	-----------

## **1. OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pour les quais de la gare d'Avenue Henri Martin. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2. METHODOLOGIE**

### **2.1. Descriptif de la gare**

La gare d'Avenue Henri Martin se situe sur la ligne C du RER, dans le 16<sup>ème</sup> arrondissement de Paris. Cette gare comporte trois voies et deux quais entièrement souterrains. Le bâtiment voyageurs, c'est-à-dire l'espace comprenant le hall voyageurs et le guichet, et les accès aux quais sont aériens. Des tunnels encadrent la gare à chaque extrémité des quais.

Un descriptif de la gare figure en **annexe 1**.

### **2.2. Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

Les concentrations en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc ont été déterminées par prélèvement de particules PM10.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules. Les travaux de maintenance et l'air extérieur sont aussi une source de pollution dans les gares souterraines.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### **2.3. Moyens de mesure**

Les concentrations en particules PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux ont été déterminées par prélèvement de particules PM10 sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc.

Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak.

L'ensemble des appareils a été disposé dans une baie de mesure.

## **2.4. Points de mesure**

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point, au milieu d'un des quais de la gare d'Avenue Henri Martin. Ce point a été positionné au niveau d'un pilier situé à proximité de l'inscription « 4V », du côté de la voie 2. Il est positionné sur le plan de la gare en **annexe 1**.

## **2.5. Période de mesure**

La campagne de mesure a été réalisée du samedi 20 mai au dimanche 04 juin 2017 inclus. Cette période de mesure comprend trois week-ends (samedi et dimanche), un jour férié (jeudi 25 mai) et neuf jours ouvrés, soit seize jours. La fréquence d'acquisition des appareils de mesure de particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et dioxyde de carbone a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1<sup>er</sup> train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués le lundi 29, le mardi 30, le mercredi 31 mai, le jeudi 01 et le vendredi 02 juin 2017 (soit la deuxième semaine de mesure en continu), de 05h34 à 23h05.

Un problème technique survenu sur l'appareil de mesure en continu des particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> a rendu inexploitable ses mesures du lundi 29 mai au dimanche 04 juin 2017 inclus. Les données disponibles pour la concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont donc de neuf jours sur seize.

# **3. RESULTATS ET COMMENTAIRES**

## **3.1. Concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>**

### **3.1.1. Niveaux observés en gare d'Avenue Henri Martin**

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules est présenté sous forme de boîte à moustache pour la période de mesure disponible sur la figure 1.

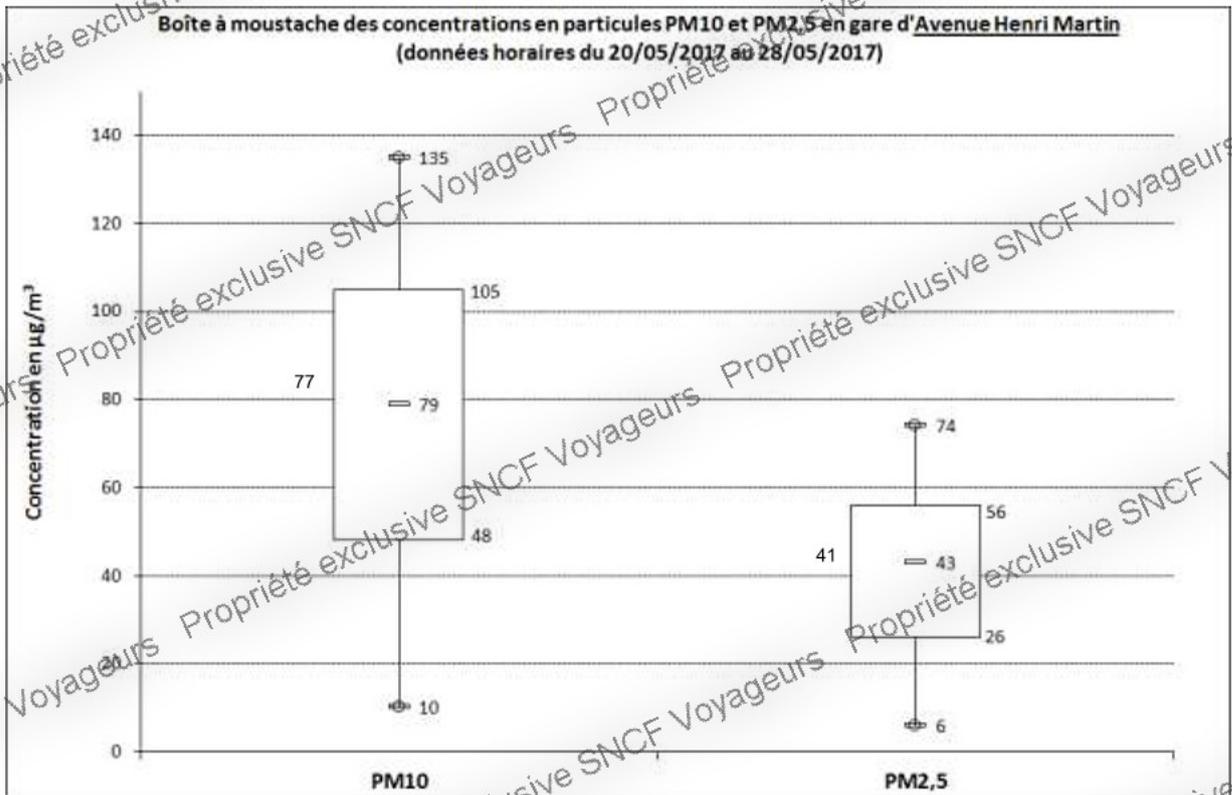


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de  $79 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de  $43 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure disponible.

La concentration moyenne est de  $77 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et de  $41 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 53% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre  $48$  et  $105 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à  $10$  et  $135 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre  $26$  et  $56 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à  $6$  et  $74 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des variations de concentration assez importantes.

### 3.1.2. Variabilité temporelle

La concentration en moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble des données disponibles lors de la campagne de mesure.

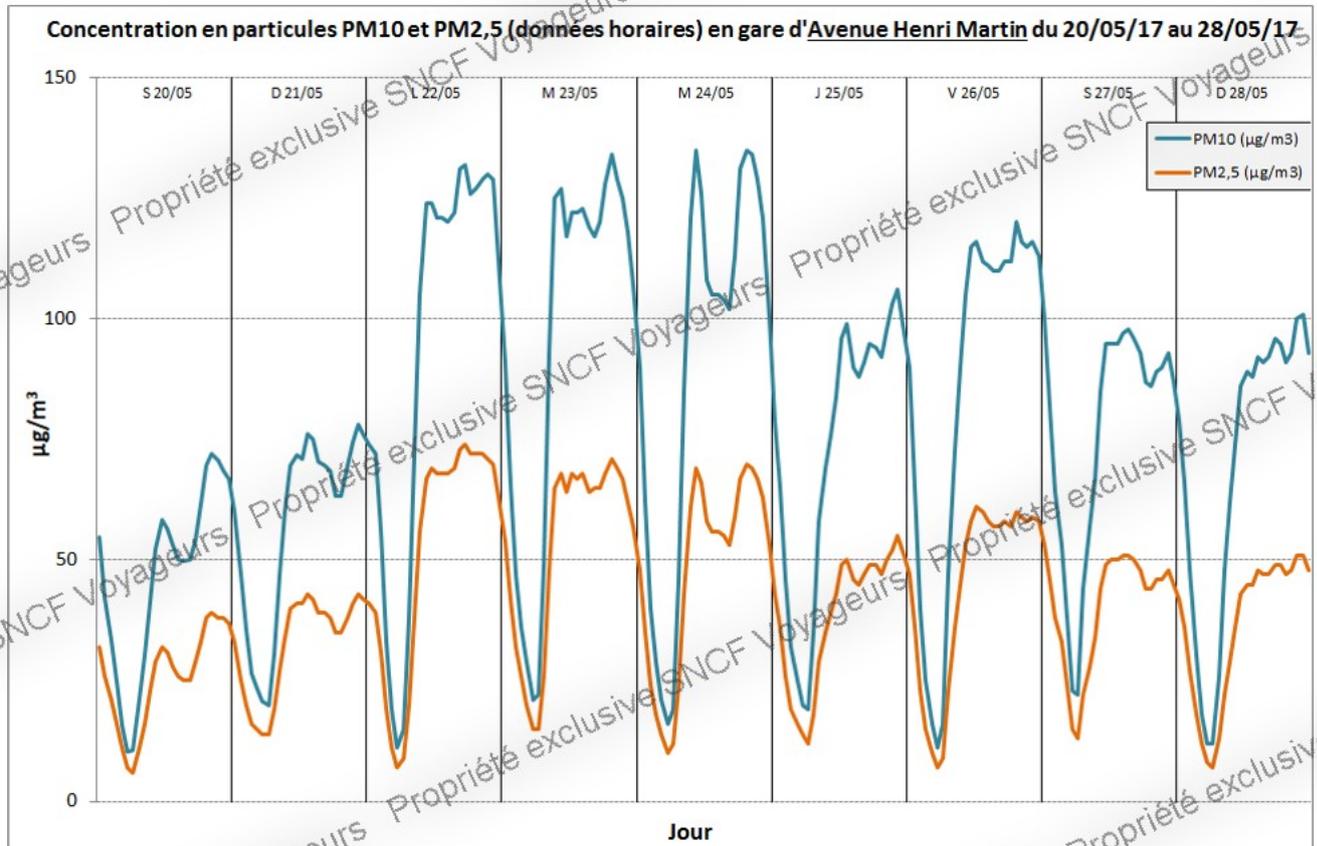


Figure 2

A l'échelle de la semaine, les niveaux sont légèrement plus faibles les jours de week-end par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi). Les concentrations moyennes pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous. Le jour férié (jeudi 25 mai) a été compté dans les jours de week-end.

	Concentration moyenne pour les <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi, hors férié)	Concentration moyenne pour les jours de <u>week-end</u> (samedi, dimanche et férié)
Concentration en particules PM10 en µg/m <sup>3</sup>	91	65
Concentration en particules PM2,5 en µg/m <sup>3</sup>	49	35

Tableau 1

Ainsi, la différence de niveaux moyens de particules entre la semaine et le week-end est assez marquée pour la gare d'Avenue Henri Martin. On constate une diminution des concentrations de l'ordre de 29% pour les PM10 et les PM2,5. Il est à noter que le nombre de circulation de trains varie entre les jours de semaine et de week-end. En effet, le trafic théorique en gare d'Avenue Henri Martin lors de la campagne de mesure était de 168 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi et 143 trains le samedi et le dimanche ; soit une diminution de 15% entre la semaine et le week-end. En relatif, la diminution des concentrations en particules est plus

importante que la baisse de circulation entre les jours de semaine et les week-ends. La fréquentation des voyageurs est un autre paramètre qui pourrait expliquer cette différence.

A l'échelle du jour, les concentrations en particules sont moins élevées aux heures de fermeture de la gare par rapport aux heures d'ouverture.

En période d'ouverture de la gare, deux pointes par jour, d'amplitude variable, se distinguent globalement de la période creuse. Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les jours ouvrés pour les PM10 et les PM2,5 en figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés disponibles (du lundi au vendredi, hors jour férié).

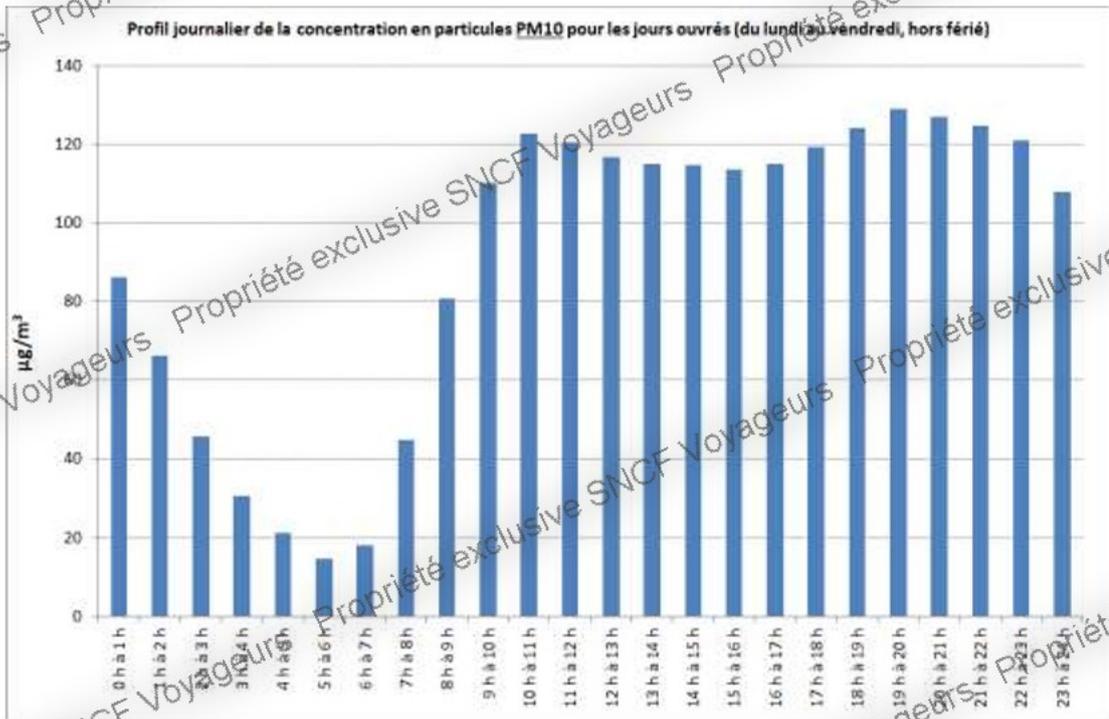


Figure 3

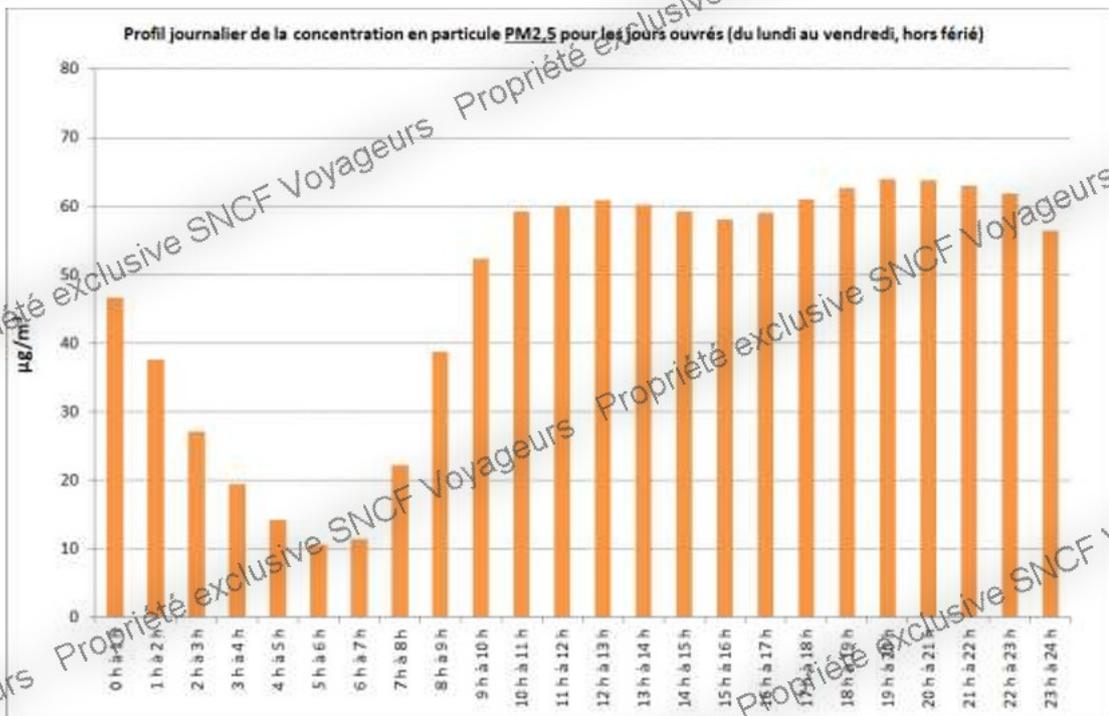


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés permettent de distinguer, de façon plus accentuée pour les PM10, une pointe du matin (approximativement entre 9h et 13h, avec un maximum sur la période 10h-11h pour les particules PM10) et une pointe du soir (approximativement entre 18h et 22h, avec un maximum sur la période 19h-20h pour les particules PM10).

Le profil des concentrations en particules est globalement corrélé au nombre théorique de trains circulant dans cette gare. Comme le montre la figure 5 ci-dessous, il apparaît un décalage entre le pic de circulation et le pic de concentration le matin et le soir. Ceci peut en partie s'expliquer par la moyenne glissante calculée par l'appareil de mesure.

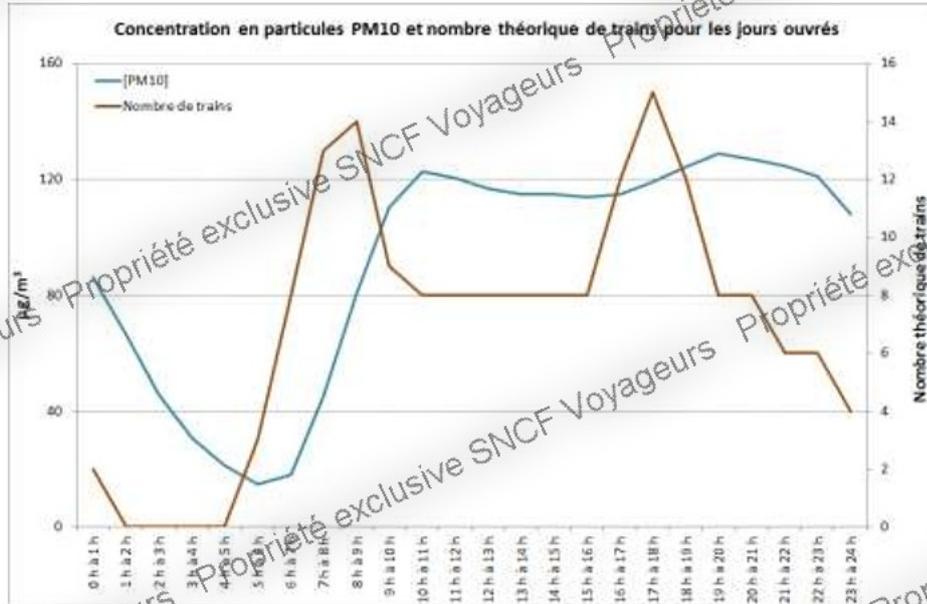


Figure 5

Ces profils journaliers montrent que les concentrations les plus basses sont observées peu après l'ouverture de la gare.

Ainsi, il existe une relation entre les teneurs en particules et les activités dans la gare d'Avenue Henri Martin. Le trafic ferroviaire est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. En période de pointe du matin et du soir, la densité du trafic et des voyageurs est plus importante, ce qui conduit à des émissions de particules plus élevées.

Enfin, de par l'activité en gare, les particules émises sont sans cesse remises en suspension dans l'air, lors des passages des trains et des déplacements des voyageurs.

### 3.1.3. Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare d'Avenue Henri Martin ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare d'Avenue Henri Martin (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part, pour la période de mesure disponible en gare d'Avenue Henri Martin.

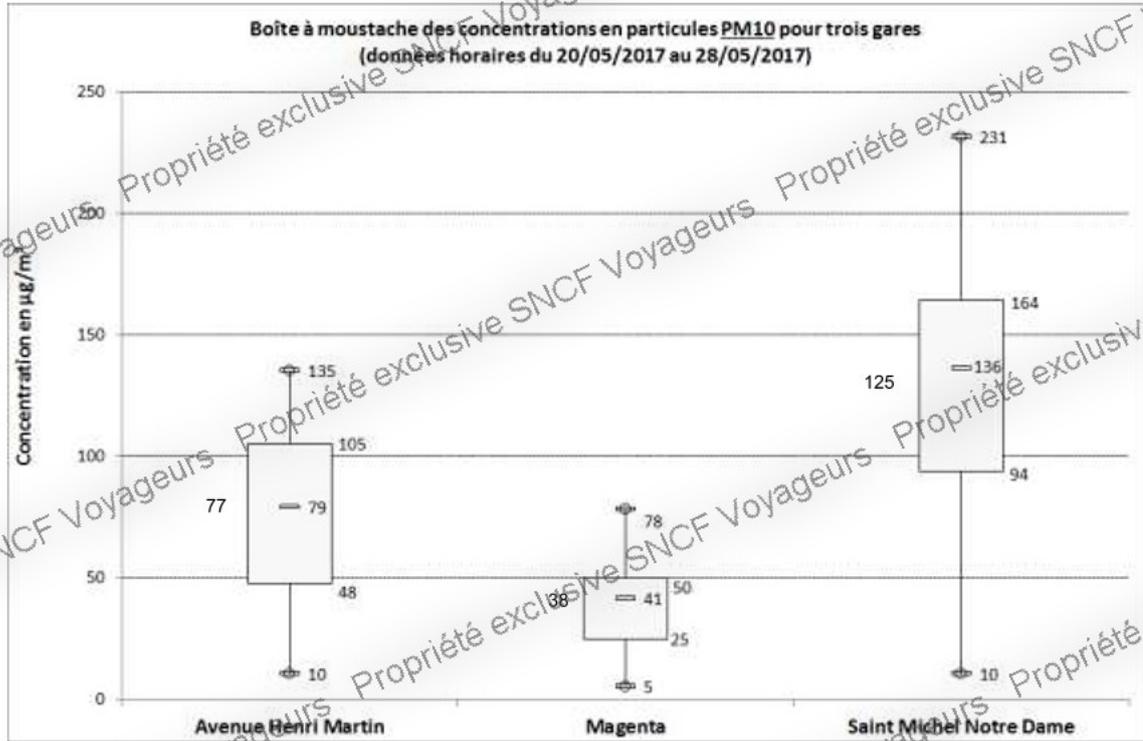


Figure 6

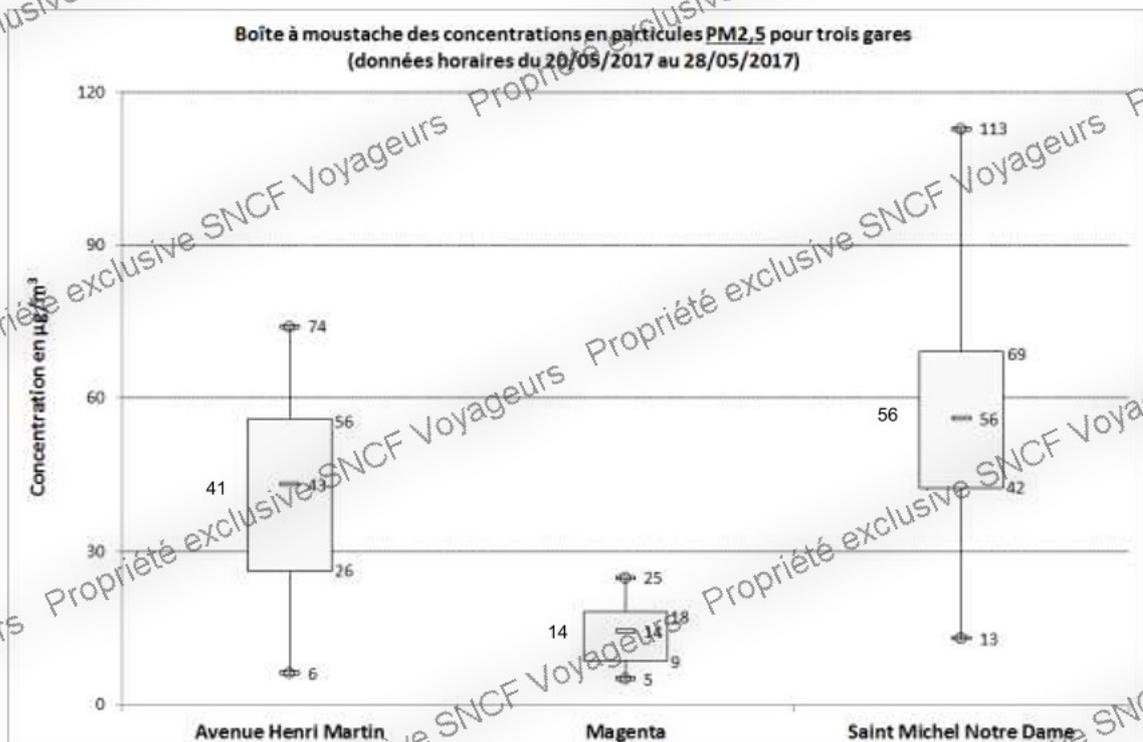


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrément en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Henri Martin est inférieur par rapport à la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur par rapport à la gare de Magenta. En effet, en gare d'Avenue Henri Martin, la concentration moyenne en PM10 est environ 1,5 fois moins élevée qu'en gare de Saint Michel Notre Dame et deux fois plus importante qu'en gare de Magenta.

Les maximums observés en PM10 et PM2,5 sont plus élevés en gare de Saint Michel Notre Dame par rapport aux deux autres gares. Quant à la dispersion des concentrations en particules, elle est plus importante pour la gare de Saint Michel Notre Dame, suivie d'Avenue Henri Martin et enfin Magenta pour laquelle les concentrations sont moins étendues (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75). Cependant, le rapport entre les percentiles 25 et 75 (compris entre 0,45 et 0,60) restent plutôt stables pour les trois gares.

Les gares d'Avenue Henri Martin et de Saint Michel Notre Dame sont toutes les deux situées sur la ligne C du RER ; le type de matériel roulant est donc identique entre ces gares. La gare d'Avenue Henri Martin a la particularité d'avoir une voie centrale supplémentaire. Concernant la fréquentation en termes de voyageurs et de trains, elle est largement différente puisque la gare d'Avenue Henri Martin accueille 1 670 voyageurs montants par jour alors que la gare de Saint Michel Notre Dame en accueille 59 480 (soit un facteur d'environ 36 entre les deux gares). Concernant le nombre de trains théoriques par jour, il est de 143 à Avenue Henri Martin contre 477 à Saint Michel Notre Dame pour les jours ouvrés, soit environ 3 fois moins de trains pour la gare d'Avenue Henri Martin. Ceci peut expliquer le fait que les niveaux moyens soient plus faibles en gare d'Avenue Henri Martin par rapport à Saint Michel Notre Dame.

La gare de Magenta, où les niveaux de particules sont relativement faibles, est largement plus fréquentée (78 210 voyageurs montants, 432 trains pour les jours ouvrés) que la gare d'Avenue Henri Martin. Magenta est une gare très volumineuse et possède une ventilation mécanique optimisée, ce qui explique des concentrations plus basses.

## 3.2. Concentrations en métaux

### 3.2.1. Niveaux observés en gare d'Avenue Henri Martin

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare d'Avenue Henri Martin, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les taux de concentration moyens pour les dix métaux mesurés.

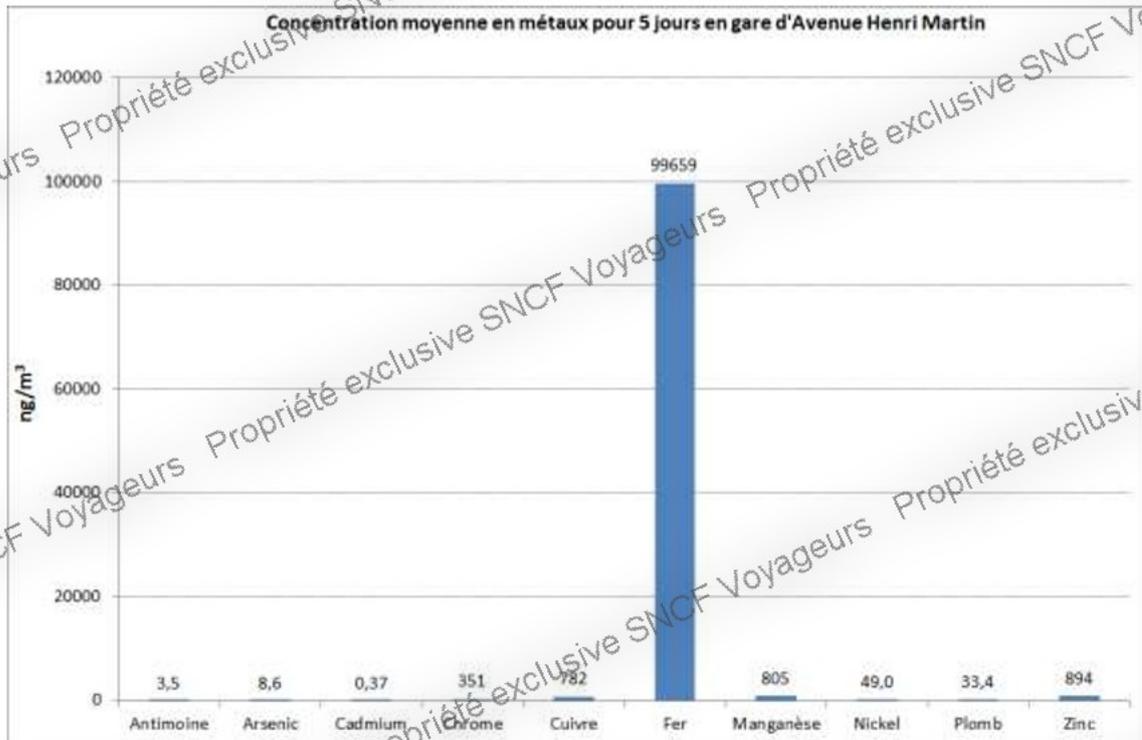


Figure 8

En moyenne, le fer représente 48 % de la composition des particules PM10. Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (97,1 % de fer et 2,9 % d'autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces particules riches en fer sont principalement issues d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

La figure 9 montre les concentrations pour les neuf autres métaux, excepté le fer, afin de rendre le graphique plus lisible.

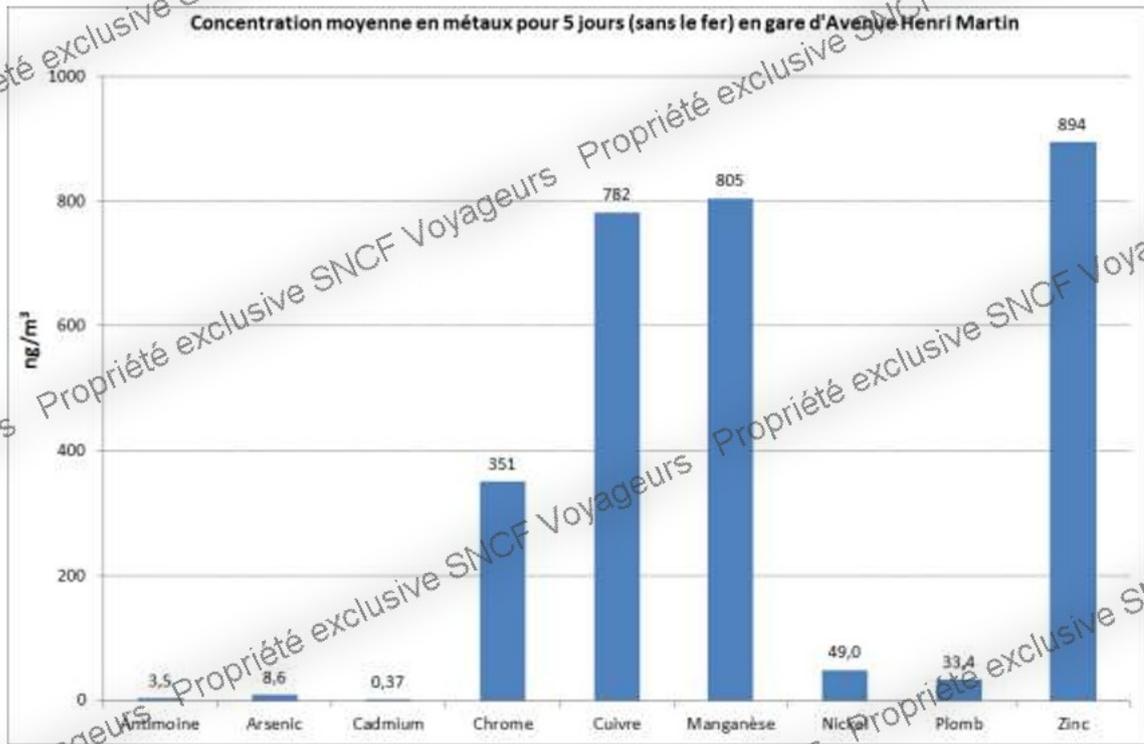


Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le manganèse, le cuivre et le chrome. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le nickel, le plomb, l'arsenic, l'antimoine et le cadmium.

En complément, la figure 10 reprend la répartition moyenne en pourcentage de chacun des dix métaux analysés pour les cinq journées de mesure.

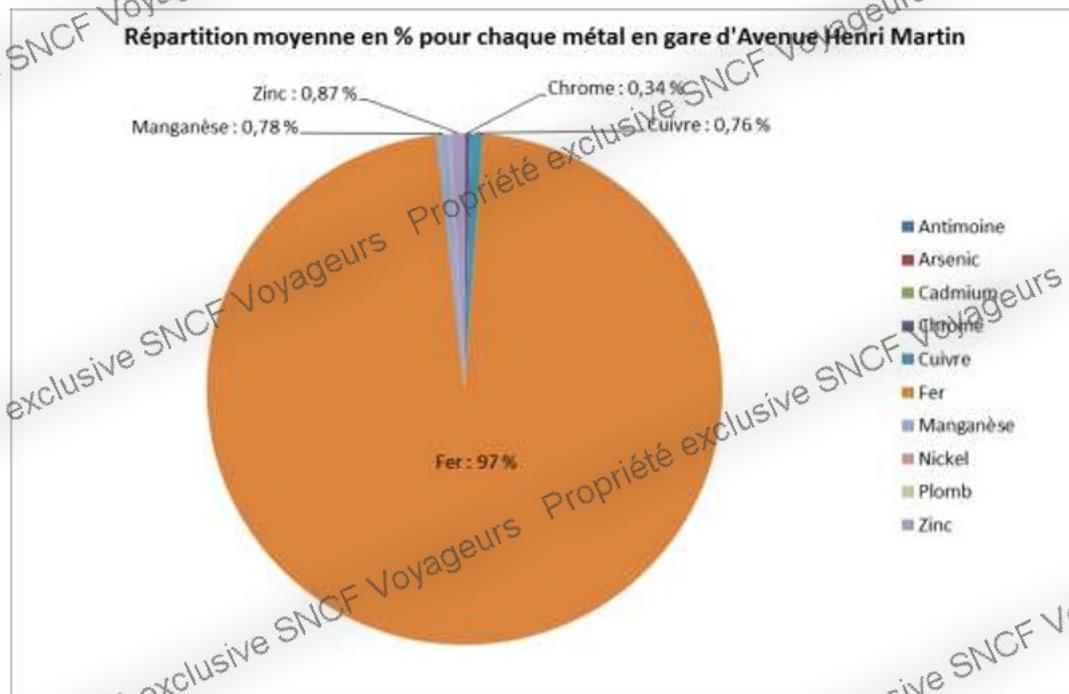
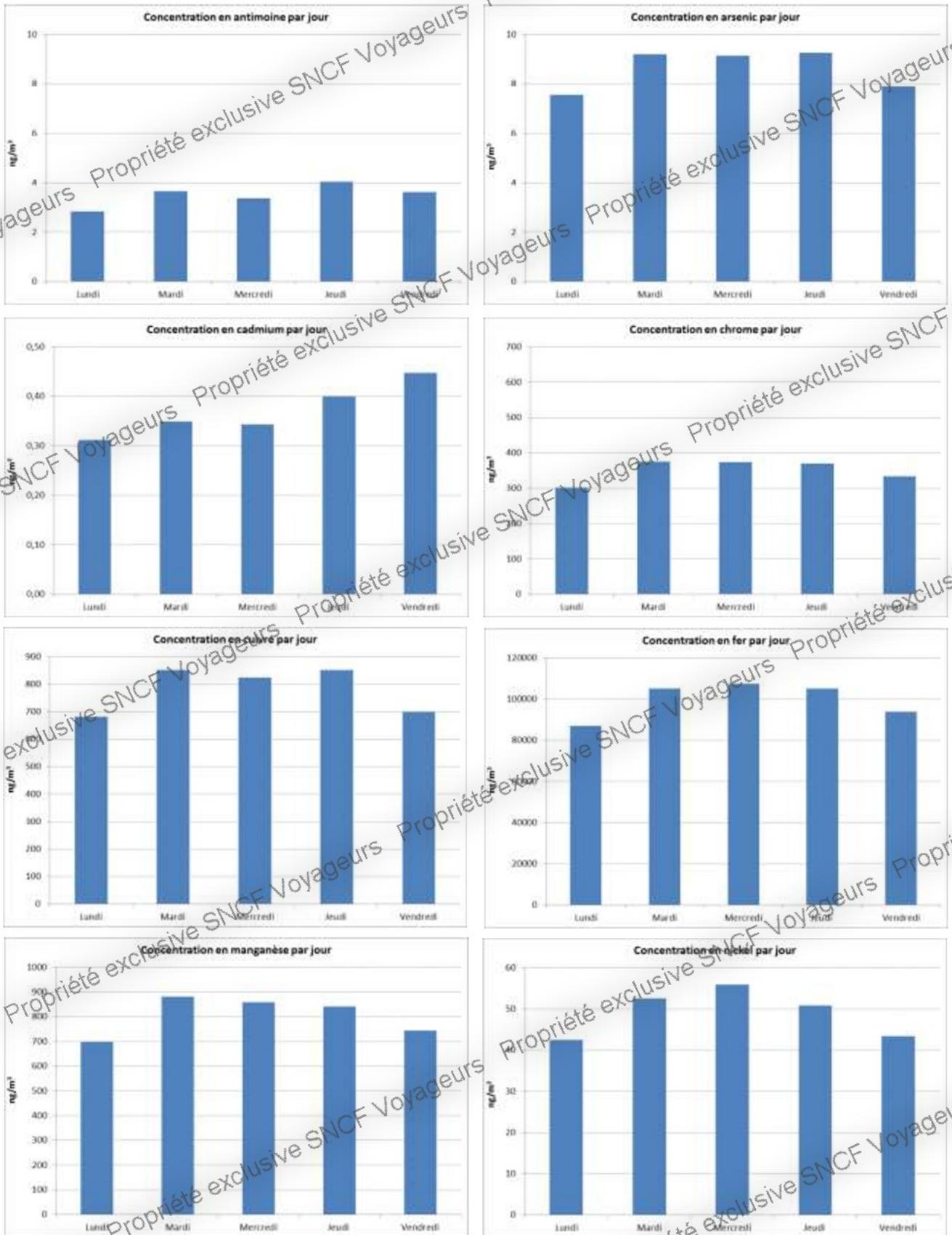


Figure 10

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse, qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux, ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2. Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées.



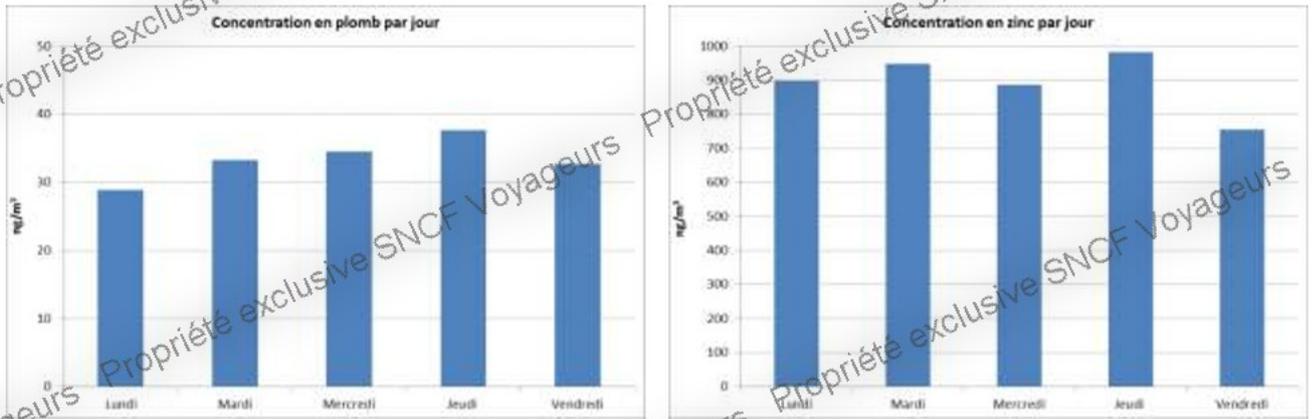


Figure 11

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre, selon les éléments. Elles varient globalement dans le même sens pour la majorité des éléments, à savoir des concentrations plus faibles le lundi et le vendredi par rapport au mardi, mercredi et jeudi.

Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure.

### 3.3. Concentrations en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 12 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

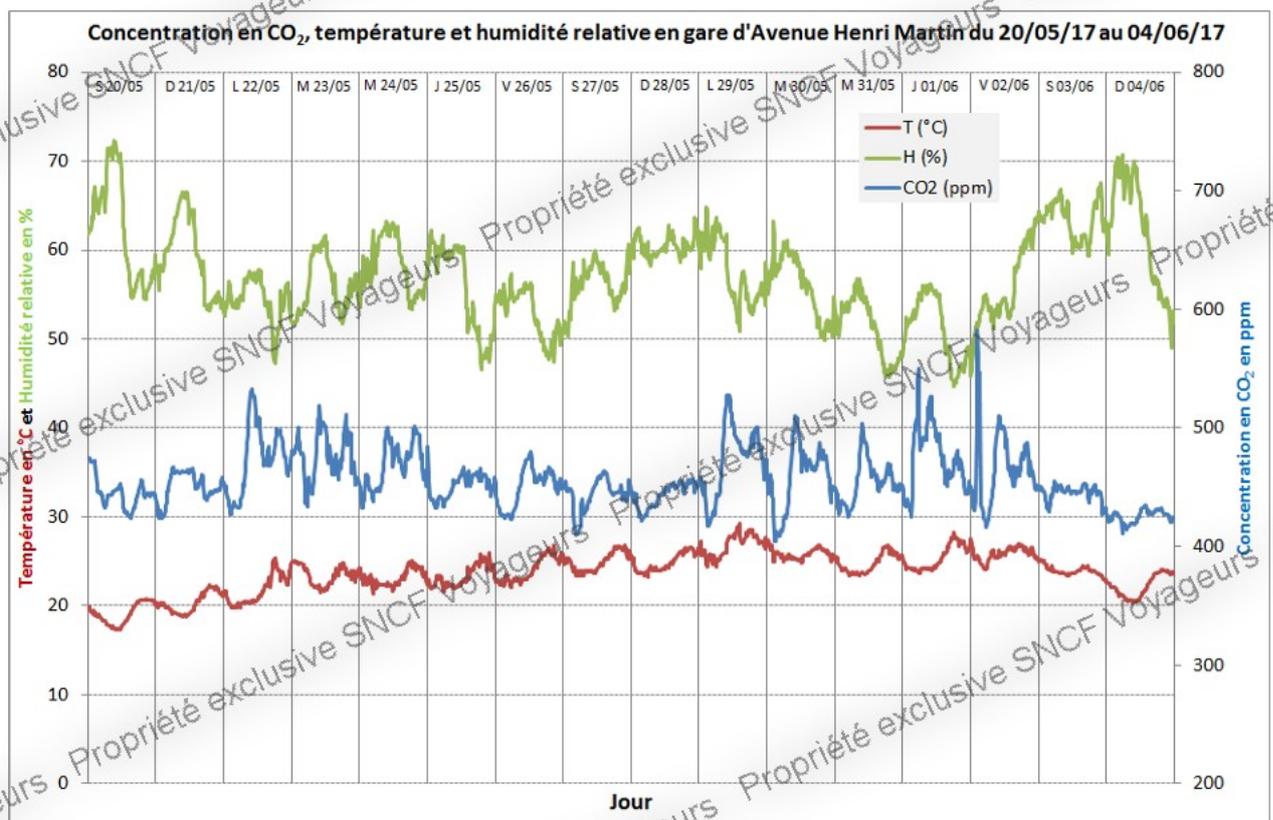


Figure 12

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare d'Avenue Henri Martin est restée plutôt stable, avec une moyenne proche de 24°C. L'humidité relative était comprise entre 45 et 72 %.

Concernant le dioxyde de carbone, l'évolution globale de sa concentration est similaire à celle des concentrations en particules ; à savoir une concentration généralement plus faible la nuit et les jours de week-end ou férié et deux pointes en journée du lundi au vendredi. Ces profils représentent la fréquentation des voyageurs sur le quai de la gare.

#### **4. CONCLUSION**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare d'Avenue Henri Martin. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 20 mai au 04 juin 2017.

Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare d'Avenue Henri Martin a été de 77  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et 41  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation de la gare et le trafic ferroviaire. Ce dernier est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare.

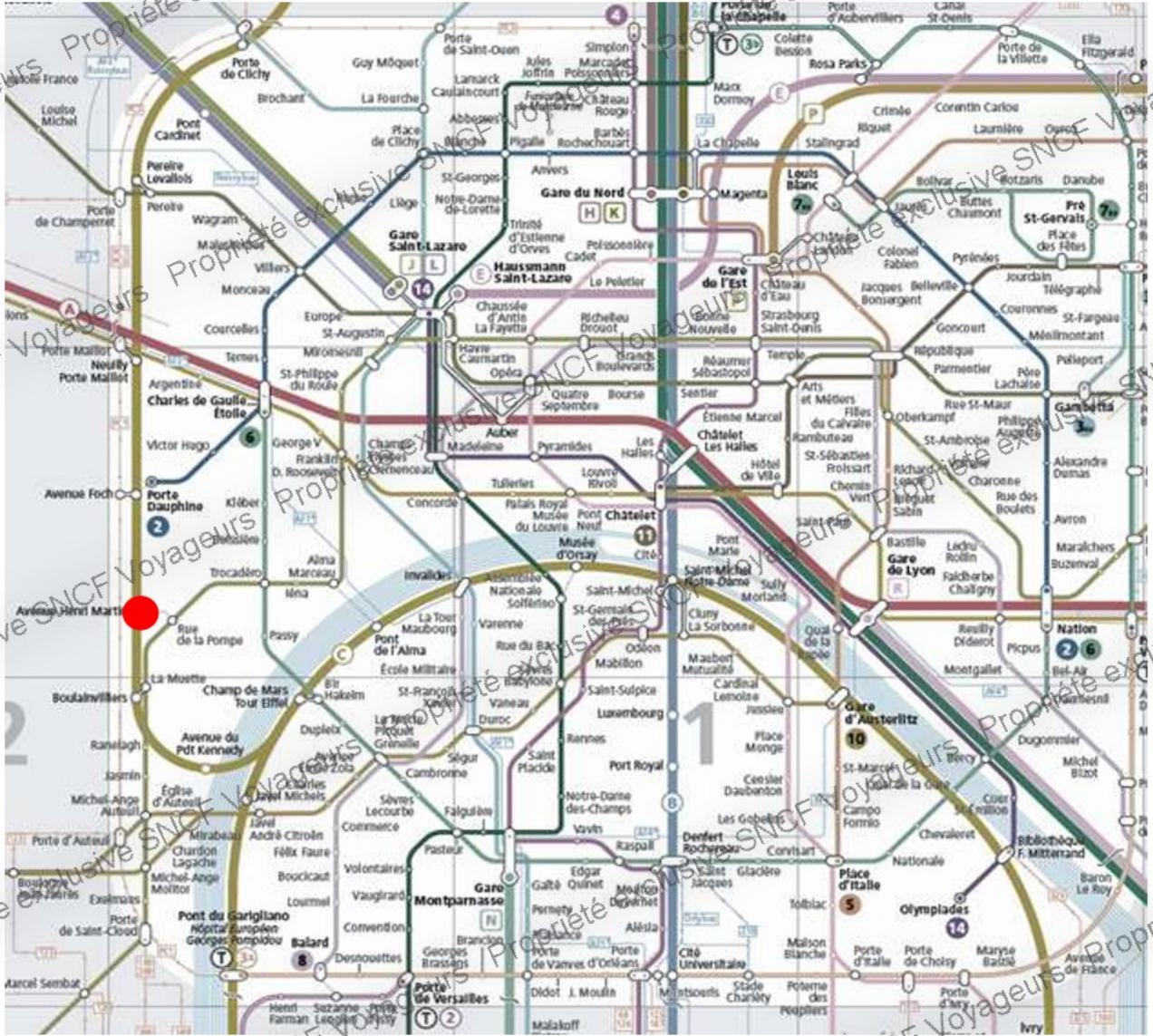
Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Henri Martin est inférieur par rapport à la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur par rapport à la gare de Magenta.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le manganèse, le cuivre et le chrome. Il y aurait lieu d'identifier précisément les sources par des études complémentaires.

## ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE D'AVENUE HENRI MARTIN

### Positionnement

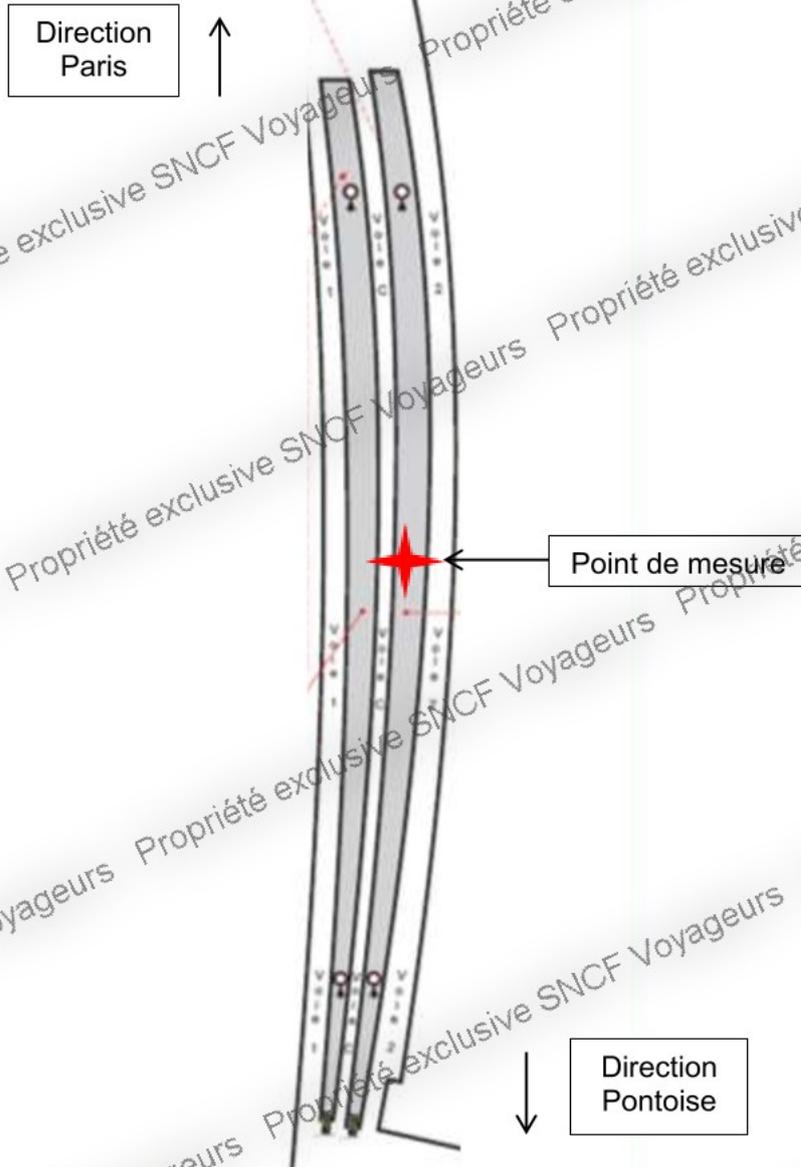
La gare d'Avenue Henri Martin est située sur la ligne C du RER (cf. point rouge sur le plan ci-dessous).



### Caractéristiques architecturales

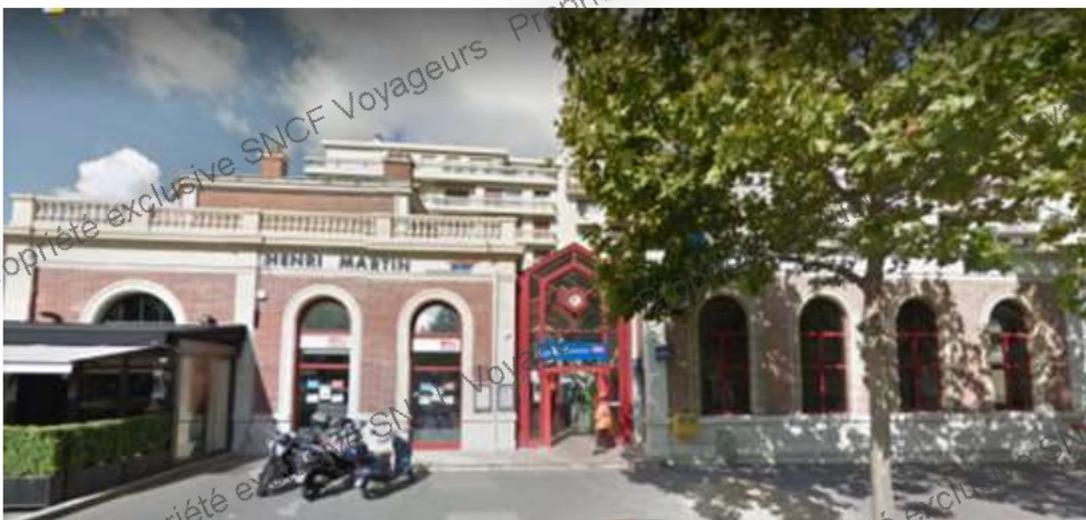
La gare d'Avenue Henri Martin comporte des parties souterraines (les quais et les voies) et des parties aériennes (le hall voyageurs, le guichet et les accès aux quais). Les deux quais et les trois voies qui composent la gare sont encadrés par des tunnels à chaque extrémité. Les quais présentent une légère courbe et ne possèdent pas d'ouverture sur l'extérieur (mis à part les accès via les escaliers situés aux extrémités du quai). Les parties souterraines sont de profondeur faible.

Cette gare n'est pas équipée de ventilation mécanique de confort.



Photographies de la gare

Extérieur de la gare





Intérieur de la gare



Baie contenant les appareils de mesure

### Matériel roulant

Le type de matériel circulant en service commercial en gare d'Avenue Henri Martin est uniquement constitué des Z2N (automotrices deux niveaux).

Il existe 5 sous séries de Z2N :

- 5600 : 4 caisses mono courant 1500V Continu ;
- 5600 : 6 caisses mono courant 1500V Continu ;
- 8800 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif ;
- 20500 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif ;
- 20900 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif (équipées de ventilation réfrigérée).

En conditions normales de circulation, le nombre de trains en heure de pointe est au maximum de 8 par heure ; il est globalement de 4 en heure creuse. Lors de la campagne de mesure, les trains ont circulé de 05h34 à 23h05.

### Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la gare accueille chaque jour en moyenne 1 670 personnes (nombre de voyageurs montants en 2014).

# AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE



## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE BOULAINVILLIERS

**DOC044213-00 / MES016243**

# AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21, avenue du Président Allende  
 F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France  
 affaire.aef@sncf.fr  
 TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

## Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :**  
**DIRECTION des GARES d'ILE de FRANCE**  
 A l'attention d'Alain PORTALIER  
 34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE  
 75014 Paris  
 France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE BOULAINVILLIERS

### Résumé :

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de Boulainvilliers. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et dioxyde de carbone pendant deux semaines en septembre 2016.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation et le trafic ferroviaire. Le niveau d'empoussièrement en PM10 en gare de Boulainvilliers est intermédiaire par rapport aux gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

### Elaboration du rapport

#### Rédacteur

Nom : HUPIN Aurélie  
 Fonction : Cadre Spécialiste

#### Vérificateur

Nom : ARRIGONI Vincent  
 Fonction : Coordinateur technique

### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent  
 Fonction : Responsable de pôle

### Avertissement :

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

(La dernière version annule et remplace les versions précédentes)

Version	Date	Motivation et objet de la modification	Paragraphe(s) concerné(s)
00	Indiquée sur la signature numérique		

## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
	Sans objet

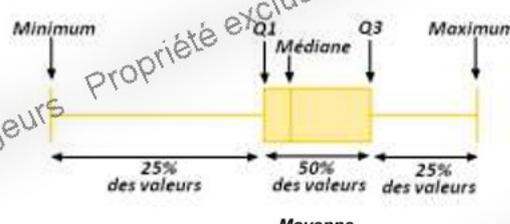
## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC040574-00	Offre – Mesures de concentrations en particules dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France – Année 2016
DOC042475-01	Offre – Mesures complémentaires en gare (métaux et CO <sub>2</sub> ) et mesures individuelles sur agents – 2016

## SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles (unités)	Définitions
µg/m <sup>3</sup>	Micro gramme par mètre cube
ng/m <sup>3</sup>	Nano gramme par mètre cube

## DÉFINITIONS

Termes	Définitions
PM10	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres (µm)
PM2,5	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres (µm)
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> <li>- Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</li> </ul> 

# Sommaire

<b>1.</b>	<b>OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1.	DESCRIPTIF DE LA GARE .....	6
2.2.	POLLUANTS MESURES .....	6
2.3.	MOYENS DE MESURE .....	6
2.4.	POINTS DE MESURE .....	7
2.5.	PERIODE DE MESURE .....	7
<b>3.</b>	<b>RESULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>7</b>
3.1.	CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM10 ET PM2,5 .....	7
3.1.1.	<i>Niveaux observés en gare de Boulainvilliers</i> .....	7
3.1.2.	<i>Variabilité temporelle</i> .....	8
3.1.3.	<i>Comparaison avec d'autres gares</i> .....	10
3.2.	CONCENTRATIONS EN METAUX .....	12
3.2.1.	<i>Niveaux observés en gare de Boulainvilliers</i> .....	12
3.2.2.	<i>Variabilité temporelle</i> .....	13
3.3.	CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE .....	15
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>16</b>
	<b>ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE BOULAINVILLIERS</b> .....	<b>17</b>
	<b>ANNEXE 2 : PHOTOS DE LA BAIE DE MESURE</b> .....	<b>21</b>

## **1. OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et dioxyde de carbone pour les quais de la gare de Boulainvilliers. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2. METHODOLOGIE**

### **2.1. Descriptif de la gare**

La gare de Boulainvilliers se situe sur la ligne C du RER, dans le 16<sup>ème</sup> arrondissement de Paris. Cette gare comporte deux voies et deux quais entièrement souterrains. Le bâtiment voyageurs, c'est-à-dire l'espace comprenant le hall d'accueil et le guichet, et les accès aux quais sont aériens. Des tunnels encadrent la gare à chaque extrémité de quais.

Un descriptif de la gare figure en **annexe 1**.

### **2.2. Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

La concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc a été déterminée par prélèvement de particules PM10.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### **2.3. Moyens de mesure**

Les concentrations en particules PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux sont déterminées par prélèvement de particules PM10 sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres sont analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc.

Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak Plus.

L'ensemble des appareils est disposé dans une baie de mesure dont une photo figure en **annexe 2**.

## 2.4. Points de mesure

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point sur un quai de la gare de Boulainvilliers. Ce point a été positionné au milieu du quai B (côte voie 1), à proximité immédiate du repère 4. Il est positionné sur le plan de la gare en annexe 1.

## 2.5. Période de mesure

Les mesures en continu de la concentration en particules PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub> et dioxyde de carbone ont été réalisées du samedi 10 septembre au dimanche 25 septembre 2016 inclus. Cette période de mesure comprend trois week-ends (samedi et dimanche) et dix jours ouvrés, soit seize jours. La fréquence d'acquisition des appareils a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1<sup>er</sup> train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués le lundi 19, le mardi 20, le mercredi 21, le jeudi 22 et le vendredi 23 septembre 2016 (soit la deuxième semaine de mesure en continu), de 05h30 à 00h30.

# 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

## 3.1. Concentrations en particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>

### 3.1.1. Niveaux observés en gare de Boulainvilliers

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules est présenté sous forme de boîte à moustache pour l'ensemble de la campagne de mesure sur la figure 1.

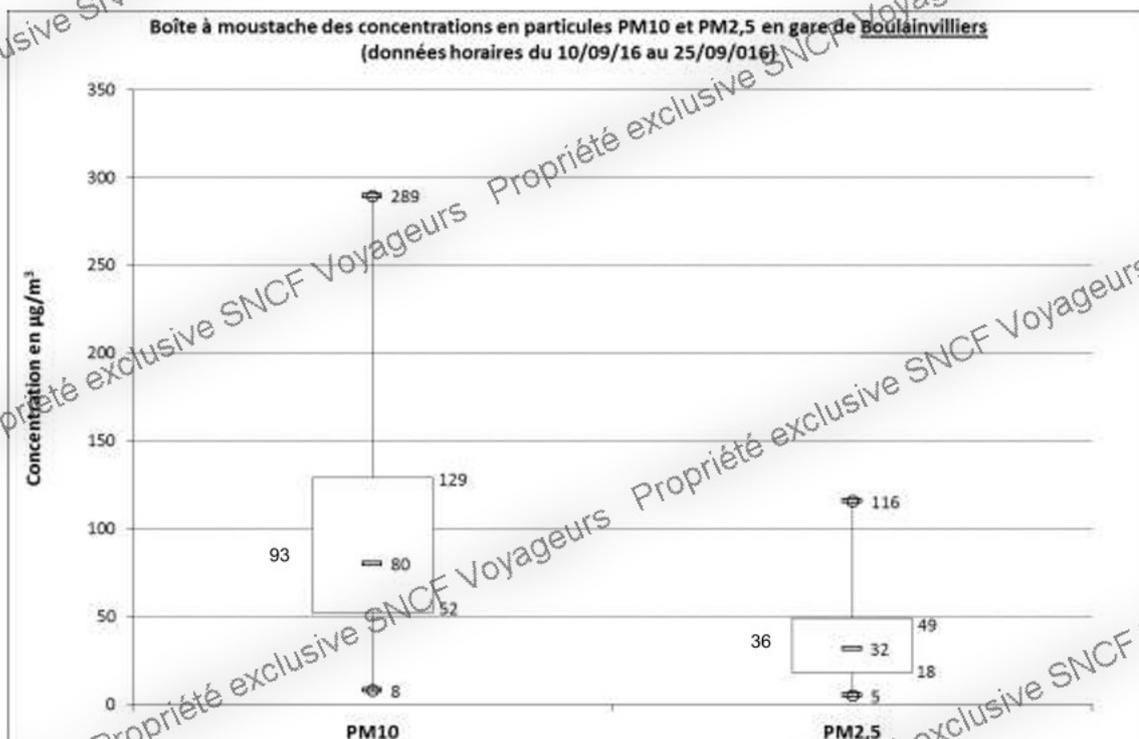


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de  $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de  $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure.

La concentration moyenne est de  $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 38% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre  $52$  et  $129 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à  $8$  et  $289 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre  $18$  et  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à  $5$  et  $116 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des variations de concentration relativement importantes.

### 3.1.2 Variabilité temporelle

La concentration en moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

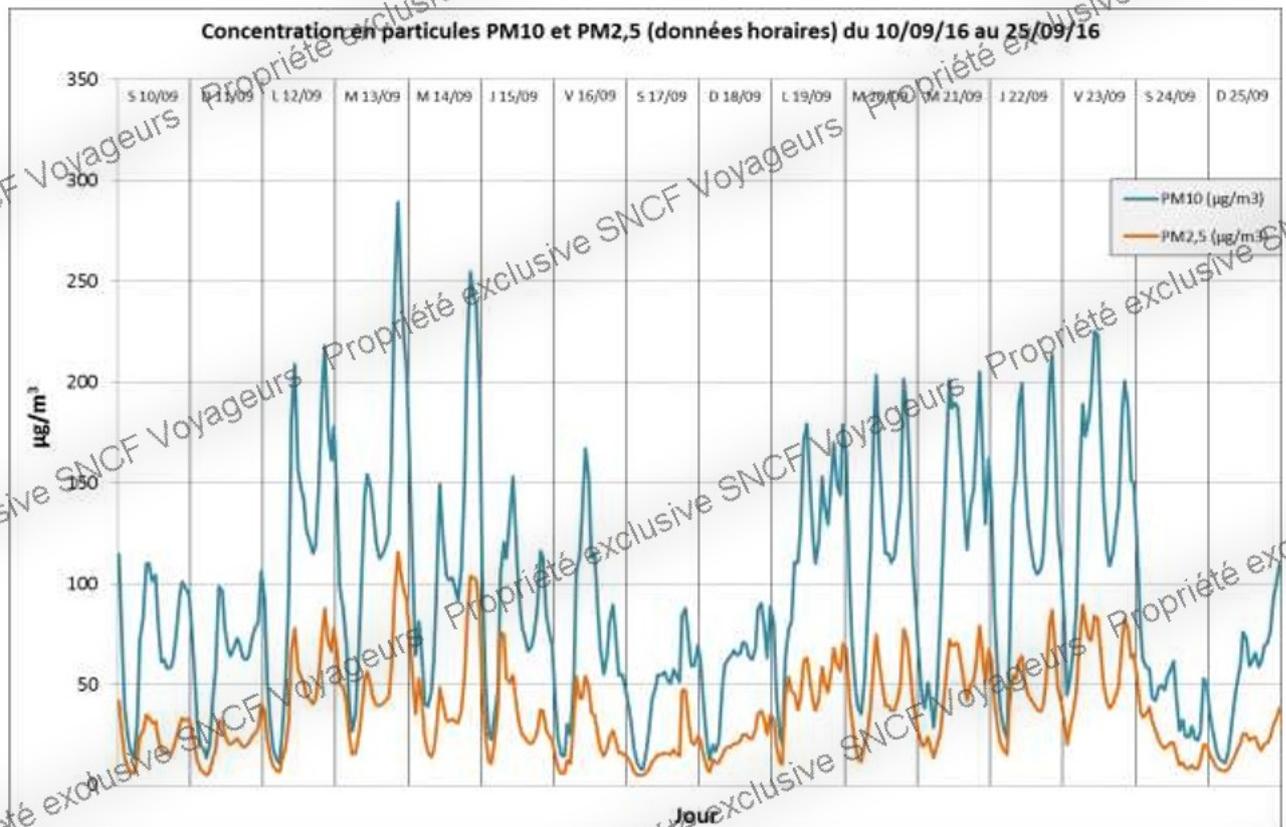


Figure 2

A l'échelle de la semaine, les niveaux sont plus faibles les jours de week-end par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi).

Les concentrations moyennes pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

	Concentration moyenne pour les <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne pour les jours de <u>week-end</u> (samedi et dimanche)
Concentration en particules PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	116	56
Concentration en particules PM2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	45	20

Tableau 1

Ainsi, les niveaux moyens de particules sont environ deux fois plus faibles en week-end par rapport aux jours ouvrés, pour les deux tailles de particules.

Ces résultats sont en lien avec la baisse du nombre de circulation de train le week-end. En effet, le trafic théorique en gare de Boulainvilliers lors de la campagne de mesure était de 171 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi, 139 trains le samedi et 141 trains le dimanche. En relatif, la diminution des concentrations en particules est plus importante que la baisse de circulation entre les jours de semaine et les week-ends. La fréquentation des voyageurs est un autre paramètre qui peut expliquer cette différence. Sans avoir de données chiffrées, pour une gare de ce type, la fréquentation est plus faible les week-ends par rapport aux autres jours.

A l'échelle du jour, les concentrations en particules sont moins élevées aux heures de fermeture de la gare (environ de 01h à 05h) par rapport aux heures d'ouverture.

En période d'ouverture de la gare, deux pointes par jour, d'amplitude variable, se distinguent globalement de la période creuse, de façon plus accentuée lors des jours ouvrés. Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les PM10 et les PM2,5 en figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés (du lundi au vendredi).

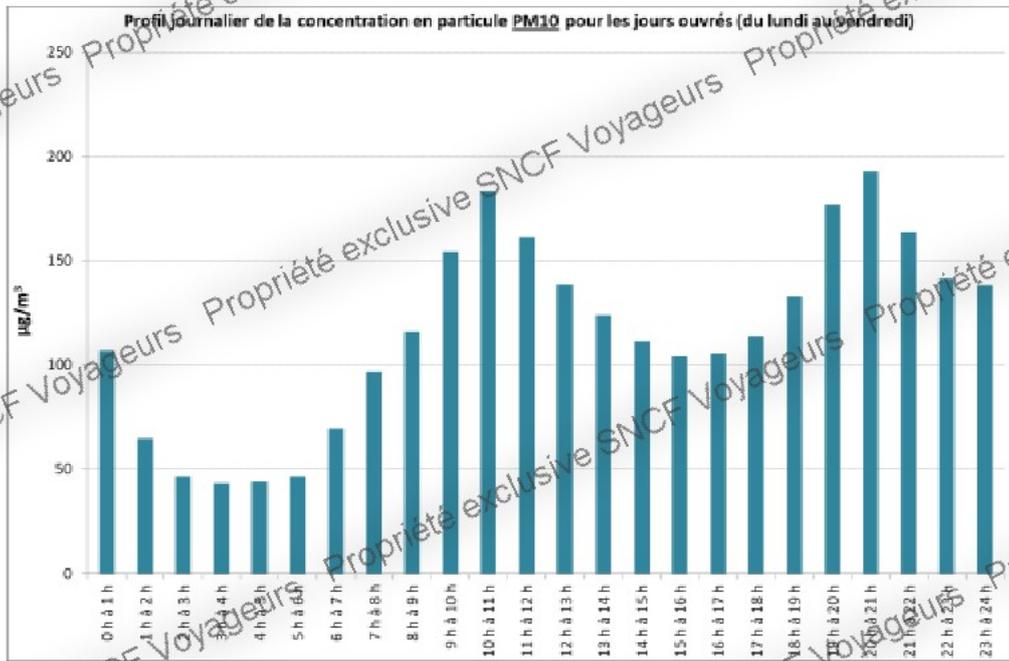


Figure 3

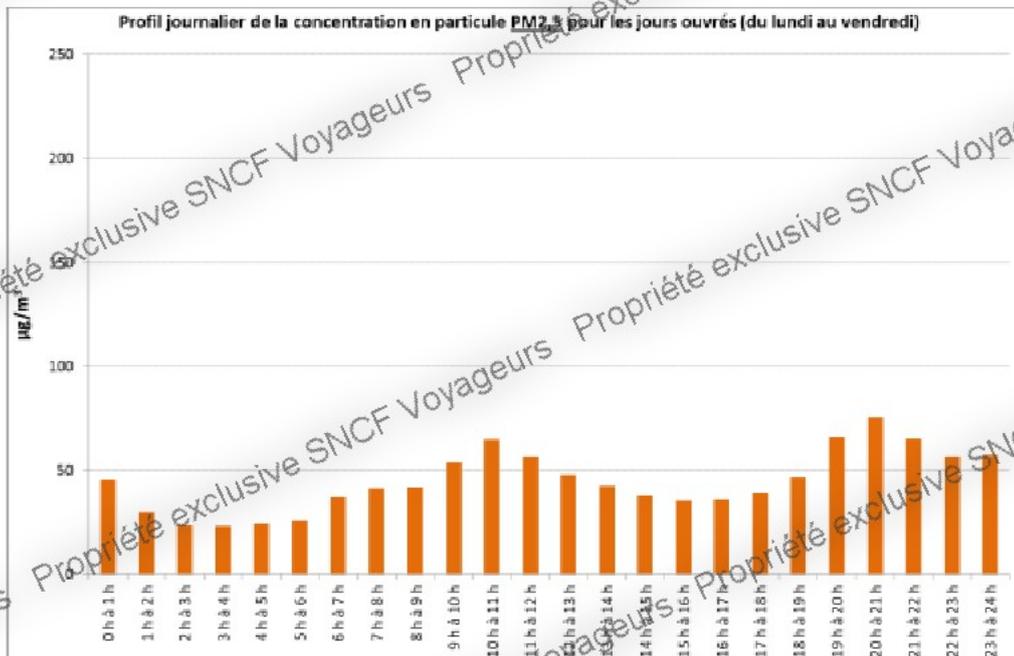


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés mettent en évidence une pointe du matin (approximativement entre 9h et 12h, avec un maximum sur la période 10h-11h) et une pointe du soir (approximativement entre 19h et 22h, avec un maximum sur la période 20h-21h).

Le profil des concentrations en particules est corrélé au nombre théorique de train circulant dans la gare. Comme le montre la figure 5 ci-dessous, il apparaît un décalage entre le pic de circulation et le pic de concentration le matin et le soir. Ceci peut en partie s'expliquer par la moyenne glissante calculée par l'appareil de mesure.

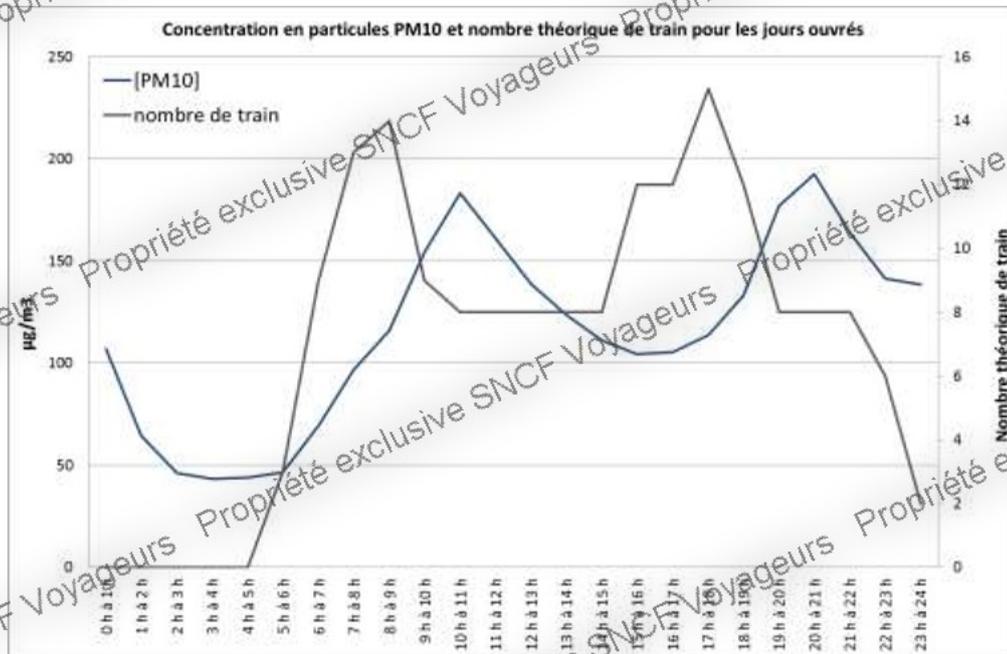


Figure 5

Ainsi, il existe une relation entre les teneurs en particules et les activités dans la gare. Le trafic ferroviaire est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. Egalement, en période de pointe, la densité du trafic est plus importante, ce qui conduit à des émissions de particules plus élevées. Par ailleurs, de par l'activité en gare, les particules sont sans cesse remises en suspension dans l'air, lors des passages des trains et des déplacements des voyageurs.

### 3.1.3. Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare de Boulainvilliers ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare de Boulainvilliers (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part, pour la totalité des moyennes horaires disponibles (52% de données disponibles pour les PM2,5 pour Saint Michel Notre Dame).

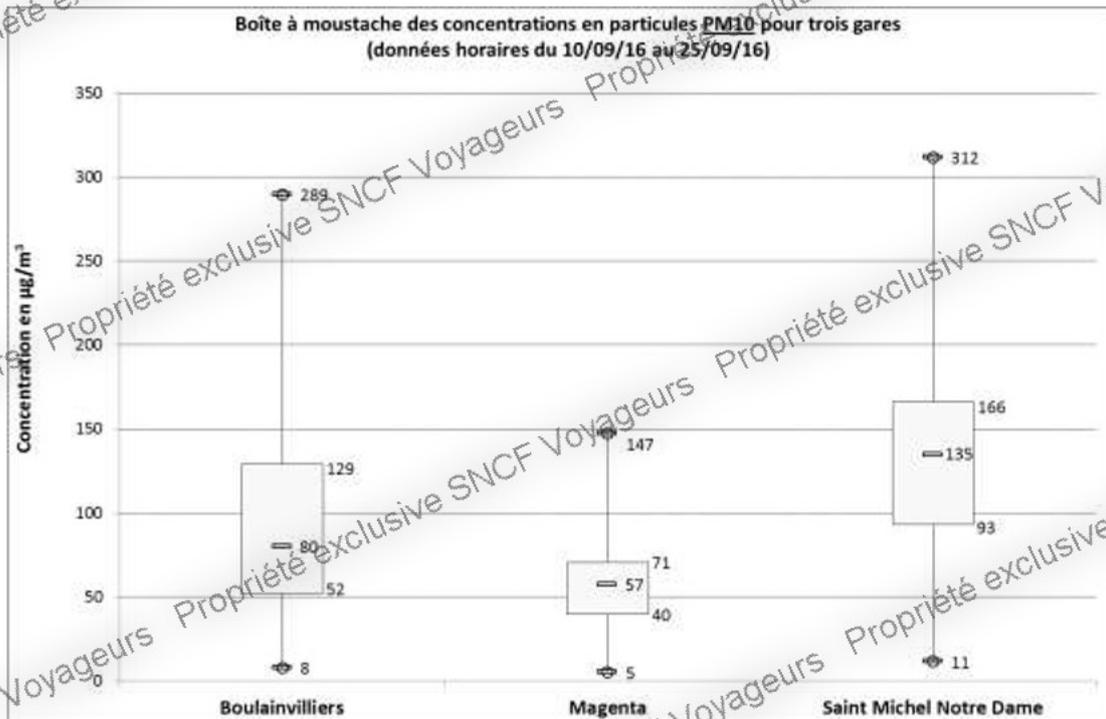


Figure 6

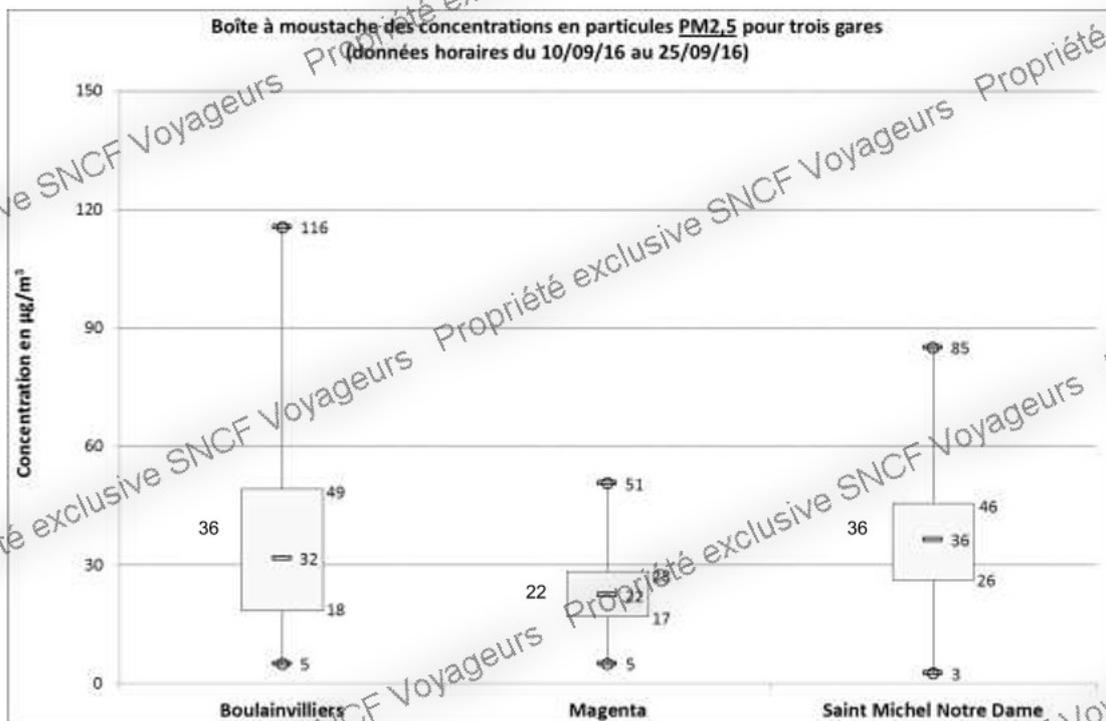


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrement en **PM10** en gare de Boulainvilliers est intermédiaire par rapport aux gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame. Les maximums observés sur les deux gares du RER C sont du même ordre de grandeur. De même, la dispersion des concentrations est plus importante pour ces deux gares par rapport à la gare de Magenta pour laquelle les concentrations sont moins étendues (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75).

Les concentrations en particules PM<sub>2,5</sub> sont très proches pour les gares de Boulainvilliers et Saint Michel Notre Dame (dont la moitié des données est indisponible) ; celles de Magenta sont inférieures aux deux autres gares.

Les gares de Boulainvilliers et Saint Michel Notre Dame sont toutes les deux situées sur la ligne C du RER ; le type de matériel roulant est donc identique entre ces gares. Le volume de la gare de Boulainvilliers est plus important que celui de Saint Michel Notre Dame. De plus, la fréquentation en terme de voyageurs et de train est largement différente puisque la gare de Boulainvilliers accueille 7 440 voyageurs montants par jour alors que la gare de Saint Michel Notre Dame en accueille 59 480 (soit un facteur 8 entre les deux gares). Concernant le nombre de train théorique par jour, il est de 171 à Boulainvilliers contre 477 à Saint Michel Notre Dame pour les jours ouvrés, soit près de 3 fois moins de train pour la gare de Boulainvilliers. Ceci peut expliquer le fait que les niveaux moyens soient plus faibles en gare de Boulainvilliers par rapport à Saint Michel Notre Dame.

La gare de Magenta, où les niveaux de particules sont relativement faibles, est largement plus fréquentée (78 210 voyageurs montants, 432 trains pour les jours ouvrés) que la gare de Boulainvilliers. Magenta est une gare très volumineuse et possède une ventilation mécanique optimisée, ce qui explique les concentrations plus basses.

## 3.2. Concentrations en métaux

### 3.2.1. Niveaux observés en gare de Boulainvilliers

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare de Boulainvilliers, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les dix métaux mesurés.

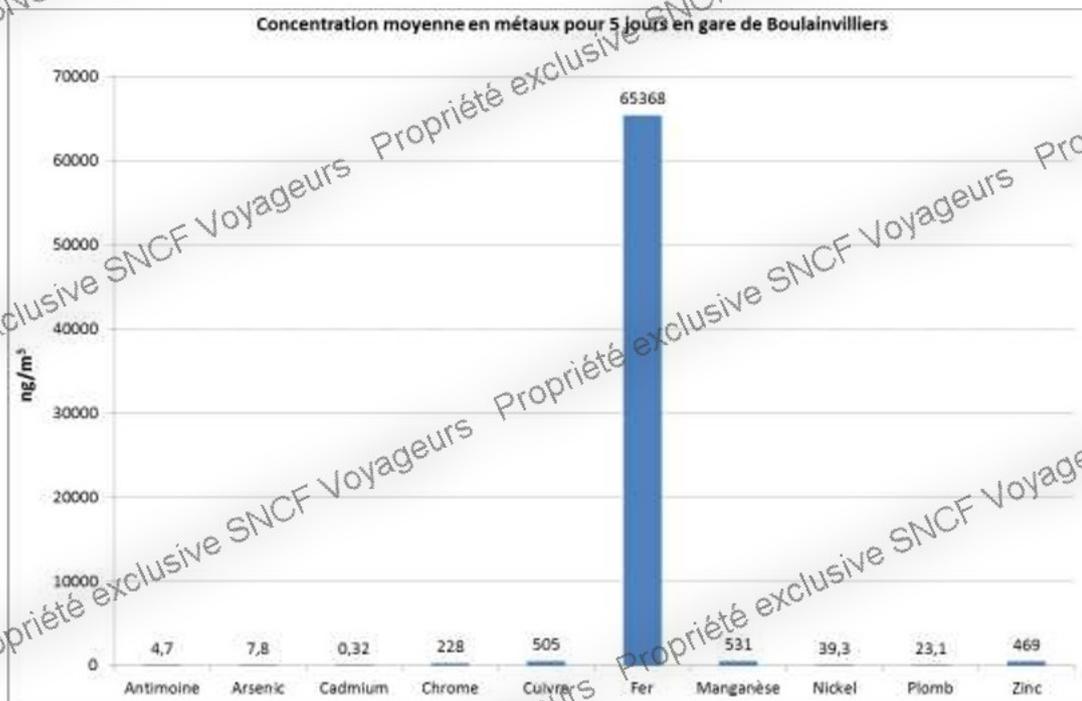


Figure 8

En moyenne, le fer représente 43 % de la composition des particules PM<sub>10</sub>. Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (97,3 % de fer et 2,7 % pour la somme des neuf autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces particules riches en fer sont principalement issues d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

La figure 9 montre neuf métaux, le fer ayant été enlevé afin de faciliter la lisibilité du graphique.

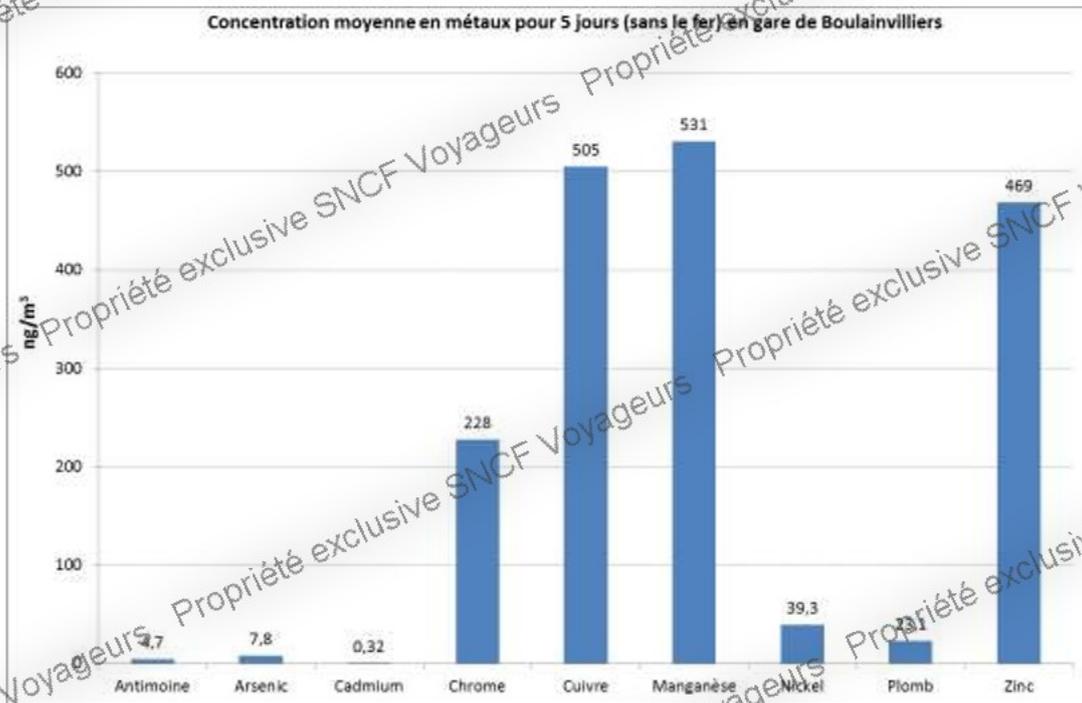


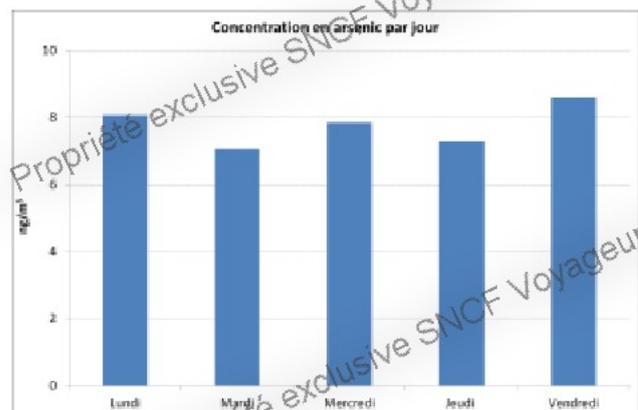
Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le manganèse, le cuivre, le zinc et le chrome. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le nickel, le plomb, l'arsenic et le cadmium.

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse, qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux, ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2. Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées.



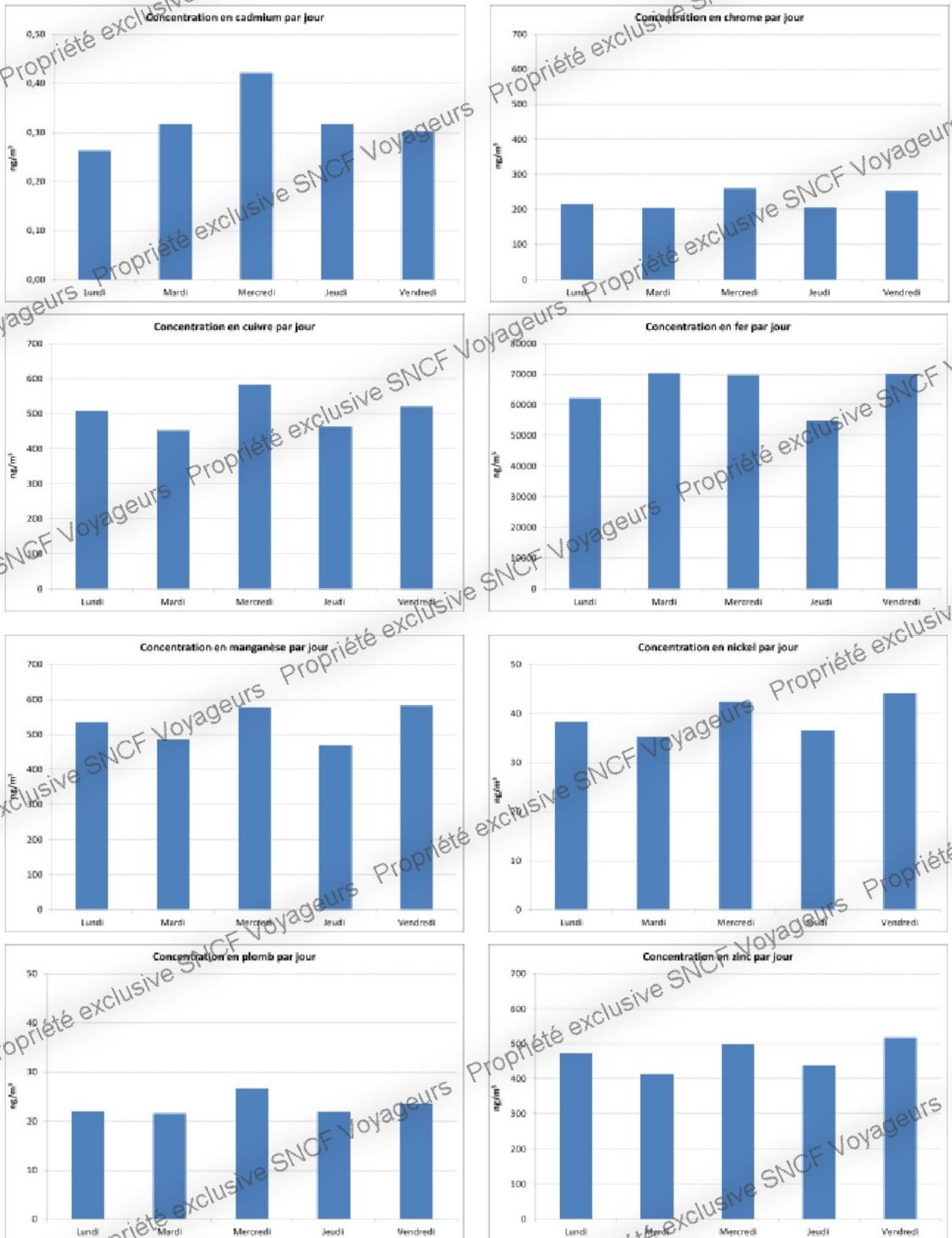


Figure 10

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre, selon les éléments. Elles varient globalement dans le même sens pour la majorité des éléments, à savoir des concentrations plus faibles le mardi et le jeudi par rapport au lundi, mercredi et vendredi (hormis pour le cadmium et l'antimoine).

Ces niveaux plus faibles le mardi et le jeudi sont également observés pour les concentrations en particules PM10 et PM2,5 sur les mêmes périodes de mesure, à savoir aux heures d'ouverture de la gare pour la 2<sup>ème</sup> semaine de mesure. Les teneurs en éléments métalliques sont donc globalement proportionnelles aux concentrations en particules.

Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure.

### 3.3. Concentrations en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 11 ci-après pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

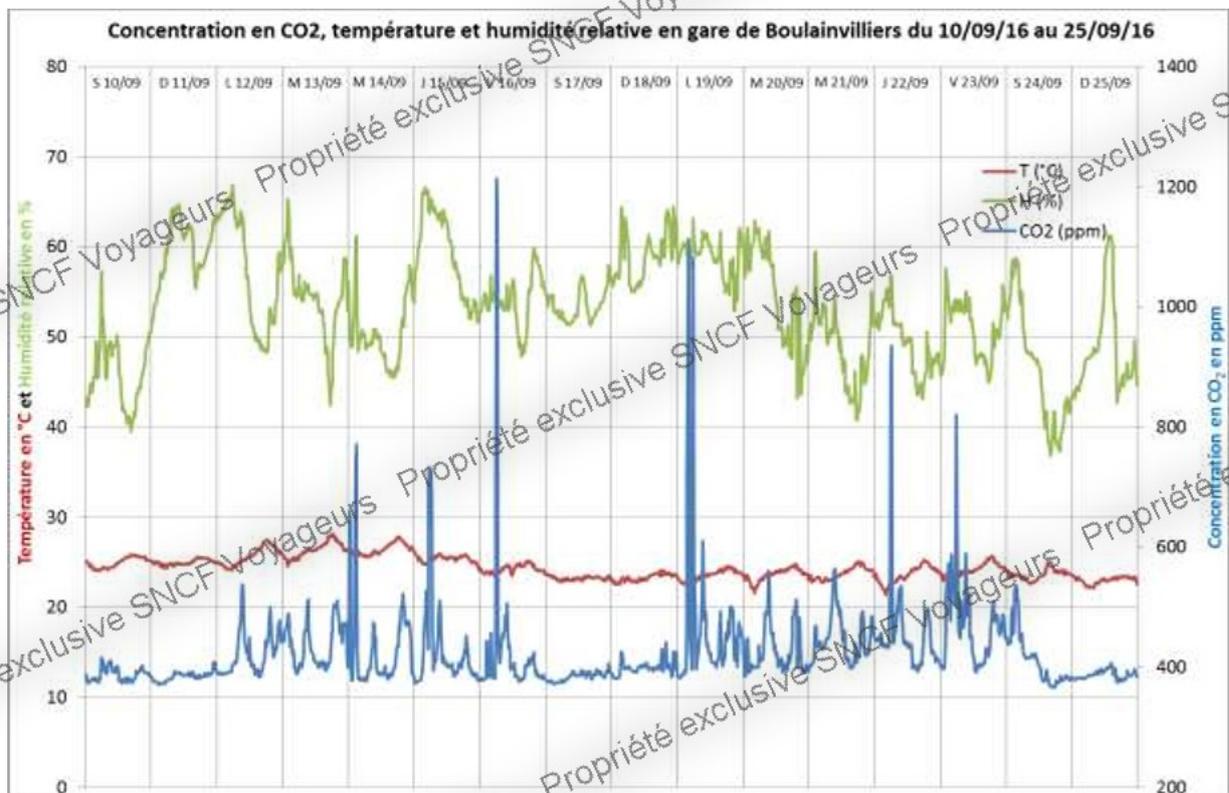


Figure 11

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare de Boulainvilliers est restée plutôt stable avec une moyenne de 24°C. L'humidité relative était comprise en 37 et 67 % ; avec des valeurs généralement plus élevées la nuit ou le matin et plus faibles en fin de journée.

Concernant le dioxyde de carbone, l'évolution globale de sa concentration est similaire à celle des concentrations en particule ; à savoir une concentration plus faible la nuit et les jours de week-end et généralement deux pointes en journée. Ces profils représentent la fréquentation des voyageurs sur le quai de la gare.

Il est observé des pics ponctuels de CO<sub>2</sub> sur de très courtes durées, en période de fermeture de la gare et vers 6h (cf. figure 12 ci-après). L'origine de ces pics reste indéterminée.

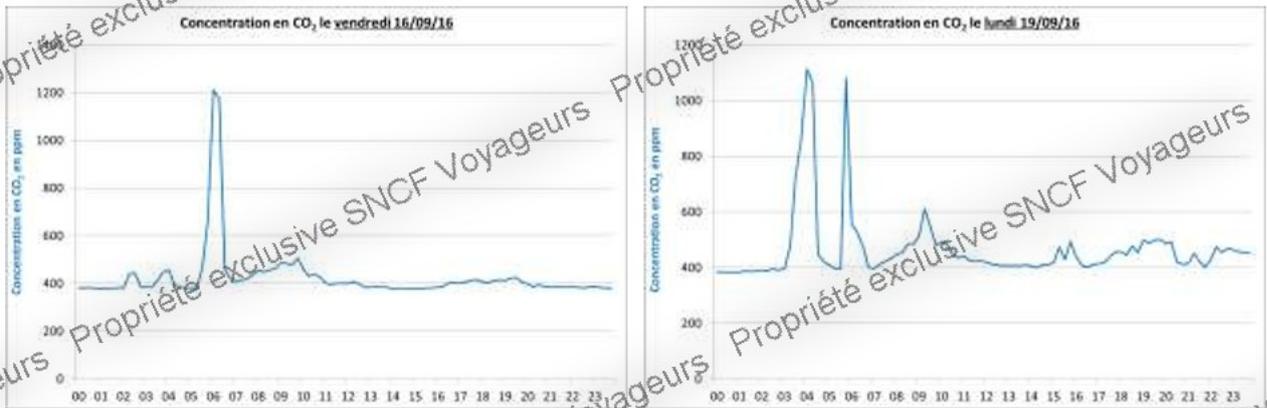


Figure 12

#### 4. CONCLUSION

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de Boulainvilliers. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et dioxyde de carbone pendant deux semaines en septembre 2016.

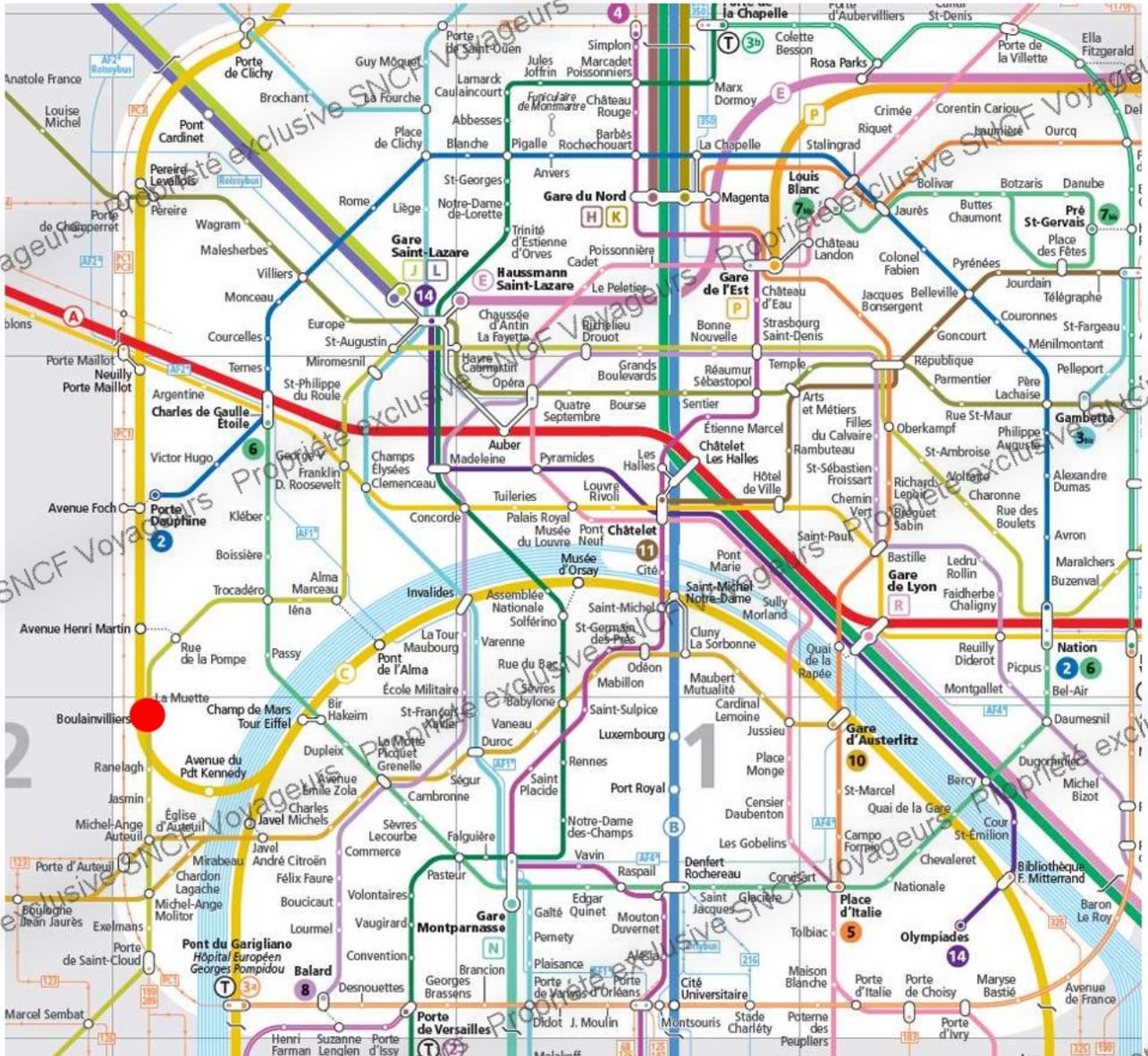
Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare de Boulainvilliers a été de  $93 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et  $36 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation de la gare et le trafic ferroviaire ; celui-ci étant une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 en gare de Boulainvilliers est intermédiaire par rapport aux gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le manganèse, le cuivre, le zinc et le chrome. Il y aurait lieu d'identifier précisément les sources par des études complémentaires.

**Positionnement**

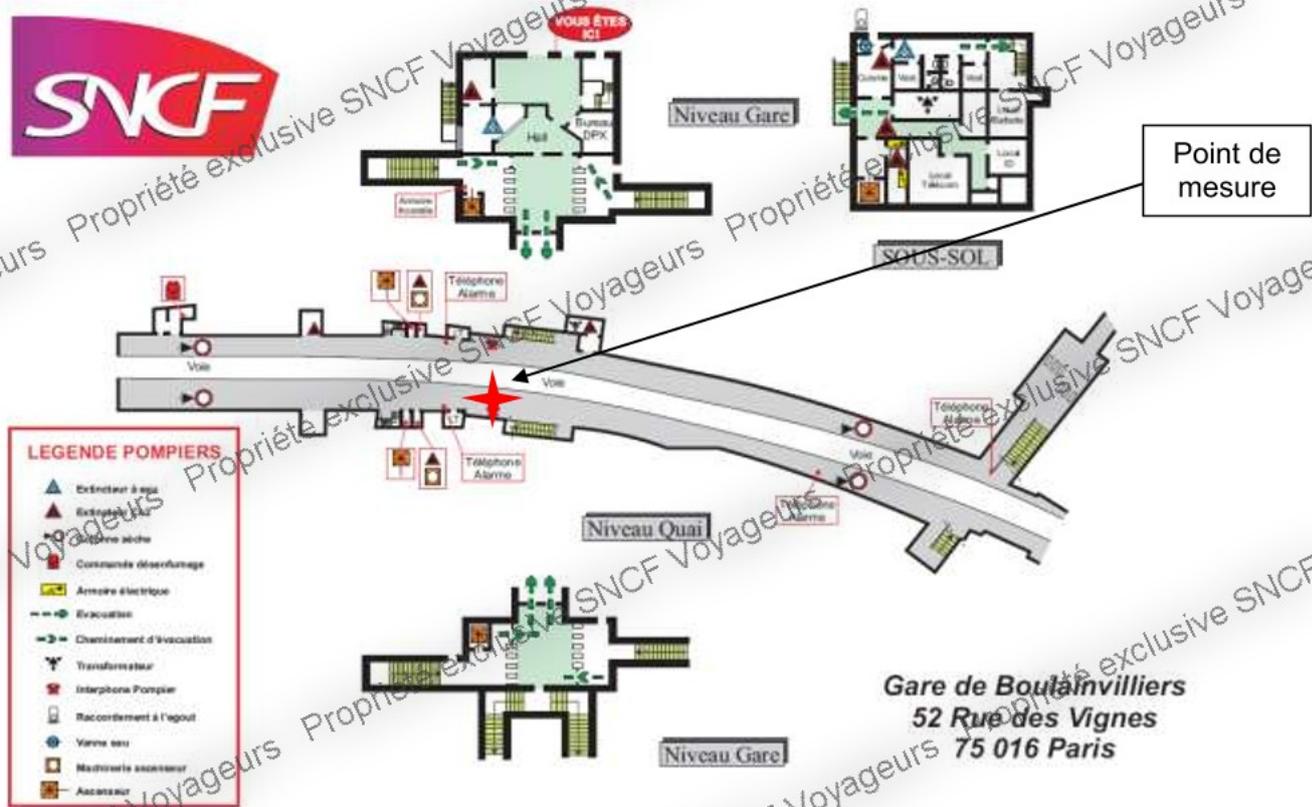
La gare de Boulainvilliers est située sur la ligne C du RER (cf. point rouge sur le plan ci-dessous).



**Caractéristiques architecturales**

La gare de Boulainvilliers comporte des parties souterraines (les quais et les voies) et des parties aériennes (le hall d'accueil, le guichet et les accès aux quais). Les deux voies et deux quais qui composent la gare sont encadrés par des tunnels à chaque extrémité. De plus, les quais se trouvent dans une courbe et ne possèdent pas d'ouverture sur l'extérieur (mis à part les accès via les escaliers). Les parties en souterrain sont de profondeur moyenne.

Cette gare est a priori équipée d'une ventilation mécanique.



Les parties situées « niveau Gare » sur le plan sont positionnées au niveau de la rue extérieure. Les parties intitulées « niveau Quai » et « sous-sol » se trouve en souterrain, en dessous du niveau de la rue.

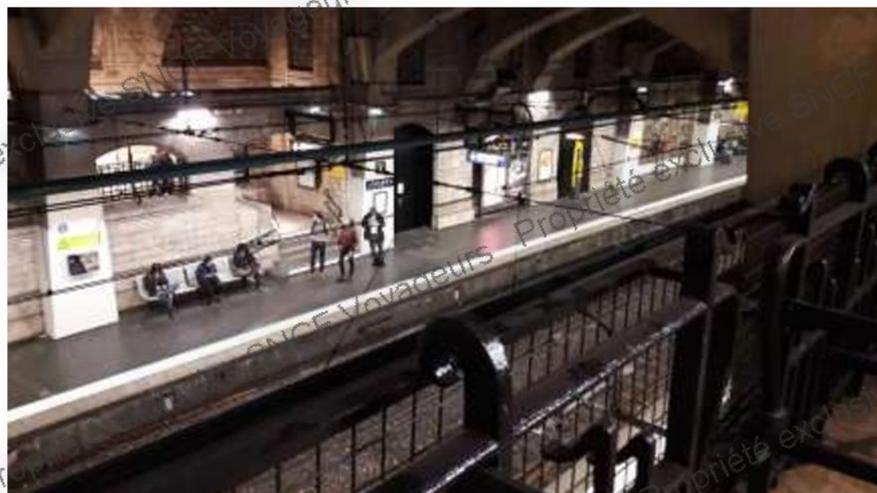
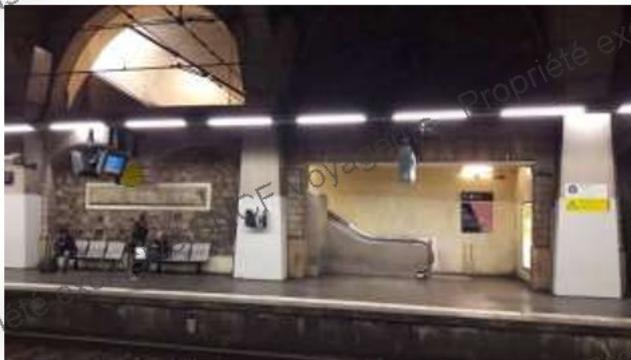
Photos de la gare

Extérieur de la gare :





Intérieur de la gare :



### Matériel roulant

Le type de matériel circulant en service commercial en gare de Boulainvilliers est uniquement des Z2N (automotrices deux niveaux).

Il existe 5 sous séries de Z2N :

- 5600 : 4 caisses mono courant 1500V Continu ;
- 5600 : 6 caisses mono courant 1500V Continu ;
- 8800 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif ;
- 20500 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif ;
- 20900 : 4 caisses Bicourant 1500V Continu / 25KV alternatif (équipées de ventilation réfrigérée).

En condition de circulation normale, le nombre de trains en heure de pointe est au maximum de 15 par heure ; il est globalement de 8 en heure creuse. Lors de la campagne de mesure, les trains ont circulé d'environ 05h30 à 00h30.

### Fréquentation des voyageurs

En terme de fréquentation, la gare accueille chaque jour en moyenne 7 440 personnes (nombre de voyageurs montants en 2014).

# ANNEXE 2 : PHOTOS DE LA BAIE DE MESURE

Baie contenant les appareils de mesure installés sur le quai de la gare de Boulainvilliers



**AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE**



**RAPPORT**

**CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT 15  
JOURS EN GARE DE CERGY LE HAUT – LIGNES A & L**

**DOC046567-00 / MES017696**

# AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21, avenue du Président Allende  
 F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France  
 affaire.aef@sncf.fr  
 TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

## Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :** **DIRECTION DES GARES D'ILE DE FRANCE**  
 A l'attention de SCHWANGER Emilie  
 34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE  
 75014 Paris  
 France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT 15 JOURS EN GARE DE CERGY LE HAUT – LIGNES A & L

### Résumé :

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de Cergy le Haut. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant du 10 au 25 juin 2017. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules et la réalisation de travaux.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de Cergy le Haut est moins élevé par rapport aux gares de Magenta et de Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

### Elaboration du rapport

#### Rédacteur

Nom : EL MOUDEN Leïla  
 Fonction : Technicienne supérieure

#### Vérificateur

Nom : ARRIGONI Vincent  
 Fonction : Coordinateur technique

### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent  
 Fonction : Responsable de pôle

### Avertissement :

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

(La dernière version annule et remplace les versions précédentes)

Version	Date	Motivation et objet de la modification	Paragraphe(s) concerné(s)
00	Indiquée sur la signature numérique		

## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
	Sans objet

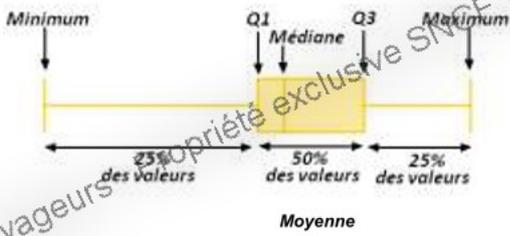
## DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC044936-01	Offre – Assistance technique et mesure de qualité de l'air dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France - 2017

## SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles (unités)	Définitions
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micro gramme par mètre cube
$\text{ng}/\text{m}^3$	Nano gramme par mètre cube

## DÉFINITIONS

Termes	Définitions
PM10	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
PM2,5	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> <li>- Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</li> </ul> 

# Sommaire

<b>1.</b>	<b>OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2.</b>	<b>METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1.	DESCRIPTIF DE LA GARE .....	6
2.2.	POLLUANTS MESURES .....	6
2.3.	MOYENS DE MESURE .....	7
2.4.	POINTS DE MESURE .....	7
2.5.	PERIODE DE MESURE .....	7
<b>3.</b>	<b>RESULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>8</b>
3.1.	CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM10 ET PM2,5 .....	8
3.2.	CONCENTRATIONS EN METAUX .....	15
3.3.	CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE .....	19
<b>4.</b>	<b>CONCLUSION</b> .....	<b>20</b>
<b>ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE CERGY LE HAUT</b> .....		<b>21</b>

## **1. OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pour les quais de la gare de Cergy le Haut. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2. METHODOLOGIE**

### **2.1. Descriptif de la gare**

La gare de Cergy le Haut se situe sur la ligne A du RER et la ligne L du Transilien, dans le département du Val d'Oise. Cette gare est terminus pour les 2 lignes. Elle comporte trois voies circulées et deux quais largement ouverts sur l'extérieur. Une quatrième voie est présente mais n'est pas ouverte à la circulation des trains. Le bâtiment voyageurs, c'est-à-dire l'espace comprenant le hall voyageurs et le guichet, et les accès aux quais sont aériens.

Un descriptif de la gare figure en **annexe 1**.

### **2.2. Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

Les concentrations en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc ont été déterminées par prélèvement de particules PM10.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules. Les travaux de maintenance et l'air extérieur sont aussi une source de pollution particulière dans les gares souterraines, mais la composition de ces particules peut être différente de celles produites par le trafic ferroviaire.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### **2.3. Moyens de mesure**

Les concentrations en particules PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux ont été déterminées par prélèvement de particules PM10 sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc. Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak.

L'ensemble des appareils a été disposé dans une baie de mesure.

### **2.4. Points de mesure**

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point sur le quai B de la gare de Cergy le Haut. Ce point a été positionné au niveau d'un pilier à proximité de l'alarme 3541. Il est positionné sur le plan de la gare en **annexe 1**.

### **2.5. Période de mesure**

Les mesures en continu de la concentration en particules PM10, PM2,5 et dioxyde de carbone ont été réalisées du samedi 10 juin au dimanche 25 juin 2017 inclus. Cette période de mesure comprend trois week-ends (samedi et dimanche) et dix jours ouvrés, soit 16 jours. La fréquence d'acquisition des appareils a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1er train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués du lundi 12 juin au vendredi 16 juin 2017, de 04h14 à 22h12.

### 3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

#### 3.1. Concentrations en particules PM10 et PM2,5

##### 3.1.1. Niveaux observés en gare de Cergy le Haut

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules est présenté sous forme de boîte à moustache pour la période de mesure disponible sur la figure 1.

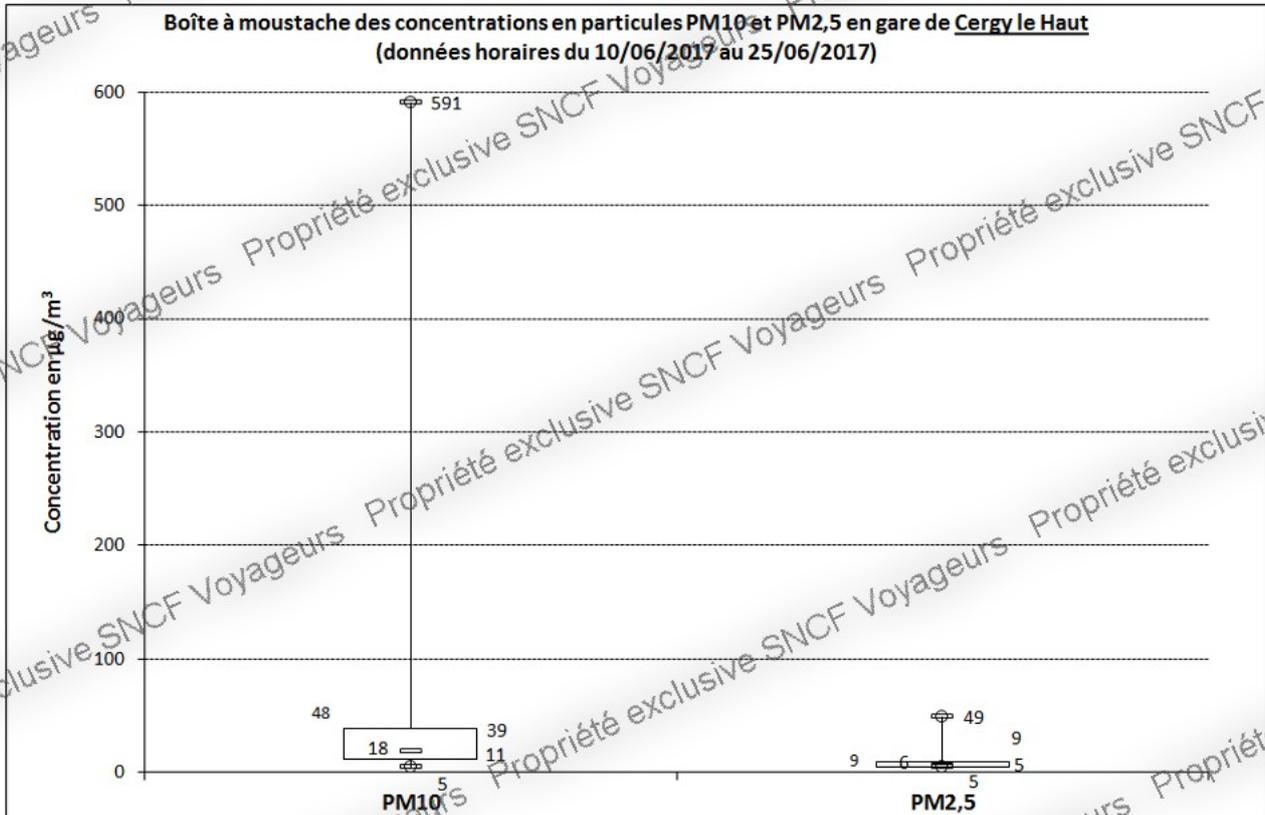


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de  $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de  $6 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure disponible.

La concentration moyenne est de  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et de  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 19% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre  $11$  et  $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à  $5$  et  $591 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre  $5$  et  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à  $5$  et  $49 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des faibles variations de concentration, avec tout de même un maximum élevé pour les PM10 survenu en date du 21/06.

### 3.1.2. Variabilité temporelle

La concentration en moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble des données disponibles lors de la campagne de mesure.

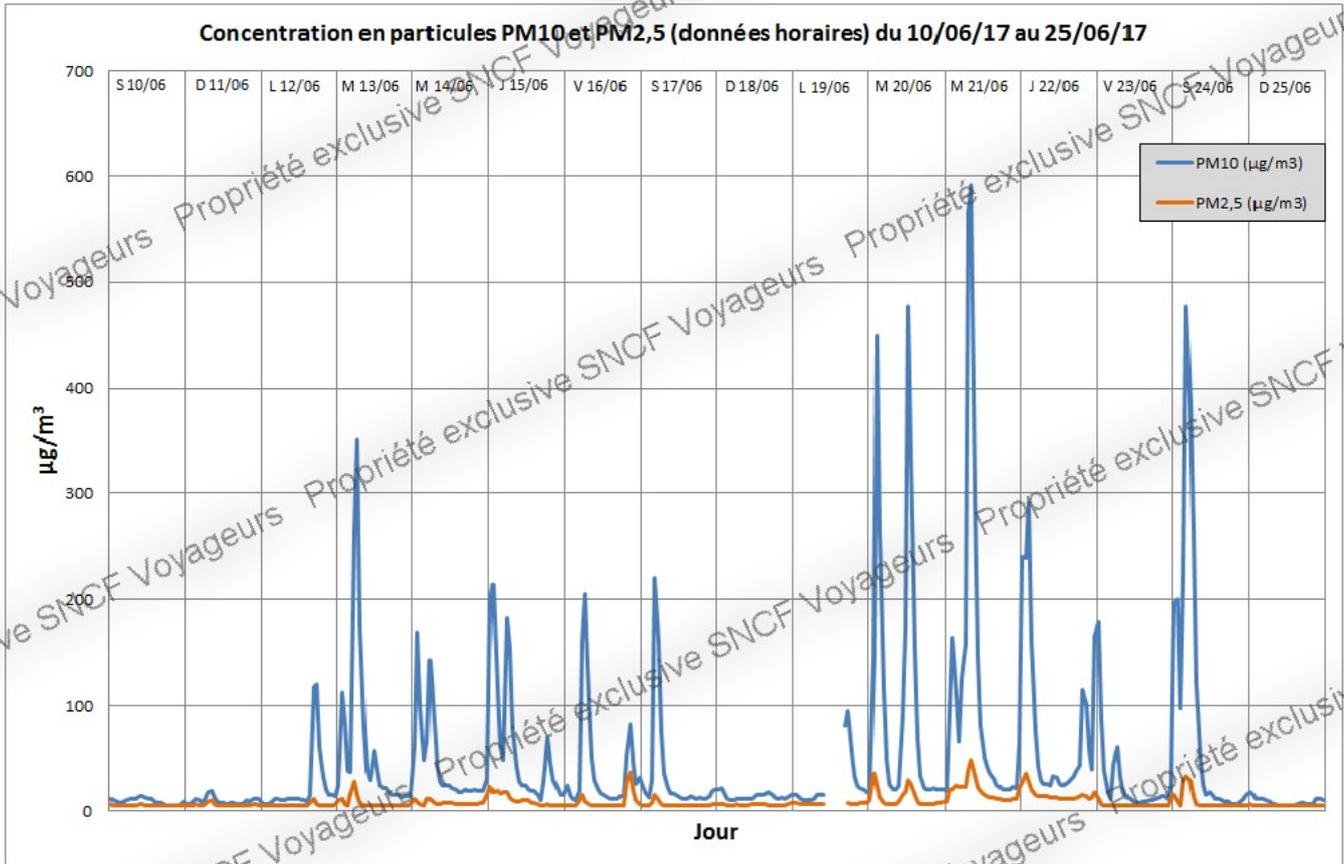


Figure 2

Au cours de la campagne de mesure, une hausse significative de la concentration en particules PM10 (entre 100 et 250  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est régulièrement constatée entre 00h et 02h. Ces pics de concentrations peuvent être expliqués par la réalisation de travaux de nuit dans le tunnel de Cergy et au niveau de la quatrième voie de la gare de Cergy le Haut, sur la période du 12/06 au 22/06/2017.

De même, d'autres pics sont régulièrement observés entre 05h et 07h. Ceux-ci peuvent être a priori expliqués par une hausse de la fréquentation des voyageurs (ouverture de la gare au public à 03h45).

Par ailleurs, des phénomènes inexplicables se distinguent sur la figure 2. En effet, un pic de concentration allant jusqu'à plus de 400  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  est relevé le 20/06 entre 11h et 15h. Un autre pic d'amplitude supérieure (près de 600  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) est observé le 21/06 entre 07h et 11h. Et enfin, le 24/06 une importante hausse de la concentration en particules PM10 est constatée entre 03h et 08h.

A l'échelle de la semaine, les niveaux sont plus faibles les jours de week-end (notamment les dimanches) par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi).

Les concentrations moyennes pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

	Concentration moyenne pour les <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne pour les <u>jours de week-end</u> (samedi et dimanche)
Concentration en particules PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	60	28
Concentration en particules PM2,5 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	10	6

Tableau 1

Ainsi, la différence de niveaux moyens de particules entre la semaine et le week-end est nettement marquée pour la gare de Cergy le Haut. On constate une diminution des concentrations de l'ordre de 50% pour les PM10 et PM2,5. Cependant, les travaux ayant eu lieu pendant la nuit en semaine ont contribué à augmenter fortement les concentrations pour les jours ouvrés comme le montre la figure 5.

Il est à noter que le nombre de train en circulation varie entre les jours de semaine et de week-end. En effet, le trafic théorique en gare de Cergy le Haut lors de la campagne de mesure était de 235 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi et respectivement 104 et 105 trains le samedi et le dimanche ; soit une diminution moyenne de 65% entre la semaine et le week-end.

L'abaissement des concentrations en particules le week-end peut donc en partie être expliqué par la diminution du trafic, mais l'impact des travaux sur les concentrations relevées en semaine est non négligeable.

A l'échelle du jour, les concentrations en particules sont en moyenne plus élevées aux heures de fermeture de la gare par rapport aux heures d'ouverture.

Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les PM10 et les PM2,5 en figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés (du lundi au vendredi).

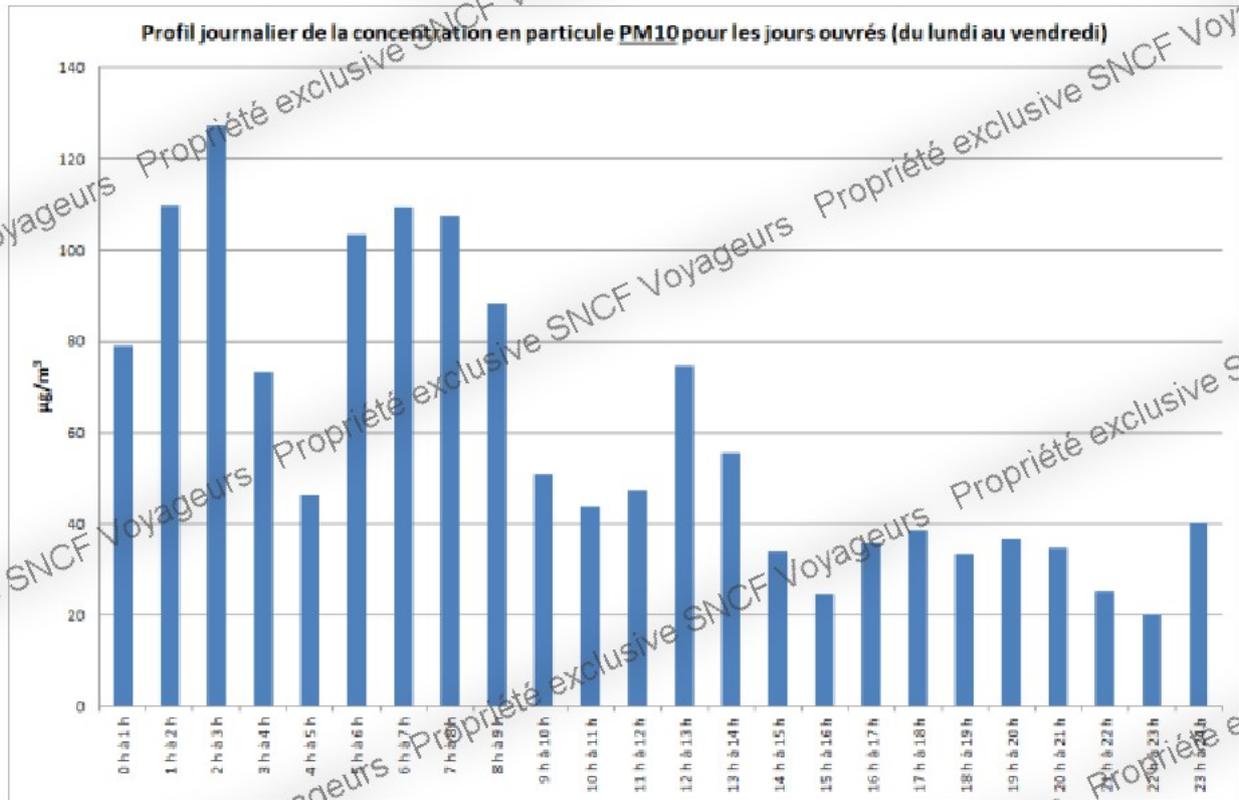


Figure 3

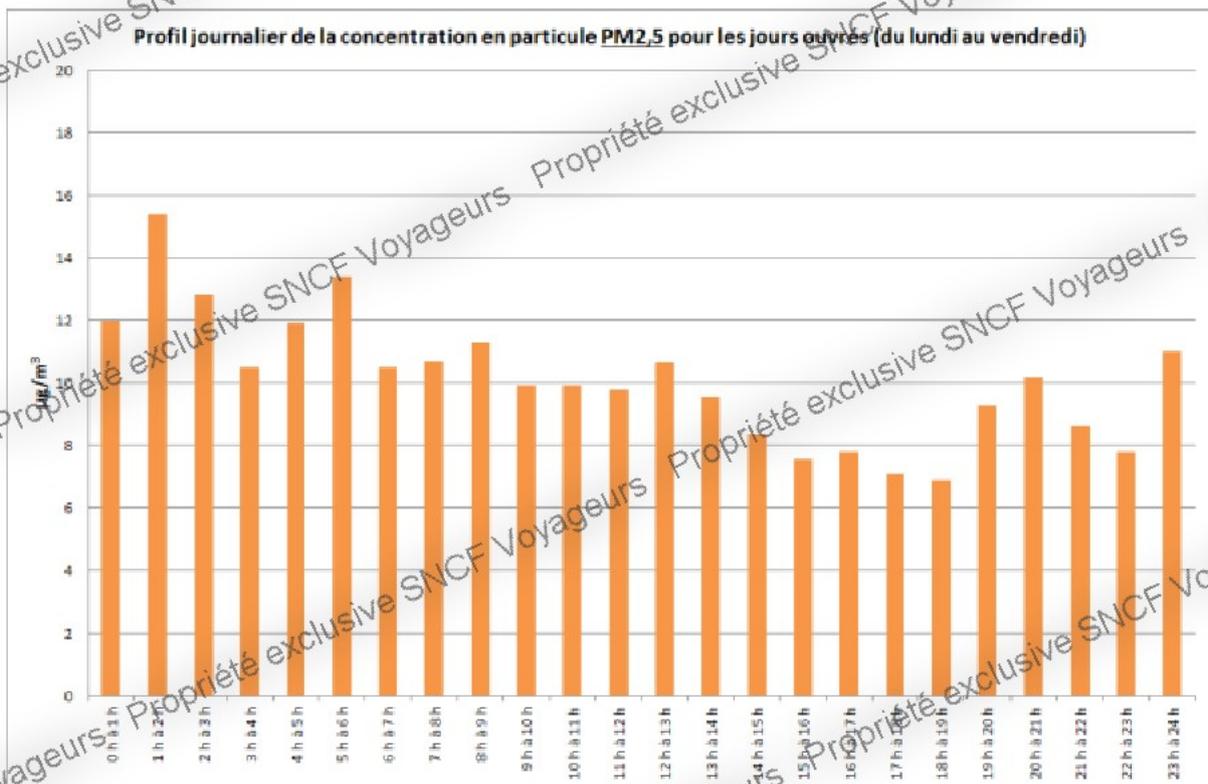


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés mettent en évidence que les concentrations maximales sont mesurées la nuit (approximativement entre 00h et 04h) pour les particules PM10 et PM2,5. Comme évoqué précédemment, ceci peut s'expliquer par la réalisation de travaux sur cette période en horaires de nuit, dans le tunnel de Cergy et au niveau de la quatrième voie de la gare.

Un deuxième pic de concentrations observé entre 05h et 09h peut s'expliquer par la remise en suspension des poussières émises par les travaux avec la reprise du trafic et l'affluence des voyageurs.

Comme le montre la figure 5 ci-dessous, le profil des concentrations en particules n'est pas corrélé au nombre théorique de train circulant dans cette gare. Ceci peut en partie s'expliquer par le fait que la gare de Cergy le Haut est une gare très largement ouverte sur l'extérieur.

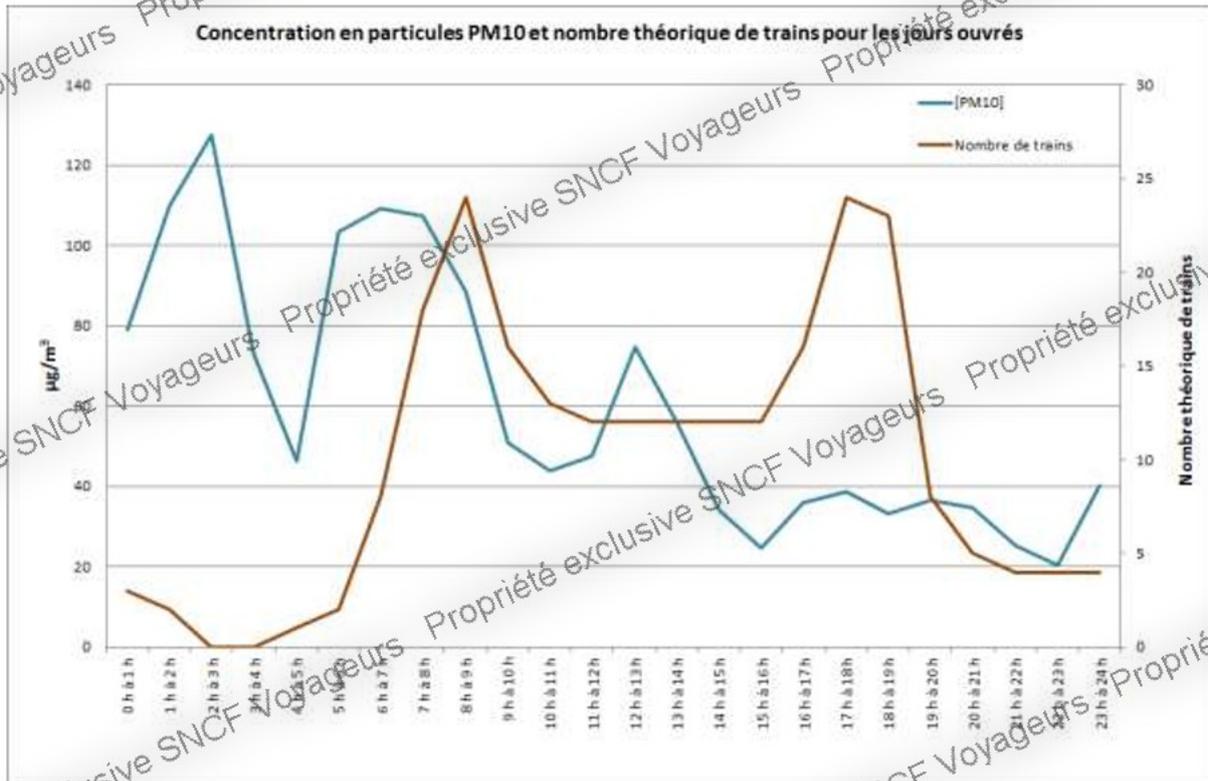


Figure 5

### 3.1.3. Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare de Cergy le Haut ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris, instrumentées de façon continue : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare de Cergy le Haut (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part pour la totalité des moyennes horaires disponibles.

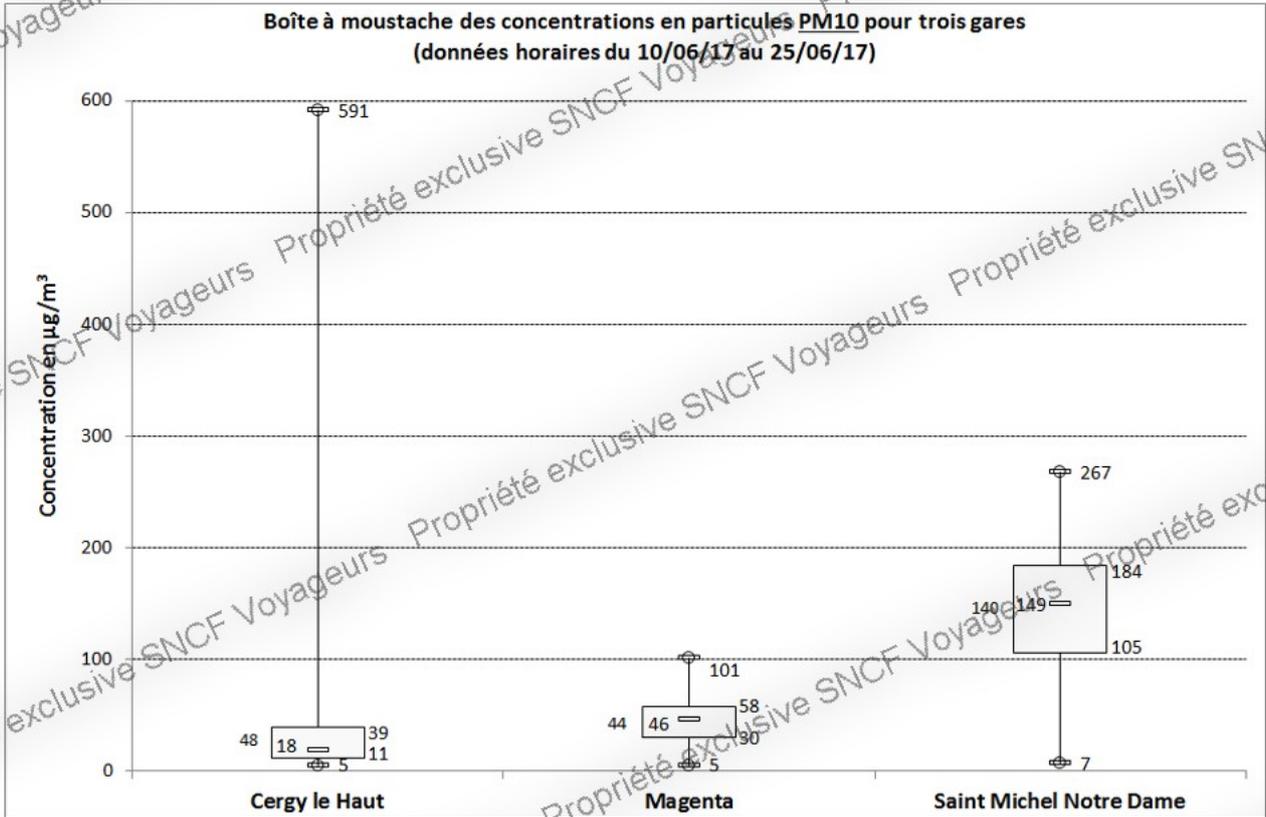


Figure 6

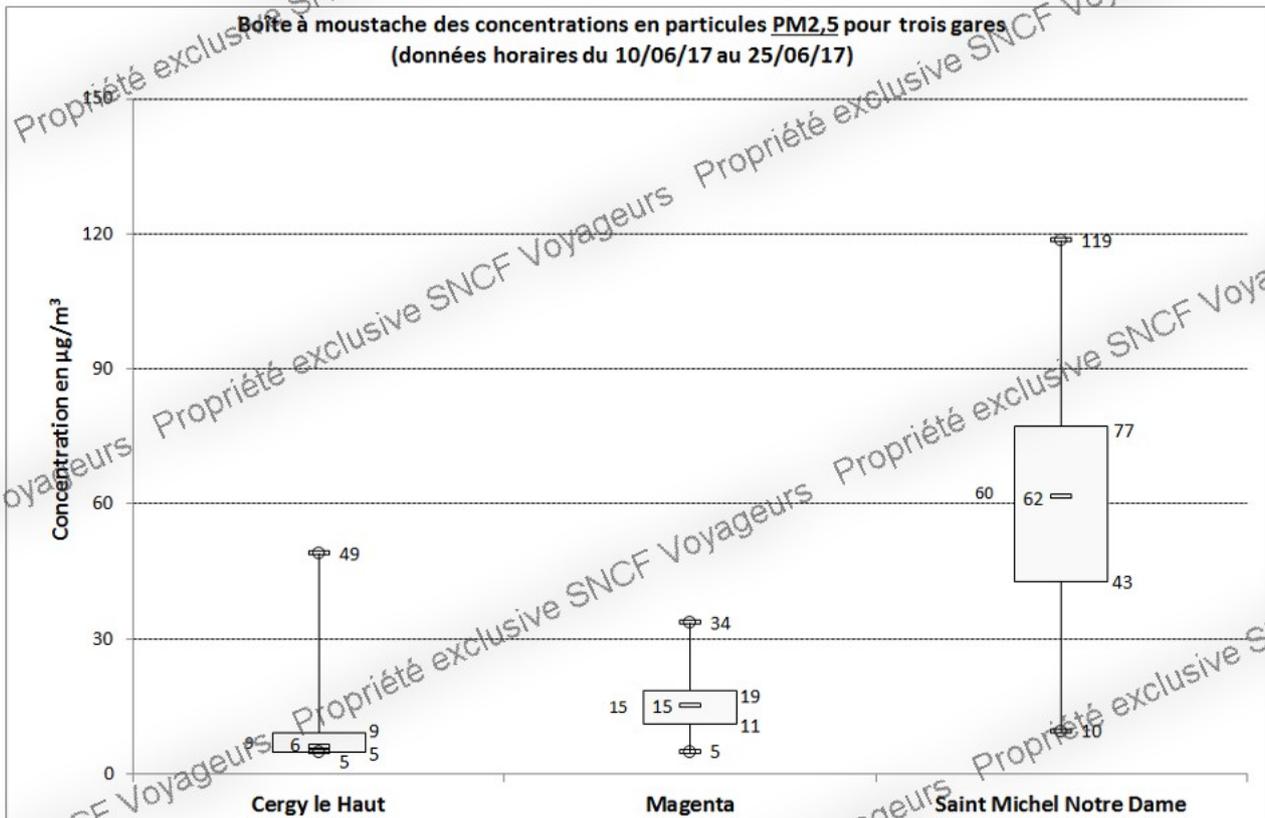


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrement en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en gare de Cergy le Haut est très bas. Il est inférieur à celui observé en gares de Saint Michel Notre Dame et Magenta. En effet, en gare de Cergy le Haut, la concentration moyenne en PM<sub>10</sub> est environ 8 fois moins élevée qu'en gare de Saint Michel Notre Dame et 2,5 fois moins importante qu'en gare de Magenta.

Quant à la dispersion des concentrations en particules, elle est globalement plus importante pour la gare de Saint Michel Notre Dame par rapport aux gares de Magenta et de Cergy le Haut (même si pour cette dernière, on observe une dispersion non négligeable pour les résultats supérieurs au 75<sup>ème</sup> percentile).

Concernant la fréquentation en termes de voyageurs et de train, elle est largement différente puisque la gare de Cergy le Haut accueille 11 470 voyageurs montants par jour alors que la gare de Magenta en accueille 78 210 (soit un facteur d'environ 7 entre les deux gares). Concernant le nombre de trains théorique par jour, il est de 235 à Cergy le Haut contre 432 à Magenta pour les jours ouvrés, soit près de 2 fois moins de train pour la gare de Cergy le Haut.

## 3.2. Concentrations en métaux

### 3.2.1. Niveaux observés en gare de Cergy le Haut

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare de Cergy le Haut, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les taux de concentration moyens pour les dix métaux mesurés.

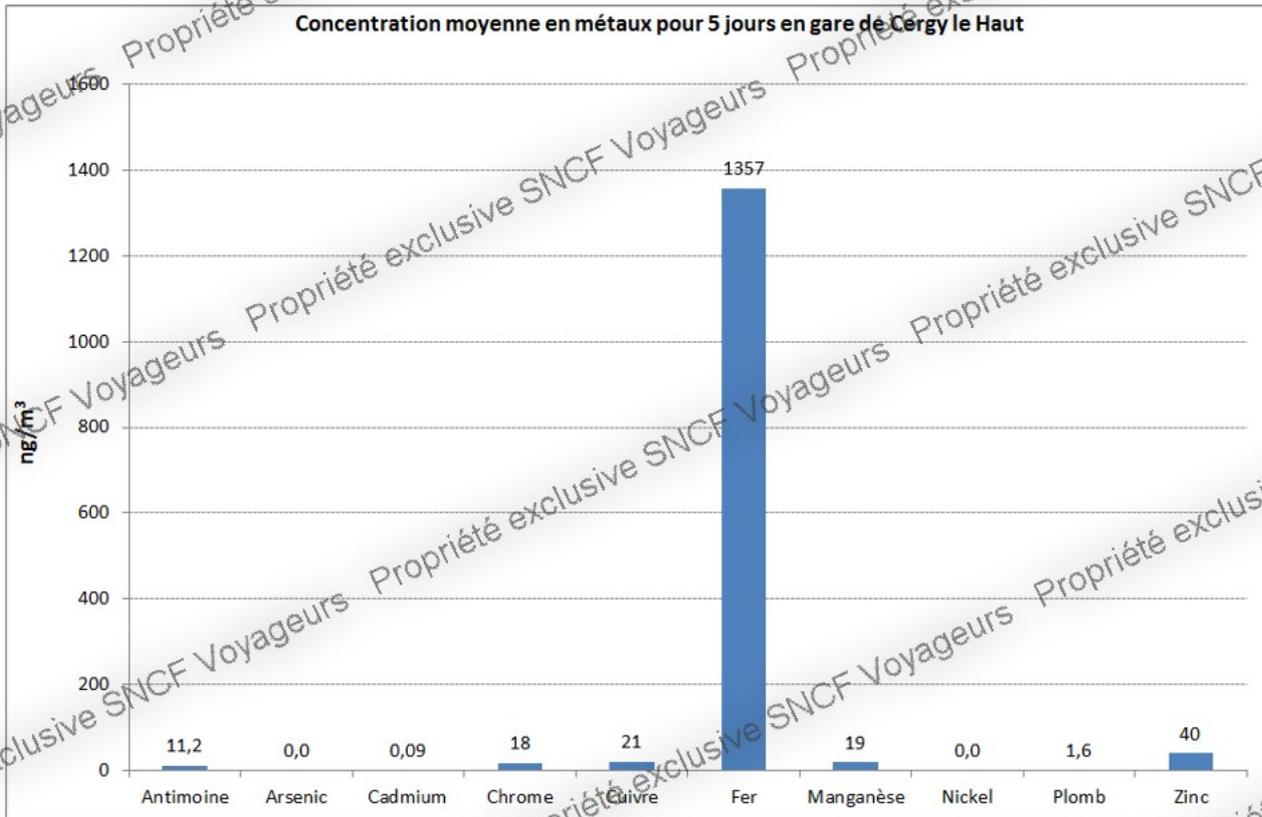


Figure 8

La proportion moyenne des métaux dans les particules PM10 est de 6% et le fer représente en moyenne 5 % à lui seul de la composition des particules PM10.

Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (92,4 % de fer et 7,6 % d'autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

La présence d'éléments métalliques dans ces particules est principalement due aux actions d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

Ce pourcentage inhabituellement faible de la part des métaux dans les particules PM10 prélevées peut s'expliquer, d'une part, par le fait que la gare de Cergy le Haut soit une gare très ouverte sur l'extérieur, et d'autre part, par la réalisation de travaux (cités précédemment) pouvant engendrer l'émission de particules non métalliques.

La figure 9 montre les concentrations pour les neuf autres métaux, excepté le fer, afin de rendre le graphique plus lisible.

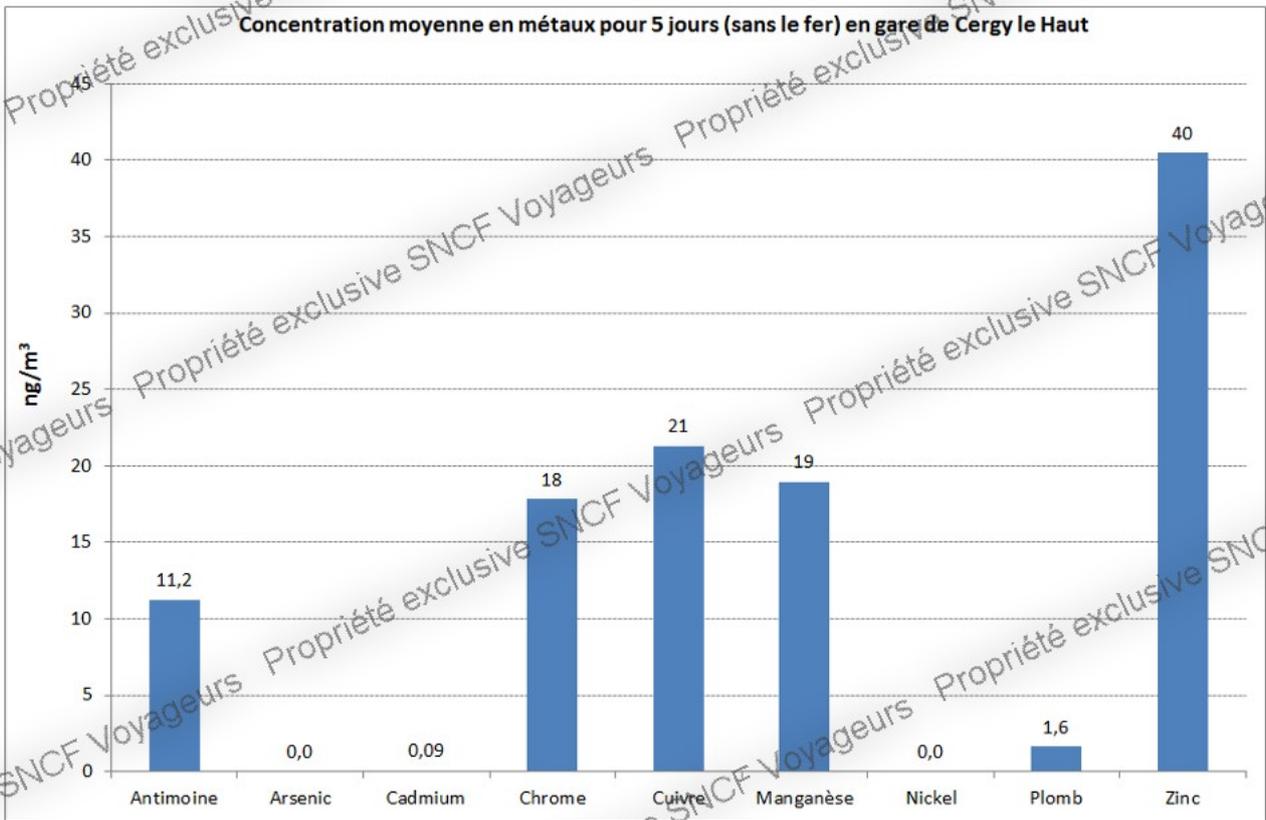


Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le cuivre, le manganèse, le chrome et l'antimoine. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le plomb et le cadmium.

En complément, la figure 10 reprend la répartition moyenne en pourcentage de chacun des dix métaux analysés pour les cinq journées de mesure.

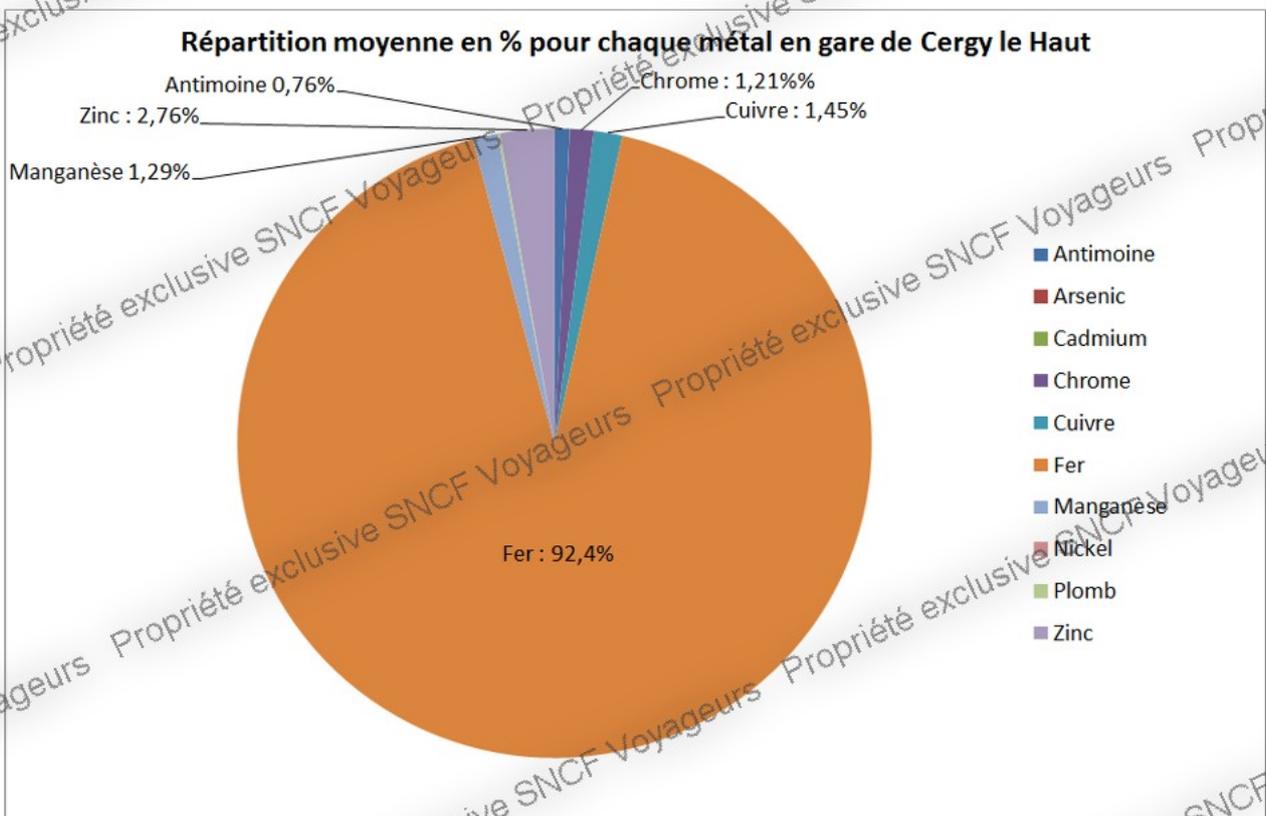
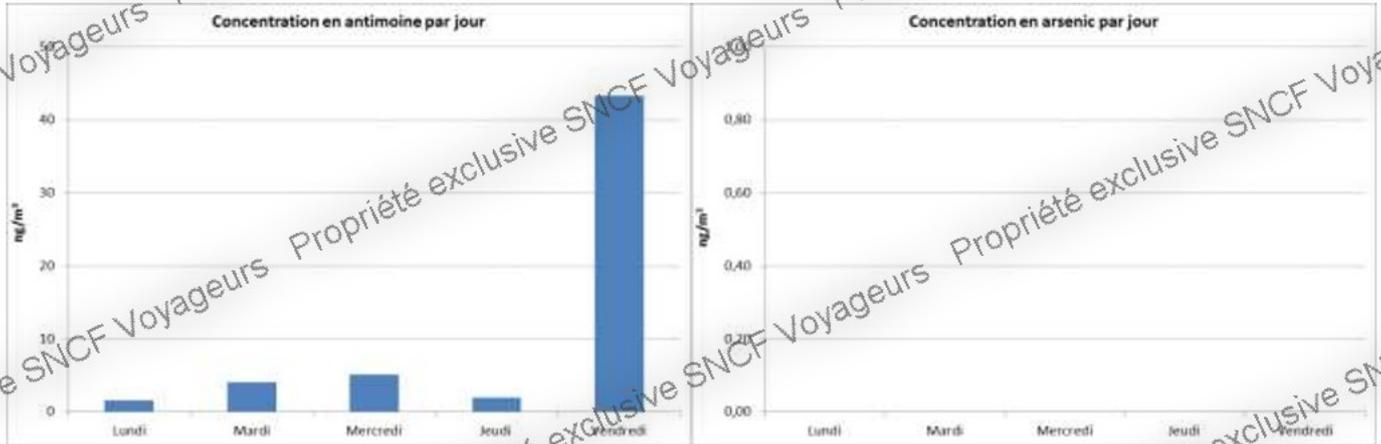


Figure 10

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse, qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux, ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2. Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées.



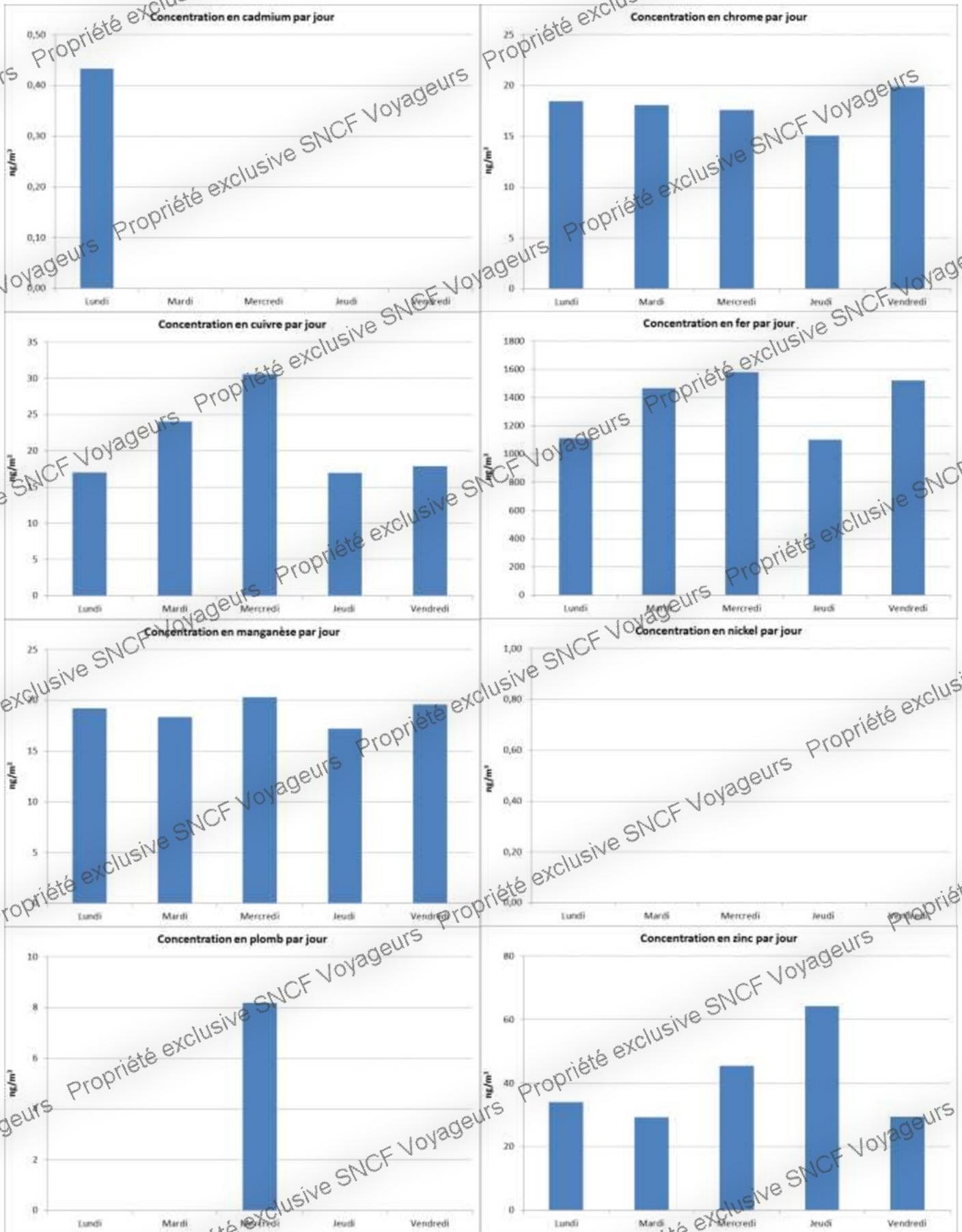


Figure 11

Les concentrations peuvent être variables d'un jour à l'autre, selon les éléments. Elles varient globalement dans le même sens pour la majorité des éléments. A savoir des concentrations plus élevées le mercredi et le vendredi par rapport au lundi, mardi et jeudi, pour le cuivre, le chrome, le fer et le manganèse.

Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure, à l'exception du cadmium et du plomb mesurés uniquement sur une journée (respectivement le lundi et le mercredi).

L'arsenic et le nickel n'ont pas été détectés lors de ces journées de mesure.

### 3.3. Concentrations en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 12 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

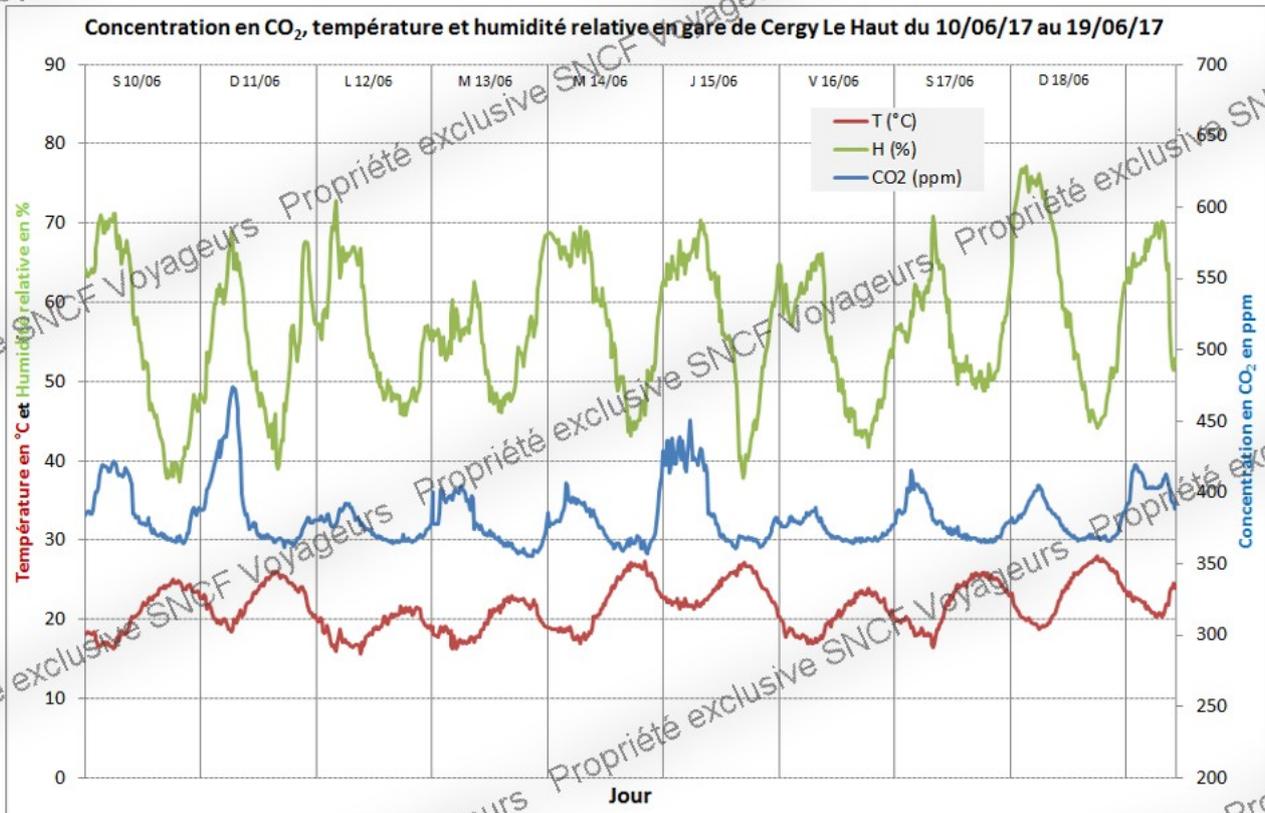


Figure 12

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare de Cergy était en moyenne de 21,5°C. L'humidité relative était comprise entre 37 et 77 %.

Le CO<sub>2</sub> est émis par la respiration, c'est donc un bon traceur de la fréquentation des gares, mais il peut aussi être émis par certains engins à moteur diesel utilisés lors de travaux.

#### 4. CONCLUSION

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de Cergy le Haut. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 10 au 25 juin 2017.

Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare de Cergy le Haut a été de  $48 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et  $9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules et la réalisation de travaux en gare. Ces derniers sont une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période de fermeture de la gare.

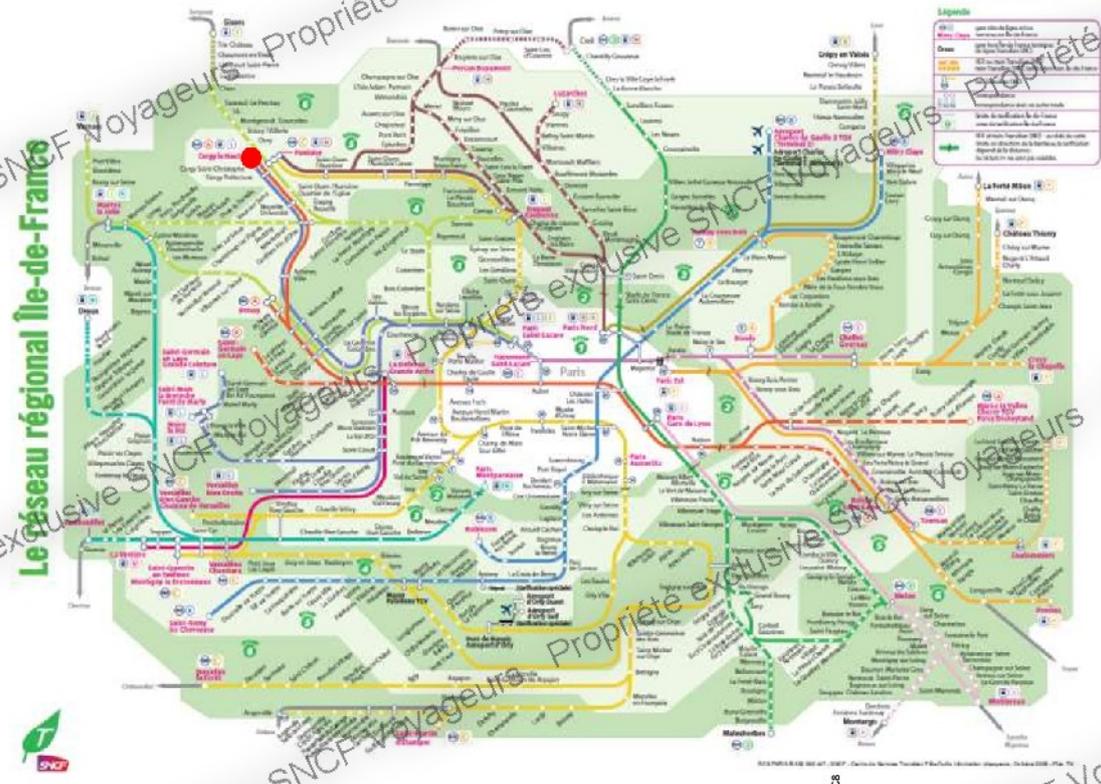
Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de Cergy le Haut est inférieur par rapport aux gares de Saint Michel Notre Dame et Magenta.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le cuivre, le manganèse, le chrome et l'antimoine. Il y aurait lieu d'identifier précisément les sources par des études complémentaires.

ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE CERGY LE HAUT

**Positionnement**

La gare de Cergy le Haut est située sur la ligne A du RER et la ligne L du Transilien (cf. point rouge sur le plan ci-dessous).



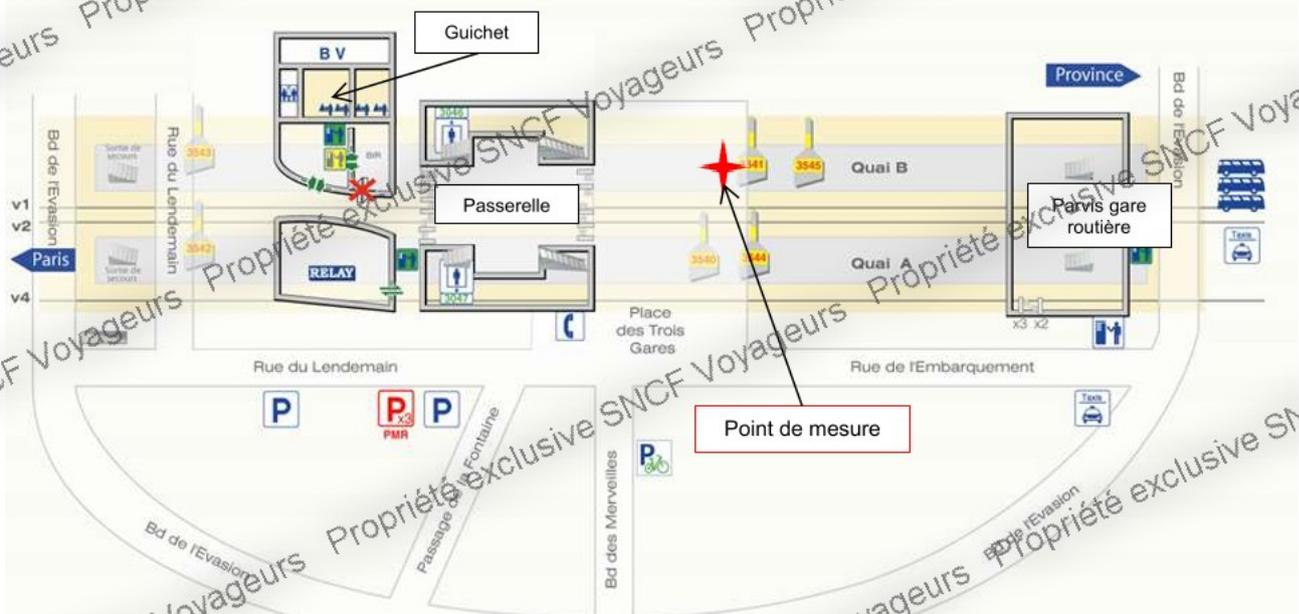
Plan 1 : Plan régional du réseau francilien

DOC046567-00 / MES017696

## Caractéristiques architecturales

La gare de Cergy le Haut comporte des parties souterraines (quais et voies) et des parties aériennes (guichet, passerelle et parvis de la gare routière donnant accès aux quais). Les deux quais et les quatre voies qui composent la gare sont largement ouverts sur l'extérieur.

Cette gare n'est pas équipée de ventilation mécanique de confort.



Plan 2 : Plan représentant 2 niveaux de la gare (RDC niveau rue : guichet, passerelle et parvis de la gare routière / Un niveau en dessous du RDC : quais et voies)

## Photographies de la gare



Photographie 1 : Extérieur de la gare



Photographies 2 et 3 : Intérieur de la gare



Photographie 4 : Emplacement de la baie de mesure sur le quai B

#### Matériel roulant

Le matériel circulant en service commercial en gare de Cergy le Haut est constitué du type MI2N et MI09 pour le RER A et de type Z50000 pour la ligne L du Transilien.

#### Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la gare accueille chaque jour en moyenne 11 466 personnes (nombre de voyageurs montants en 2014).

# AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE



## RAPPORT

### CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE LA DEFENSE

**DOC047580-00 / MES017696**

## AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21, avenue du Président Allende  
F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France  
affaire.aef@sncf.fr  
TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

### Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :**

**DIRECTION DES GARES D'ILE DE FRANCE**  
A l'attention de SCHWANGER Emilie  
34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE  
75014 Paris  
France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE LA DEFENSE

**Résumé :**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de La Défense. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines entre le 11 novembre et le 03 décembre 2017.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation et le trafic ferroviaire.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de La Défense est intermédiaire par rapport à ceux observés dans les gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

#### Elaboration du rapport

Rédacteur

Nom : EL MOUDEN Leïla  
Fonction : Technicienne supérieure

Vérificateur

Nom : ARRIGONI Vincent  
Fonction : Coordinateur technique

#### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent  
Fonction : Responsable de pôle

**Avertissement :**

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

Version	Date de publication	Motivation et Objet de la Modification	Paragraphe(s) concerné(s)
Version 00	Indiquée sur la signature numérique		

**La dernière version Annule et Remplace les versions précédentes**

**DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF**

Références	Intitulé
	Sans objet

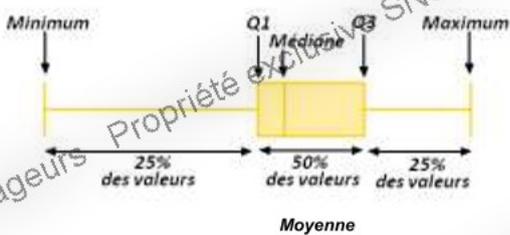
**DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF**

Références	Intitulé
DOC044936-01	Offre – Assistance technique et mesure de qualité de l'air dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France - 2017

**SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS**

Symboles (unités)	Définitions
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micro gramme par mètre cube
$\text{ng}/\text{m}^3$	Nano gramme par mètre cube

**DÉFINITIONS**

Termes	Définitions
PM10	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
PM2.5	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> </ul> <p>Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</p> 

## SOMMAIRE DU RAPPORT:

<b>1 - OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2 - METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
<b>2.1 - Descriptif de la gare</b> .....	<b>6</b>
<b>2.2 - Polluants mesurés</b> .....	<b>6</b>
<b>2.3 - Moyens de mesure</b> .....	<b>7</b>
<b>2.4 - Points de mesure</b> .....	<b>7</b>
<b>2.5 - Période de mesure</b> .....	<b>7</b>
<b>3 - ReSULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>8</b>
<b>3.1 - Concentrations en particules PM10 et PM2,5</b> .....	<b>8</b>
<b>3.2 - Concentrations en métaux</b> .....	<b>15</b>
<b>3.3 - Concentrations en dioxyde de carbone</b> .....	<b>19</b>
<b>4 - CONCLUSION</b> .....	<b>20</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>21</b>
<b>SOMMAIRE DES ANNEXES</b> .....	<b>22</b>

## **1 - OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pour les quais de la gare de La Défense. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2 - METHODOLOGIE**

### **2.1 - Descriptif de la gare**

La gare de La Défense se situe au nord-ouest de Paris, dans le département des Hauts-de-Seine. Elle se divise en deux parties. La première est exploitée par la SNCF et desservie par les trains des lignes L et U du Transilien. La seconde est exploitée par la RATP et desservie par le RER A, la ligne 1 du métro et la ligne 2 du tramway.

Un descriptif détaillé de la gare de la Défense est donné en **annexe 1**.

Il est important de noter que, durant la période de mesure, des travaux ont eu lieu dans la gare dans le cadre du projet Eole (prolongement du RER E vers l'Ouest), avec toutefois un faible impact apparent sur les mesures et prélèvements réalisés.

### **2.2 - Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

Les concentrations en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc ont été déterminées par prélèvements de particules PM10.

Les métaux choisis sont majoritairement des traceurs du trafic ferroviaire.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules. Les travaux de maintenance et l'air extérieur sont aussi une source de pollution dans les gares souterraines.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### **2.3 - Moyens de mesure**

Les concentrations en particules PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux ont été déterminées par prélèvement de particules PM10 sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc.

Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak.

L'ensemble des appareils a été disposé dans une baie de mesure.

### **2.4 - Points de mesure**

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point. Ce point a été positionné au milieu du quai n°2 (desservant les voies 2 et 4). Il est positionné sur le plan de la gare en **annexe 1**.

### **2.5 - Période de mesure**

La campagne de mesure des particules PM10 et PM2,5 a été réalisée du samedi 18 novembre au dimanche 3 décembre 2017 inclus.

Cette période de mesure comprend trois week-ends (samedi et dimanche) et dix jours ouvrés, soit seize jours.

La fréquence d'acquisition des appareils de mesure de particules PM10, PM2,5 et dioxyde de carbone a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1<sup>er</sup> train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués le lundi 13, le mardi 14, le mercredi 15, le jeudi 16 et le vendredi 17 octobre 2017 (soit la première semaine de mesure en continu), de 05h10 à 01h10.

### 3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES

#### 3.1 - Concentrations en particules PM10 et PM2,5

##### 3.1.1 - Niveaux observés en gare de La Défense

Le traitement des données de concentrations moyennes horaires en particules est présenté sous forme de boîte à moustache, pour la période de mesure, sur la figure 1.

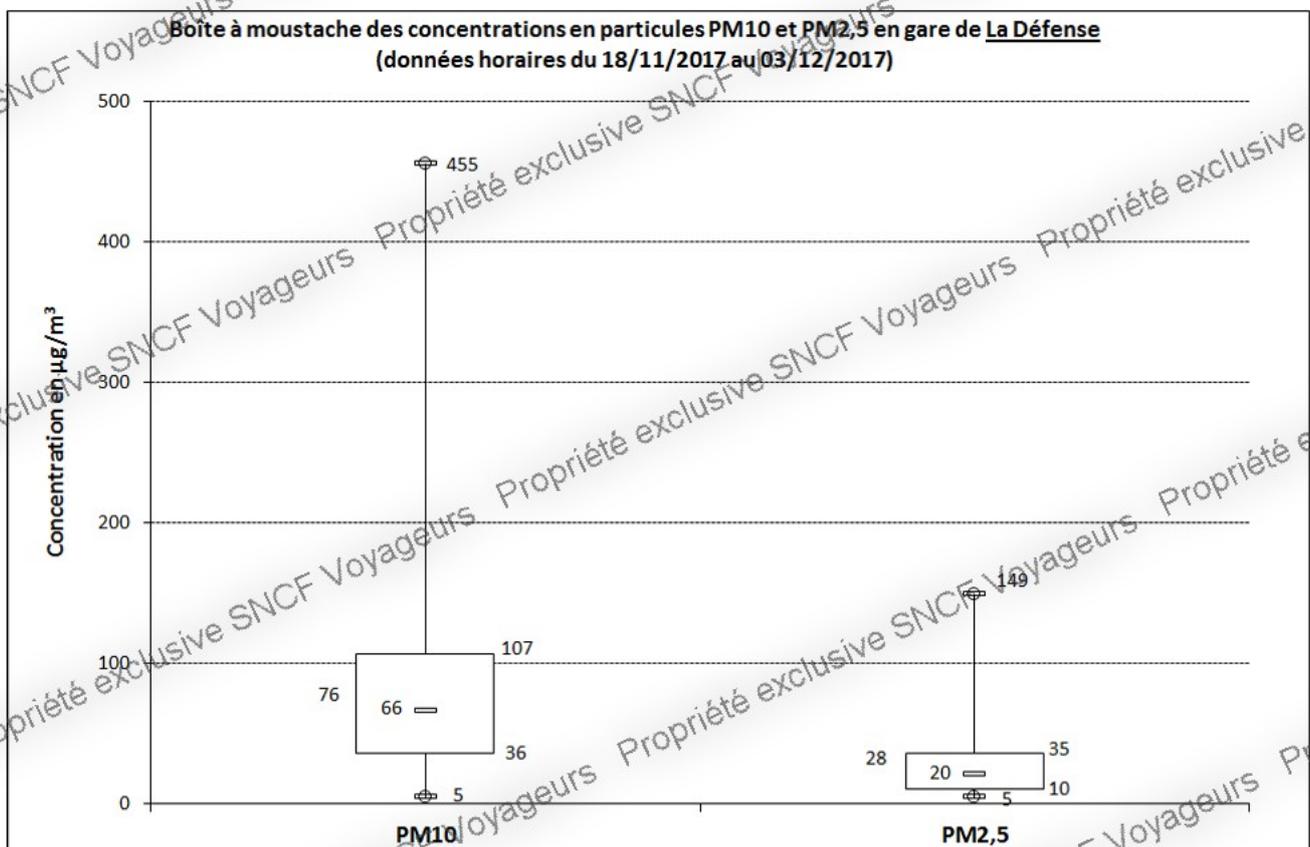


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de 66  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure disponible.

La concentration moyenne est de 76  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et de 28  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5.

La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 37% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre 36 et 107  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à 5 et 455  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre 10 et 35  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à 5 et 149  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des variations de concentration assez importantes pour les PM10.

### 3.1.2 - Variabilité temporelle

La concentration moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble des données de la campagne de mesure.

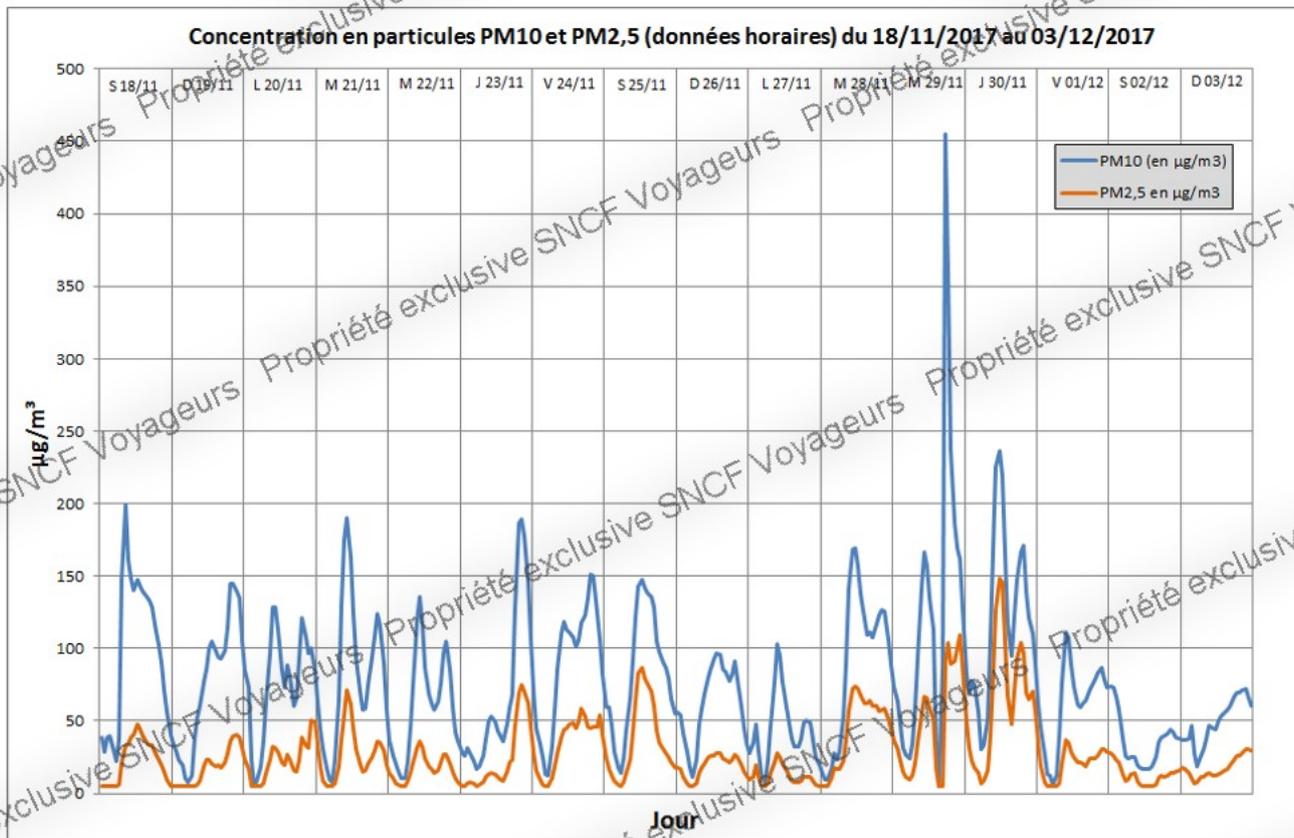


Figure 2

A l'échelle de la semaine, les niveaux sont légèrement plus faibles les jours de week-end (excepté celui du 02 et 03/12) par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi), exceptés le lundi 27/11 et le vendredi 01/12.

En effet, le week-end des samedi 02/12 et dimanche 03/12 présente des concentrations en particules nettement plus faibles que pour les deux week-ends précédents. Cette différence peut s'expliquer par l'interruption de la circulation des trains (ligne L) entre Paris Saint-Lazare et La Défense sur l'ensemble des journées du samedi 02/12 et dimanche 03/12, en raison de travaux de renouvellement de voie et ballast.

Le lundi 27/11 et le vendredi 01/12 sont des journées qui présentent des niveaux de concentrations plus faibles que les autres jours ouvrés observés, avec des maxima légèrement supérieurs à  $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Pour cause, le lundi 27/11, un incident de signalisation a entraîné le ralentissement du trafic de la ligne L jusqu'à 20h. De même, le vendredi 01/12, le trafic de la ligne L a été ralenti durant la matinée suite à la panne d'un train en gare de Puteaux. Concernant la ligne U, un mouvement social a réduit l'offre à 1 train sur 2 sur l'ensemble de la journée du 1<sup>er</sup> décembre.

Par ailleurs, une hausse significative de la concentration en particules PM10 est observée le mercredi 29/11 et dont les causes n'ont pas pu être déterminées.

Les concentrations moyennes pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

	Concentration moyenne <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne <u>jours de week-end</u> *
Concentration en particules PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	82	80
Concentration en particules PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	32	24

\* à l'exception du week-end des samedi 02/12 et dimanche 03/12 durant lequel la circulation a été interrompue sur la ligne L

Tableau 1

Ainsi, la différence de niveaux moyens en particules entre la semaine et le week-end est peu marquée. Il est à noter que le nombre de circulation de trains varie entre les jours de semaine et de week-end. En effet, le trafic théorique en gare de La Défense lors de la campagne de mesure était de 421 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi, 357 trains le samedi et 293 trains le dimanche ; soit une diminution de plus de 15% entre la semaine et le week-end. Cependant, la gare de La Défense reste un lieu très fréquenté, y compris le week-end (centres commerciaux ...).

A l'échelle du jour, les concentrations en particules sont plus élevées aux heures d'ouverture de la gare qu'aux heures de fermeture.

En période d'ouverture de la gare, deux pointes par jour, d'amplitude variable, se distinguent globalement de la période creuse. Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les jours ouvrés pour les PM10 et les PM2,5 sur les figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés (du lundi au vendredi).

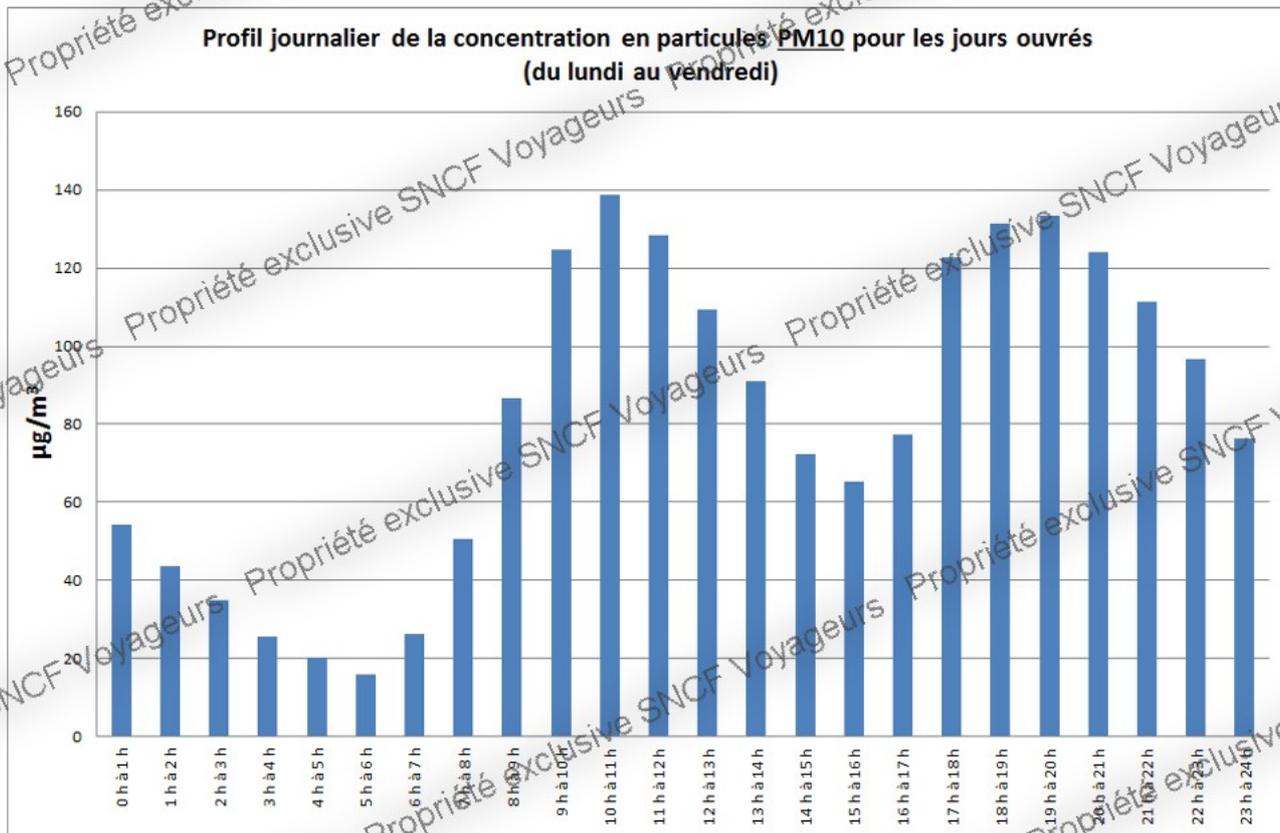


Figure 3

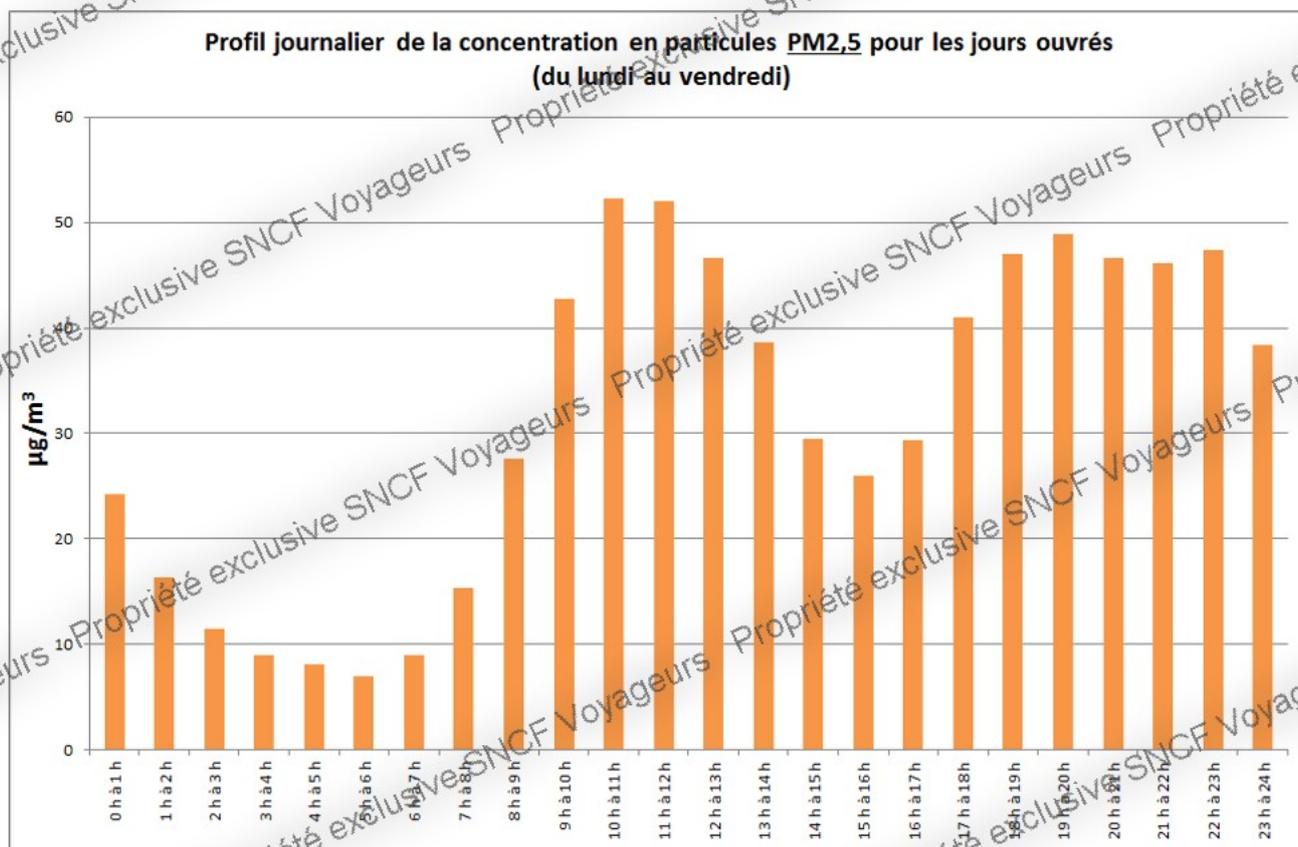


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés permettent de distinguer, une pointe du matin (approximativement entre 9h et 13h, avec un maximum sur la période 10h-11h) et une pointe du soir (approximativement entre 18h et 21h, avec un maximum sur la période 19h-20h).

Le profil des concentrations en particules est globalement corrélé au nombre théorique de trains circulant dans cette gare. Comme le montre la figure 5 ci-dessous, il apparaît un décalage entre le pic de circulation et le pic de concentration le matin et le soir. Ceci peut en partie s'expliquer par la moyenne glissante calculée par l'appareil de mesure.

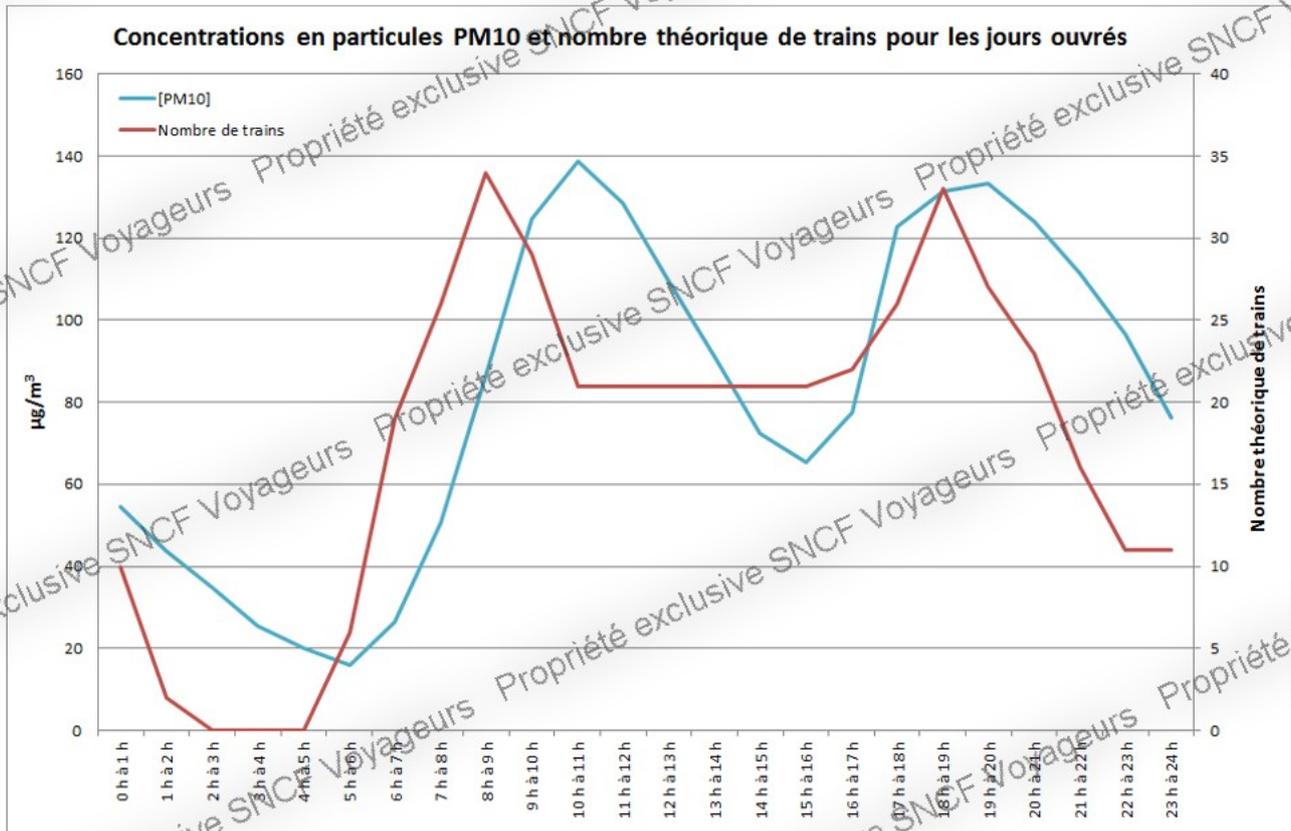


Figure 5

Ces profils journaliers montrent que les concentrations les plus basses sont observées peu après la fermeture de la gare.

Ainsi, il existe une relation entre les teneurs en particules et les activités dans la gare de La Défense. Le trafic ferroviaire est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. En période de pointe du matin et du soir, la densité du trafic et des voyageurs est plus importante, ce qui conduit à des émissions de particules plus élevées. Enfin, de par l'activité en gare, les particules émises sont sans cesse remises en suspension dans l'air, lors des passages des trains et des déplacements des voyageurs.

### 3.1.3 - Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare de La Défense ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare de La Défense (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part.

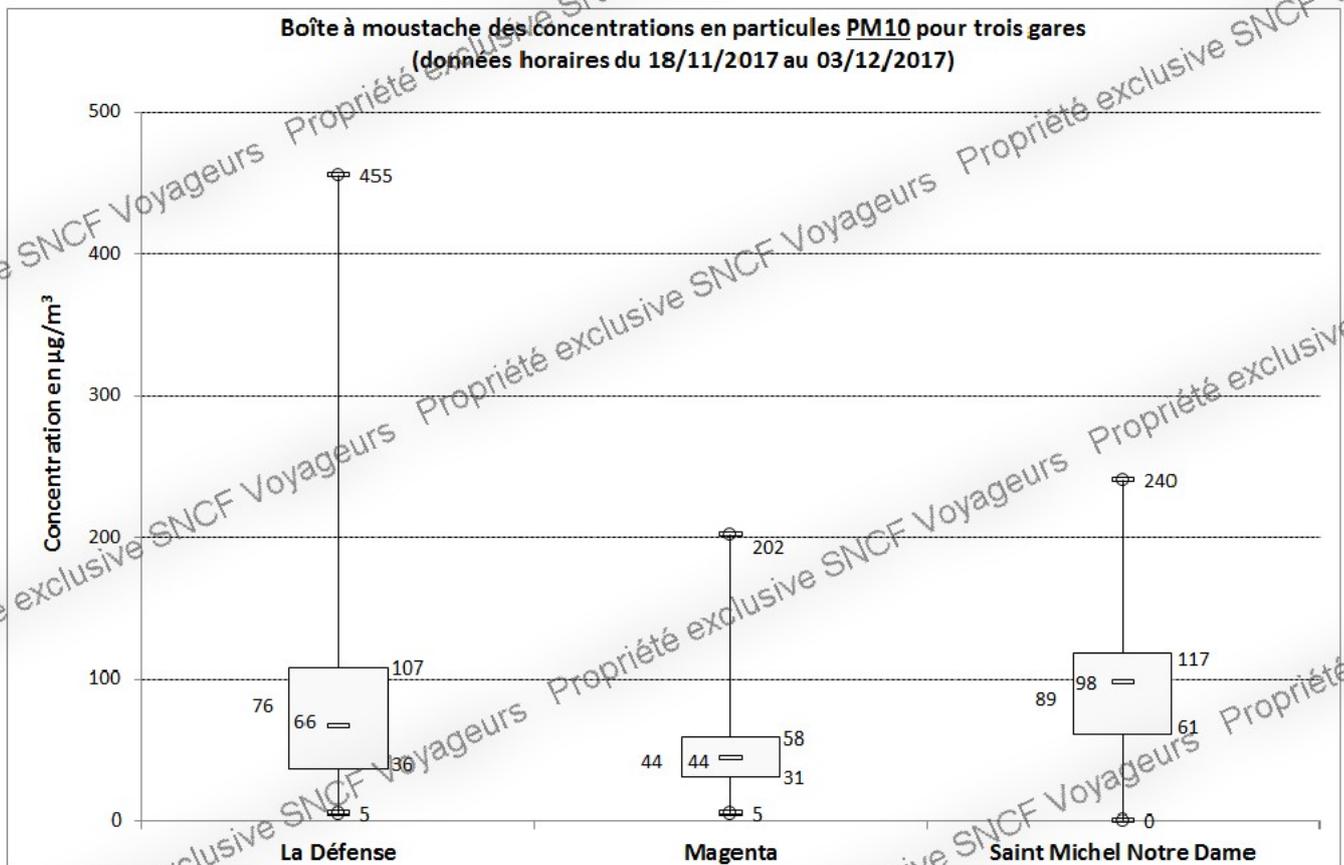


Figure 6

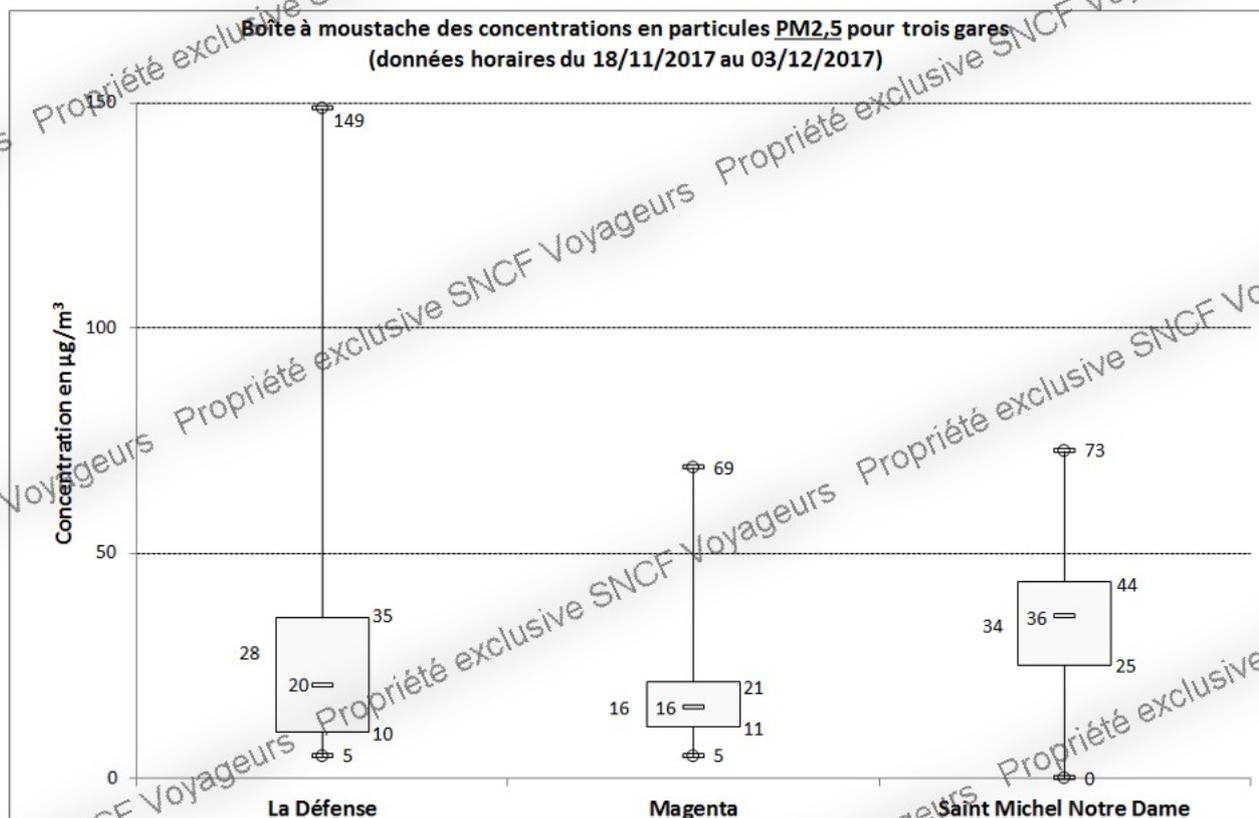


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrement en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> en gare de La Défense est inférieur à celui de la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur à celui de la gare de Magenta. En effet, en gare de La Défense, la concentration moyenne en particules est environ 1,2 fois moins élevée qu'en gare de Saint Michel Notre Dame et deux fois plus importante qu'en gare de Magenta.

Les maximums observés en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub> sont plus élevés en gare de La Défense par rapport aux deux autres gares. Quant à la dispersion des concentrations en particules, elle est aussi plus importante pour la gare de La Défense, suivie de la gare de Saint Michel Notre Dame et enfin de la gare de Magenta, pour laquelle la dispersion des résultats est moindre (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75).

Concernant la fréquentation en termes de voyageurs et de trains, elle est semblable pour les gares de La Défense et Saint Michel Notre Dame. En effet, la gare de La Défense accueille 51 458 voyageurs montants par jour alors que la gare de Saint Michel Notre Dame en accueille 59 480. Concernant le nombre de trains théoriques par jour, il est de 421 à La Défense contre 477 à Saint Michel Notre Dame pour les jours ouvrés.

De plus, en matière de ventilation, ces deux gares ne sont pas équipées de ventilation mécanique de confort.

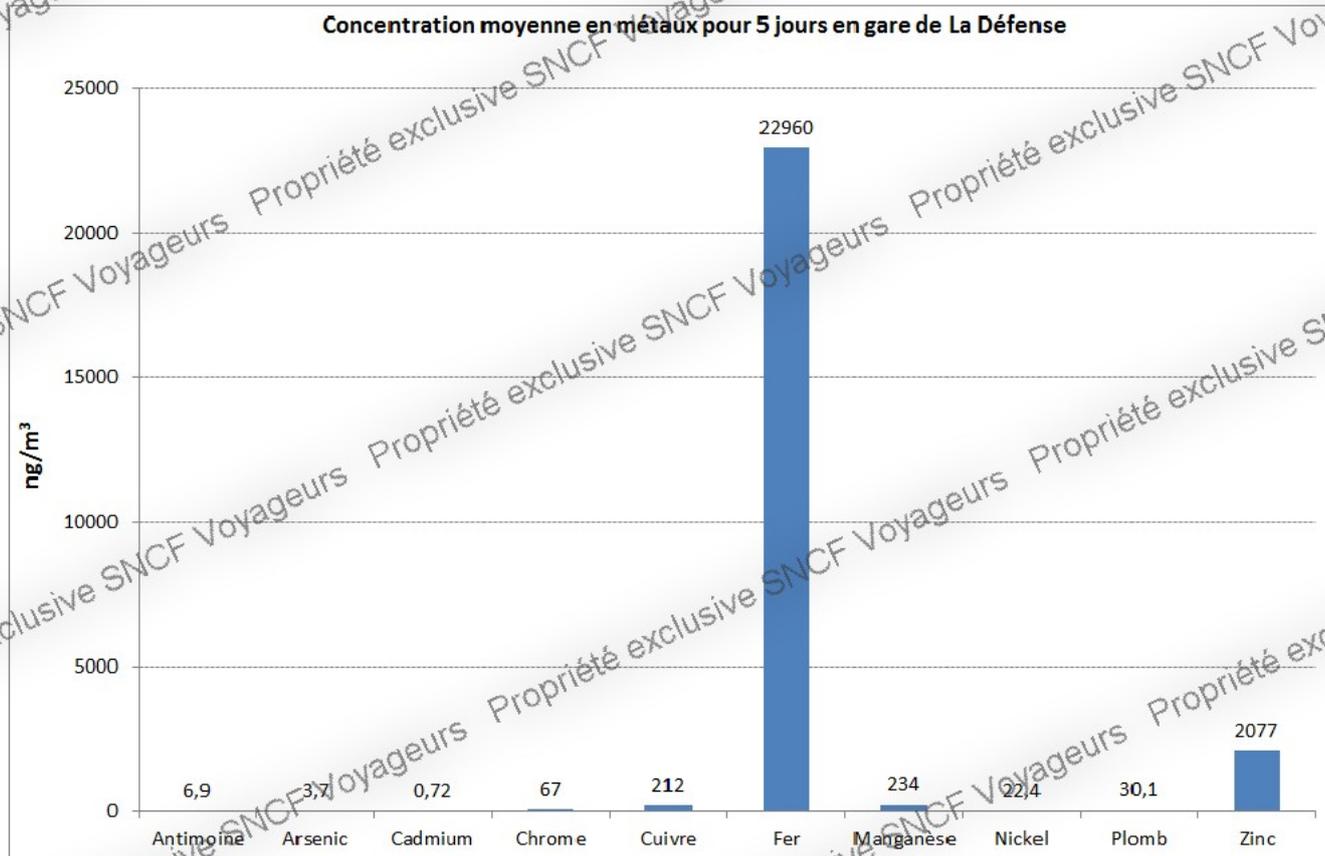
La gare de Magenta, pour laquelle les niveaux de particules sont relativement faibles, est plus fréquentée (78 210 voyageurs montants, 432 trains pour les jours ouvrés) que la gare de La Défense. Magenta est une gare très volumineuse et possède une ventilation mécanique optimisée, ce qui explique en grande partie ces concentrations plus basses.

### 3.2 - Concentrations en métaux

#### 3.2.1 - Niveaux observés en gare de La Défense

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare de La Défense, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les taux de concentration moyens pour les dix métaux mesurés.



**Figure 8**

En moyenne, le fer représente 16 % de la composition des particules PM10. Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (89,6 % de fer et 10,4 % d'autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces particules riches en fer sont principalement issues d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

La figure 9 montre les concentrations pour les neuf autres métaux, excepté le fer, afin de rendre le graphique plus lisible.

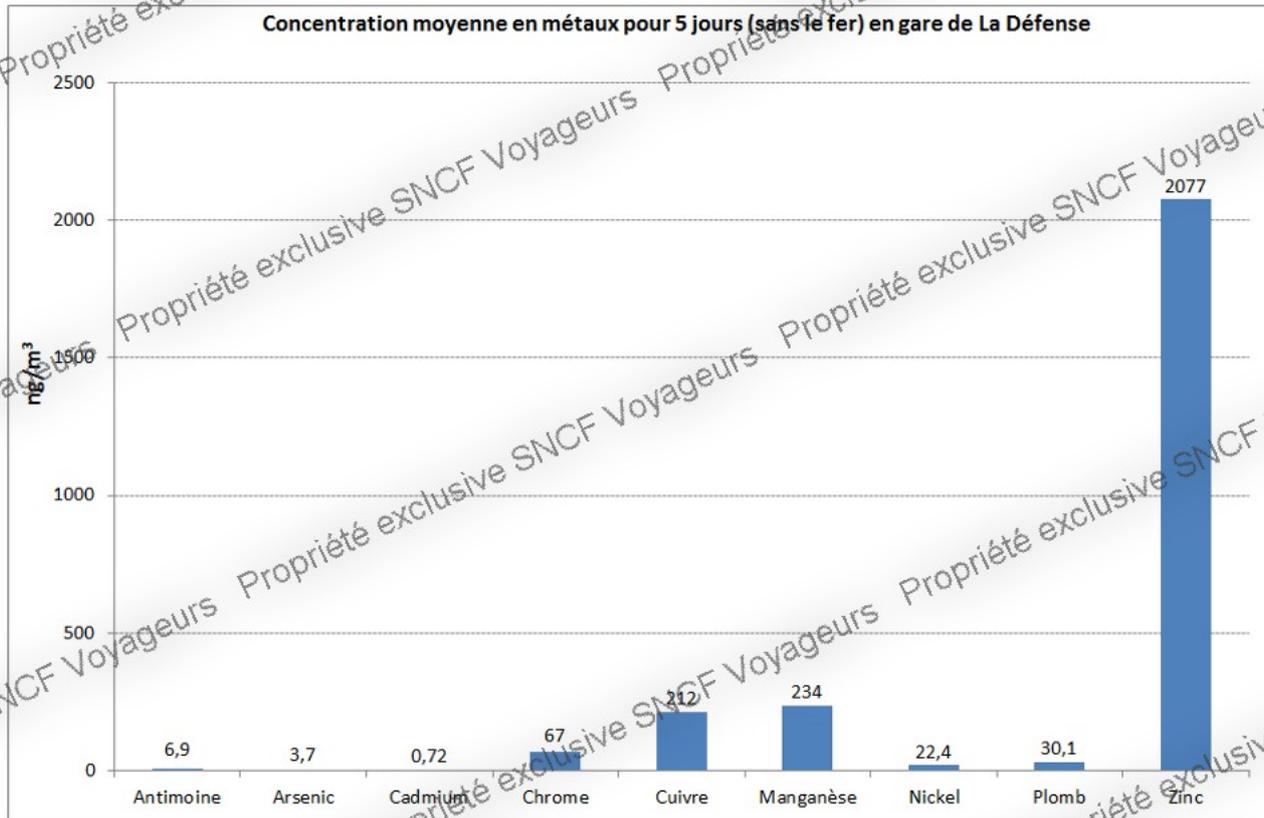


Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le manganèse et le cuivre. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le chrome, le plomb et le nickel.

En complément, la figure 10 reprend la répartition moyenne en pourcentage de chacun des dix métaux analysés pour les cinq journées de mesure.

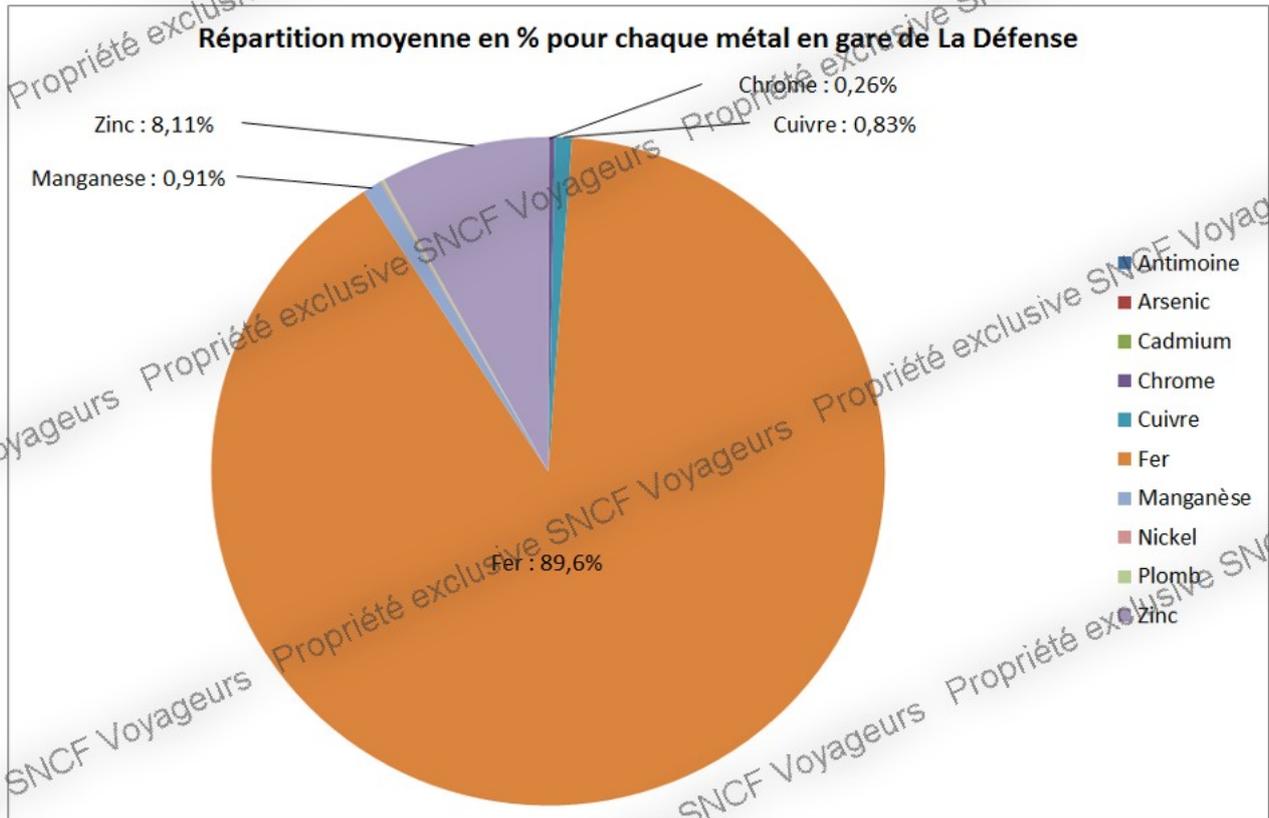
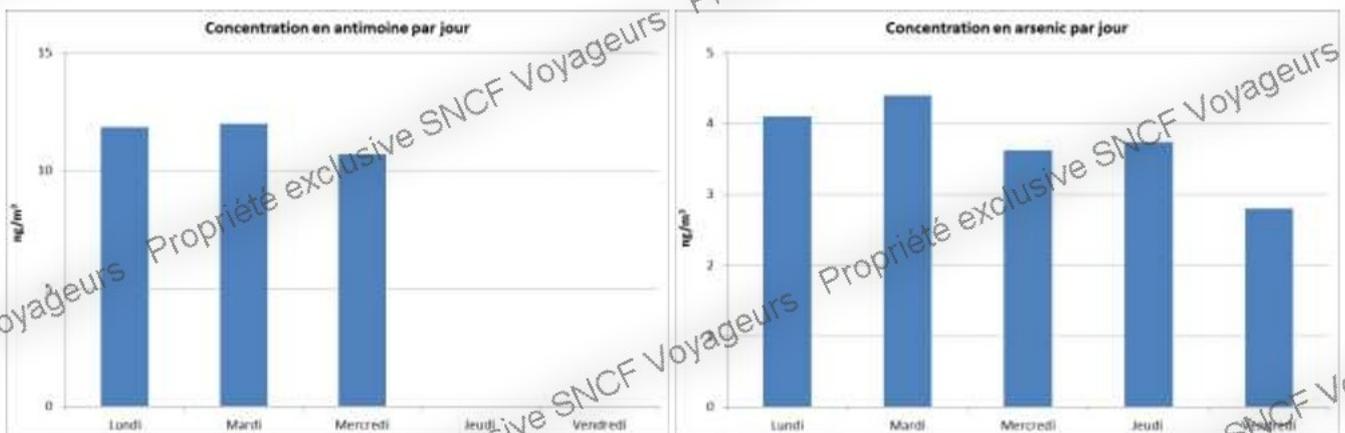


Figure 10

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse, qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux, ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2 - Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées. Il est important de noter que les échelles diffèrent selon les représentations graphiques.



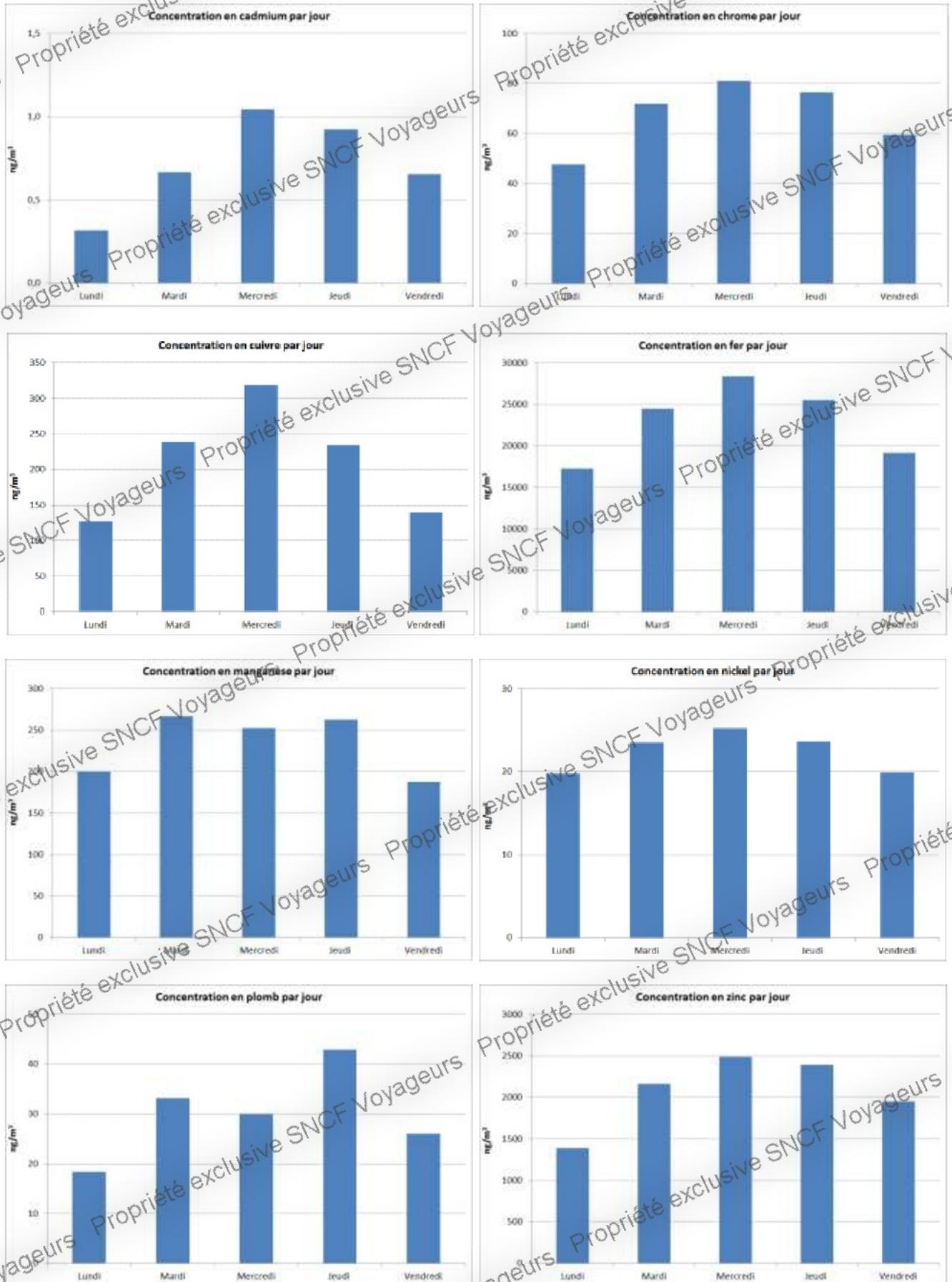


Figure 11

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre. Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure.

### 3.3 - Concentrations en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 12 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

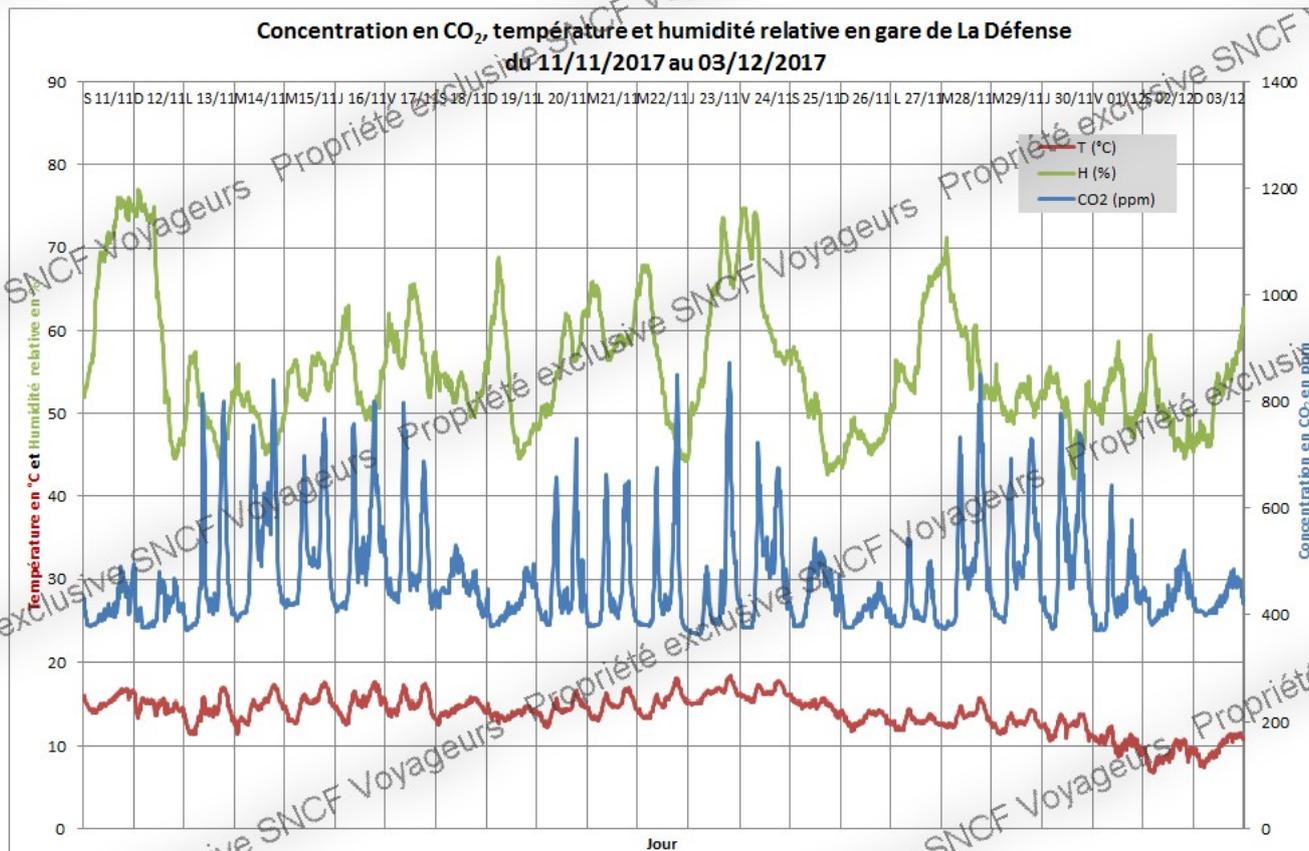


Figure 12

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare de La Défense est en moyenne de 14°C. L'humidité relative était comprise entre 43 et 77 %.

Concernant le dioxyde de carbone, l'évolution globale de sa concentration est similaire à celle des concentrations en particules; à savoir une concentration généralement plus faible la nuit et les jours de week-end et deux pointes en journée du lundi au vendredi. Ces profils représentent la fréquentation des voyageurs sur le quai de la gare.

#### 4 - CONCLUSION

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de La Défense. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 18 novembre au 03 décembre 2017.

Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare de La Défense a été de  $76 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et  $28 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation de la gare et le trafic ferroviaire. Ce dernier est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare.

Le niveau d'empoussièrément en PM10 et PM2,5 en gare de La Défense est légèrement inférieur à celui de la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur à celui de la gare de Magenta.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le zinc, le manganèse et le cuivre.

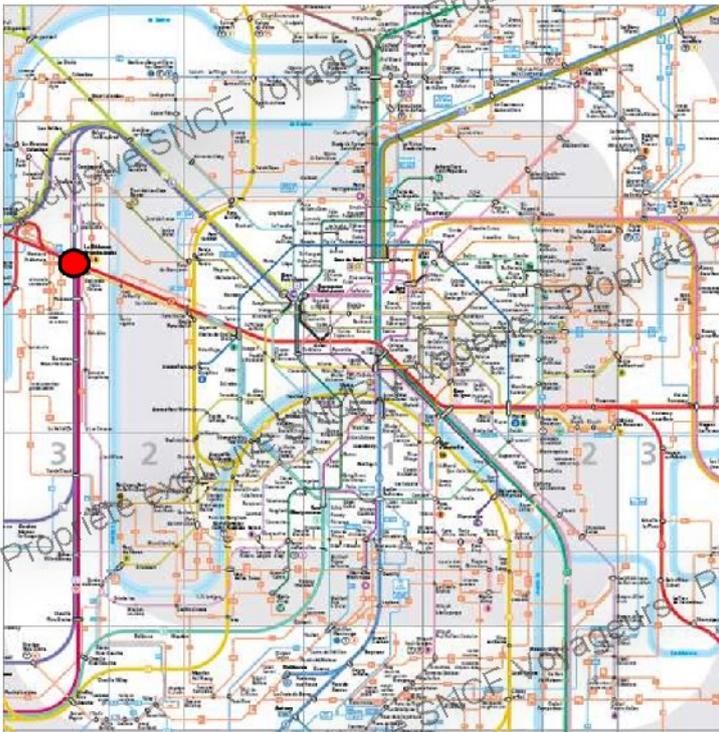
# ANNEXES

## RAPPORT

### CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE LA DEFENSE

## SOMMAIRE DES ANNEXES

<b>ANNEXE 1 : Descriptif de la gare de La Défense .....</b>	<b>23</b>
---	-----------



Plan 1 : Plan régional du réseau francilien

#### Positionnement

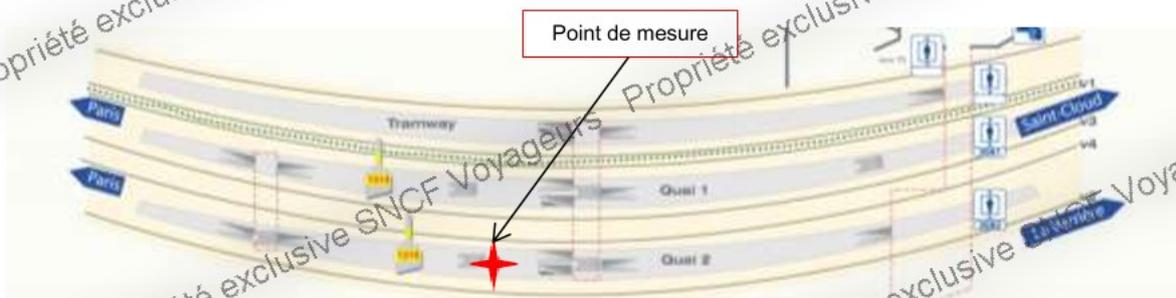
La gare de La Défense est desservie par les lignes L (terminus) et U du Transilien, mais aussi par le RER A, la ligne 1 du métro et la ligne 2 du tramway (cf. point rouge sur le plan 1).

Les lignes L et U se situent au même niveau que la ligne 2 du tramway. Le RER A et la ligne 1 du métro se situent à des niveaux inférieurs.

#### Caractéristiques architecturales

La gare de La Défense est souterraine. Les deux quais et quatre voies des lignes L et U du Transilien se situent un niveau au-dessus du bureau de vente et des locaux des agents commerciaux.

Cette gare n'est pas équipée de ventilation mécanique de confort.



Plan 2 : Plan représentant les quais et voies (tramway T2 et lignes L et U)



Photographie 1 : Emplacement de la baie de mesure sur le quai n°2

### Matériel roulant

Le matériel circulant en service commercial en gare de La Défense est constitué des types Z 6400 et Z 50000 pour la ligne L du Transilien et des types Z 8800 pour la ligne U. Concernant la ligne 2 du tramway RATP, le type de matériel roulant est le Citadis 302.

Pour les lignes L et U, en conditions normales de circulation, le nombre de trains en heure de pointe est au maximum de 34 par heure ; il est globalement de 21 en heure creuse. Lors de la campagne de mesure, les trains ont circulé de 05h10 à 01h10.

### Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la partie SNCF de la gare accueille chaque jour ouvré en moyenne 51 458 personnes (nombre de voyageurs montants en 2016).

**AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE**



**RAPPORT**

**CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT  
DEUX SEMAINES EN GARE DE SEVRAN-BEAUDOTTES**

**DOC047520-00 / MES017696**

## AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21, avenue du Président Allende

F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France

affaire.aef@sncf.fr

TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : +33 (0)1 47 18 84 00

### Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

**Destinataire :**

**DIRECTION DES GARES D'ILE DE FRANCE**

A l'attention de SCHWANGER Emilie

34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE

75014 Paris

France

## CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE SEVRAN-BEAUDOTTES

**Résumé :**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de Sevrans-Beaudottes. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 14 au 29 octobre 2017.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation et le trafic ferroviaire.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes est supérieur par rapport à ceux observés dans les gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

#### Elaboration du rapport

Rédacteur

Nom : EL MOUDEN Leïla

Fonction : Technicienne supérieure

Vérificateur

Nom : ARRIGONI Vincent

Fonction : Coordinateur technique

#### Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent

Fonction : Responsable de pôle

**Avertissement :**

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

**SUIVI DES MODIFICATIONS**

Version	Date de publication	Motivation et Objet de la Modification	Paragraphe(s) concerné(s)
Version 00	Indiquée sur la signature numérique		

**La dernière version Annule et Remplace les versions précédentes**

**DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF**

Références	Intitulé
	Sans objet

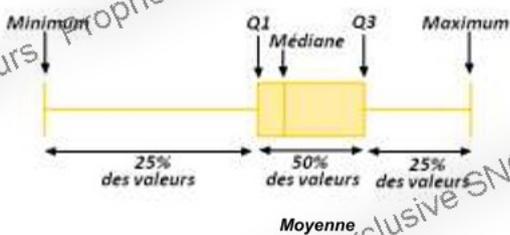
**DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF**

Références	Intitulé
DOC044936-01	Offre – Assistance technique et mesure de qualité de l'air dans les gares souterraines et mixtes d'Ile de France - 2017

**SYMBOLES ET ABREVIATIONS**

Symboles (unités)	Définitions
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micro gramme par mètre cube
$\text{ng}/\text{m}^3$	Nano gramme par mètre cube

**DÉFINITIONS**

Termes	Définitions
PM10	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
PM2,5	Particule de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres ( $\mu\text{m}$ )
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement statistique de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- La médiane : valeur qui coupe l'ensemble des données en deux parties égales (50% des données sont au-dessus de la médiane et 50% des données sont en-dessous de cette valeur) ;</li> <li>- La moyenne de l'ensemble des données ;</li> <li>- Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ;</li> <li>- Les minima et maxima aux extrémités des moustaches.</li> </ul> 

## SOMMAIRE DU RAPPORT

<b>1 - OBJET</b> .....	<b>6</b>
<b>2 - METHODOLOGIE</b> .....	<b>6</b>
2.1 - Descriptif de la gare .....	6
2.2 - Polluants mesurés .....	6
2.3 - Moyens de mesure .....	7
2.4 - Points de mesure .....	7
2.5 - Période de mesure .....	7
<b>3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES</b> .....	<b>8</b>
3.1 - Concentrations en particules PM10 et PM2,5 .....	8
3.2 - Concentrations en métaux .....	15
3.3 - Concentration en dioxyde de carbone .....	19
<b>4 - CONCLUSION</b> .....	<b>20</b>
<b>ANNEXES</b> .....	<b>21</b>
<b>SOMMAIRE DES ANNEXES</b> .....	<b>22</b>

## **1 - OBJET**

La Direction des Gares d'Ile de France a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire afin de réaliser des campagnes de mesures de qualité de l'air au sein des gares souterraines et mixtes d'Ile de France.

Ce rapport présente les résultats de ces mesures de concentration en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pour les quais de la gare de Sevrans-Beaudottes. Ces mesures visent à caractériser l'air sur les quais d'un point de vue santé publique.

## **2 - METHODOLOGIE**

### **2.1 - Descriptif de la gare**

La gare de Sevrans-Beaudottes se situe sur la ligne B du RER, dans le département de la Seine-Saint-Denis. Cette gare comporte deux voies et deux quais entièrement souterrains. Le bâtiment voyageurs, c'est-à-dire l'espace comprenant le hall voyageurs et le guichet, et les accès aux quais sont aériens. Des tunnels encadrent la gare à chaque extrémité des quais. Un descriptif de la gare figure en **annexe 1**.

### **2.2 - Polluants mesurés**

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les polluants suivants :

- Concentration en particules PM10 et PM2,5 ;
- Concentration en métaux ;
- Concentration en dioxyde de carbone (CO2).

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, principaux polluants susceptibles d'être présents dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Ces particules peuvent pénétrer dans l'appareil respiratoire et se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM2,5).

Les concentrations en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc ont été déterminées par prélèvement de particules PM10.

Ces particules proviennent essentiellement de l'usure des matériaux engendrée par la friction roue-frein, le contact roue-rail et le contact entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique. Les voyageurs (usure des vêtements, des chaussures, des sols) sont également source de particules. Les travaux de maintenance et l'air extérieur sont aussi une source de pollution dans les gares souterraines.

Le CO<sub>2</sub> est un bon traceur de la fréquentation des gares par les voyageurs car il est émis par la respiration.

### **2.3 - Moyens de mesure**

Les concentrations en particules PM10 et PM2,5 ont été mesurées en continu à l'aide d'un analyseur TEOM 1405-D (Tapered Element Oscillating Microbalance). Le principe de mesure consiste en une variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre, en fonction de la quantité de poussière aspirée et se déposant sur ce dernier.

Les concentrations en métaux ont été déterminées par prélèvement de particules PM10 sur filtre avec un préleveur séquentiel PARTISOL PLUS. Les filtres ont été analysés par spectrométrie de masse à plasma à couplage inductif (ICP-MS) afin de déterminer la concentration en arsenic, antimoine, cadmium, chrome, cuivre, fer, manganèse, nickel, plomb et zinc.

Les mesures de dioxyde de carbone (CO<sub>2</sub>) par infrarouge non dispersif, de température et d'humidité relative ont été effectuées avec un analyseur Q-Trak.

L'ensemble des appareils a été disposé dans une baie de mesure (voir photographie 2 de l'annexe 1).

### **2.4 - Points de mesure**

L'ensemble des mesures de polluants a été réalisé en un point. Ce point a été positionné au milieu du quai n°2 (direction Aéroport Roissy Charles-De-Gaulle), à proximité d'une trappe de visite située sur le mur. Il est indiqué par une croix rouge sur le plan de la gare en annexe 1.

### **2.5 - Période de mesure**

La campagne de mesure était initialement prévue du samedi 7 au dimanche 22 octobre 2017 inclus. La survenue d'un défaut d'alimentation électrique a entraîné le report de la campagne de mesure au samedi 14 octobre, jusqu'au dimanche 29 octobre 2017 inclus.

Cette période de mesure comprend trois week-ends (samedi et dimanche, dont deux pendant les vacances de la Toussaint) et dix jours ouvrés (dont cinq coïncidant avec les vacances de la Toussaint), soit seize jours. Les vacances de la Toussaint ont débuté le samedi 21 octobre 2017 pour se terminer le dimanche 5 novembre 2017.

La fréquence d'acquisition des appareils de mesure de particules PM10, PM2,5 et dioxyde de carbone a été programmée à quinze minutes.

Concernant les concentrations en métaux, les prélèvements ont été réalisés du passage du 1<sup>er</sup> train jusqu'au dernier train pour cinq journées. Ces prélèvements ont été effectués en dehors de la période de vacances scolaires : le lundi 16, le mardi 17, le mercredi 18, le jeudi 19 et le vendredi 20 octobre 2017 (soit la première semaine de mesure en continu), de 05h03 à 00h36.

### 3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES

#### 3.1 - Concentrations en particules PM10 et PM2,5

##### 3.1.1 - Niveaux observés en gare de Sevrans-Beaudottes

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules est présenté sous forme de boîtes à moustache, pour la période de mesure, sur la figure 1.

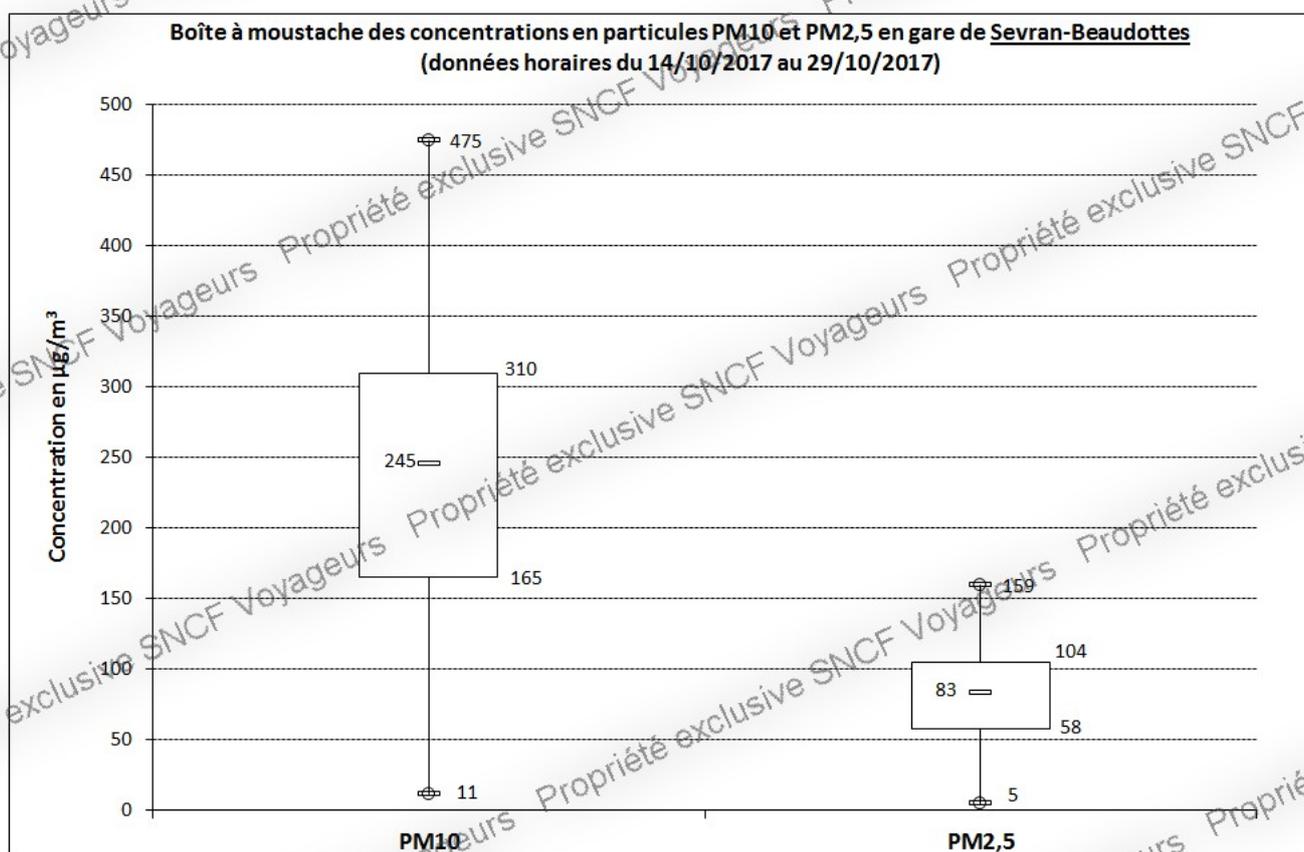


Figure 1

Ce graphique montre que la valeur médiane est de  $245 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les concentrations en PM10 et de  $83 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5, sur la totalité de la période de mesure.

La concentration moyenne est de  $230 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et de  $78 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. La proportion de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 34% en moyenne.

La moitié des concentrations en PM10 est comprise entre 165 et  $310 \mu\text{g}/\text{m}^3$ , avec des extrêmes à 11 et  $475 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . De même, la moitié des concentrations en PM2,5 est comprise entre 58 et  $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$  avec des extrêmes à 5 et  $159 \mu\text{g}/\text{m}^3$ . Ceci montre des variations de concentration assez importantes.

### 3.1.2 - Variabilité temporelle

La concentration moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 en fonction du temps est représentée sur la figure 2 ci-dessous pour l'ensemble des données de la campagne de mesure.

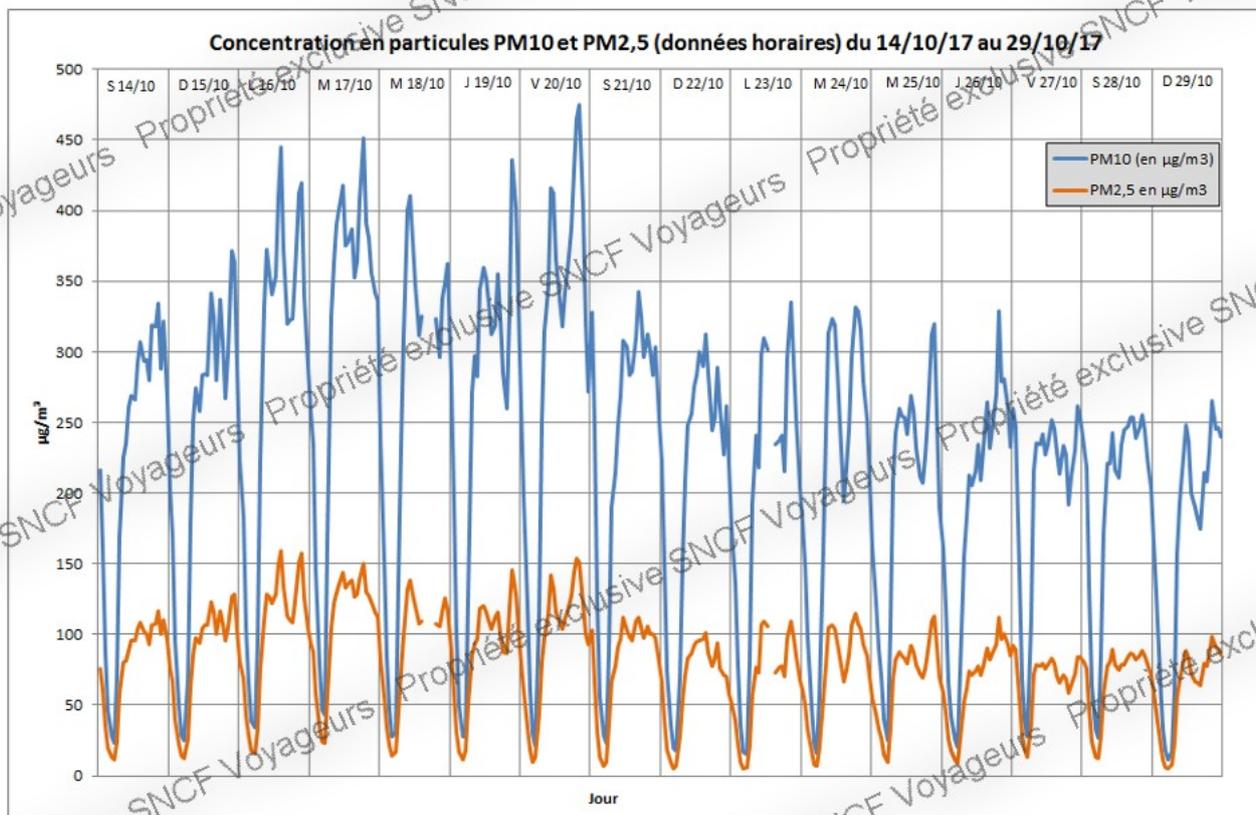


Figure 2

A l'échelle de la semaine, les niveaux sont légèrement plus faibles les jours de week-end par rapport aux jours ouvrés (du lundi au vendredi).

A noter que, lors de la deuxième semaine de la campagne de mesure, un incident électrique survenu sur le transformateur de Drancy a entraîné une réduction de l'offre de transport durant les heures de pointe (3 trains sur 4), jusqu'au vendredi 27 octobre inclus.

Les concentrations moyennes pour chaque période sont reprises dans le tableau 1 ci-dessous.

	Jours ouvrés (du lundi 16 au vendredi 20/10) <i>Offre classique</i>	Jours ouvrés (du lundi 23 au vendredi 27/10) <i>Offre réduite</i>	Jours de week-end <i>Offre classique</i>	Jours de week-end <i>Vacances scolaires</i>
Concentration en particules PM10 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	281	201	229	203
Concentration en particules PM2,5 ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	96	68	82	69

Tableau 1

Ainsi, dans le cadre d'une offre de transport classique, la différence de niveaux moyens en particules entre les jours ouvrés et le week-end est assez marquée pour la gare de Sevrans-Beaudottes. On constate une diminution des concentrations de l'ordre de 20% et de 15%, respectivement pour les PM10 et les PM2,5.

De plus, les moyennes des concentrations en particules relevées les jours ouvrés, dans le cadre d'une offre réduite, sont proches de celles observées les jours de week-end pendant les vacances scolaires.

Il est à noter que le nombre de circulation de trains varie entre les jours de semaine et de week-end. En effet, le trafic théorique en gare de Sevrans-Beaudottes lors de la première semaine de la campagne de mesure était de 320 trains par jour pour les journées du lundi au vendredi et 293 trains le samedi et le dimanche ; soit une diminution d'environ 10% entre la semaine et le week-end.

En relatif, la diminution des concentrations en particules est plus importante que la baisse de circulation entre les jours de semaine et les week-ends. La fréquentation des voyageurs est un autre paramètre qui pourrait expliquer cette différence.

A l'échelle du jour, les concentrations en particules sont plus élevées aux heures d'ouverture de la gare qu'aux heures de fermeture.

En période d'ouverture de la gare, deux pointes par jour, d'amplitude variable, se distinguent globalement de la période creuse. Ceci est illustré par les profils journaliers moyens pour les jours ouvrés pour les PM10 et les PM2,5 en figures 3 et 4 ci-dessous. Il s'agit de la moyenne par tranche horaire pour l'ensemble des jours ouvrés disponibles (du lundi au vendredi).

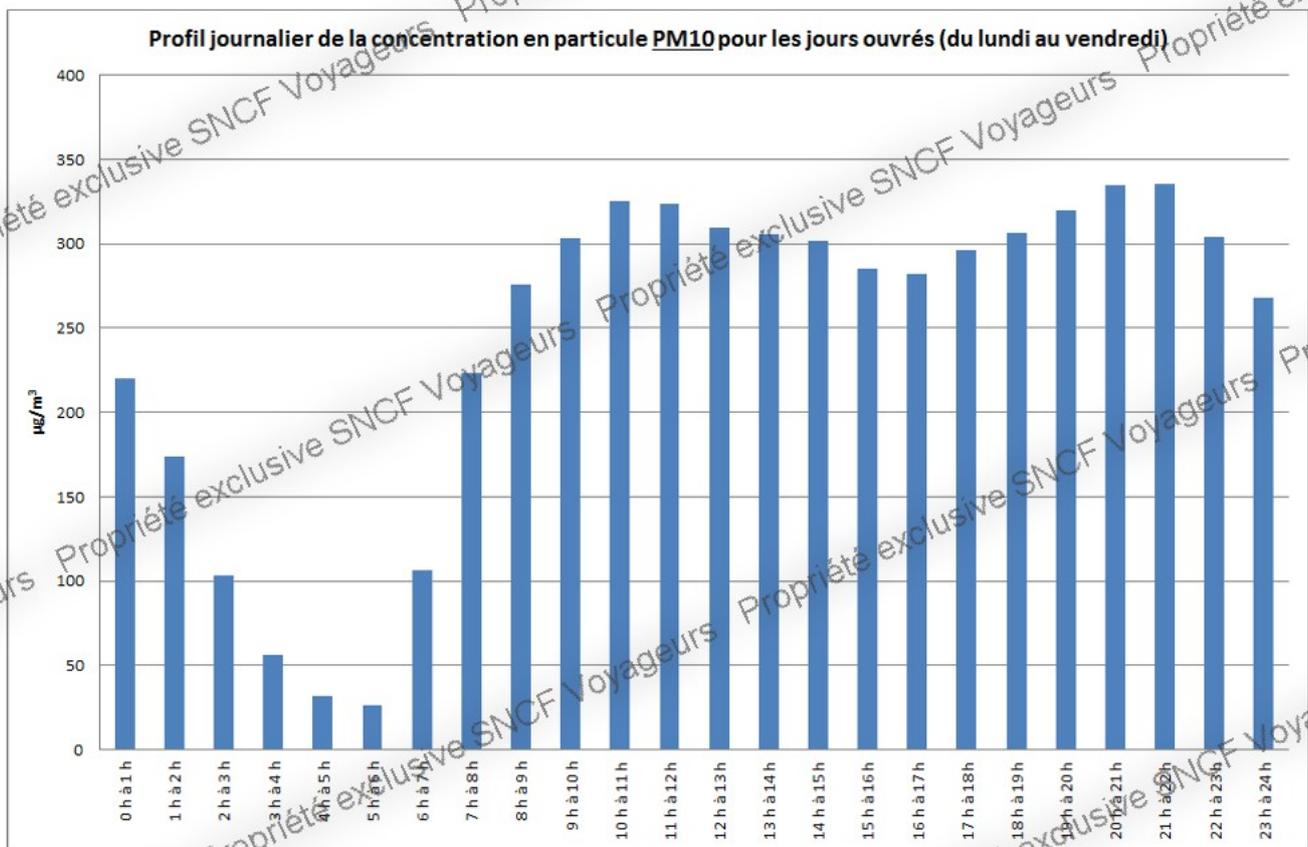


Figure 3

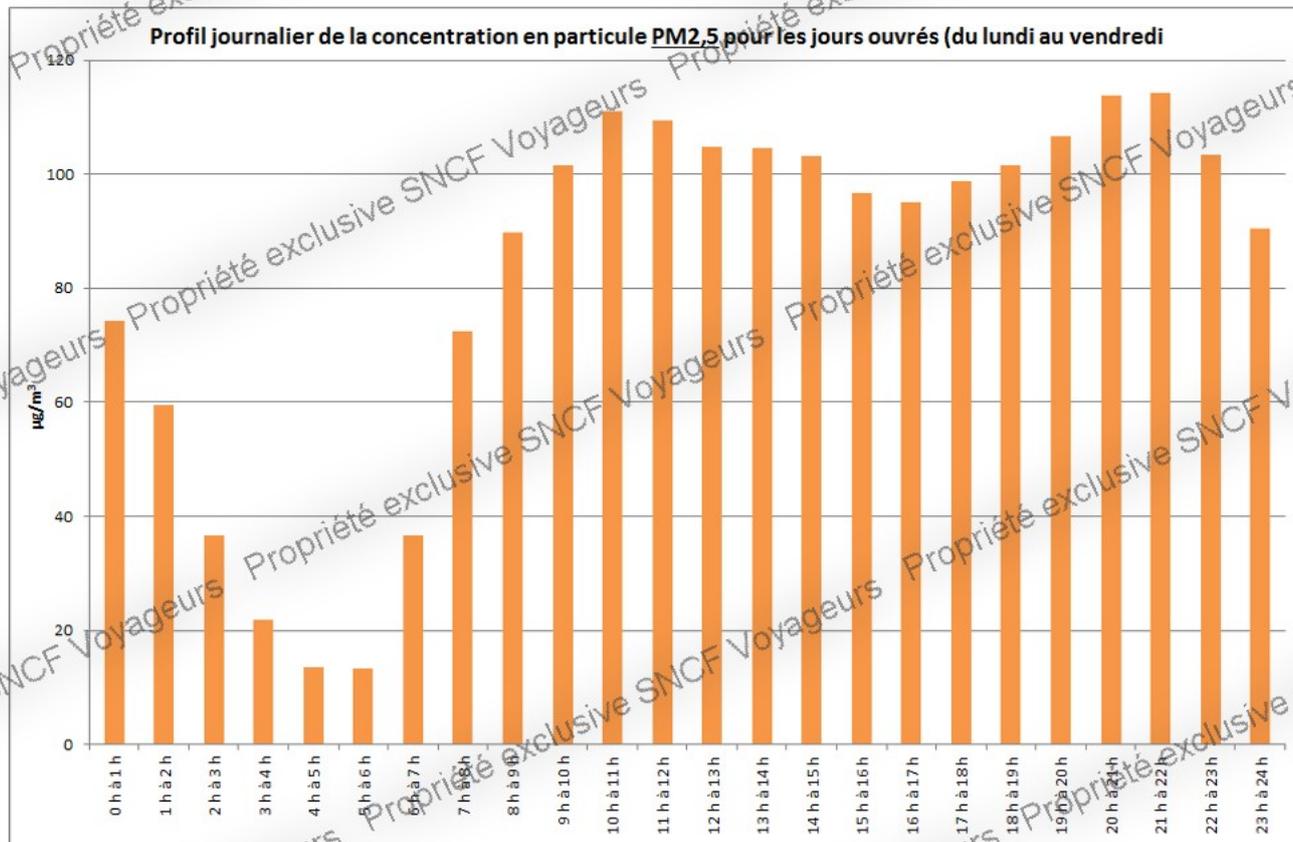


Figure 4

Ces profils journaliers moyens pour les jours ouvrés permettent de distinguer une pointe du matin (approximativement entre 9h et 13h, avec un maximum sur la période 10h-11h) et une pointe du soir (approximativement entre 19h et 22h, avec un maximum sur la période 20h-22h).

Le profil des concentrations en particules est globalement corrélé au nombre théorique de trains circulant dans cette gare. Comme le montre la figure 5 ci-dessous, il apparaît un décalage entre le pic de circulation et le pic de concentration le matin et le soir. Ceci peut en partie s'expliquer par la moyenne glissante calculée par l'appareil de mesure.

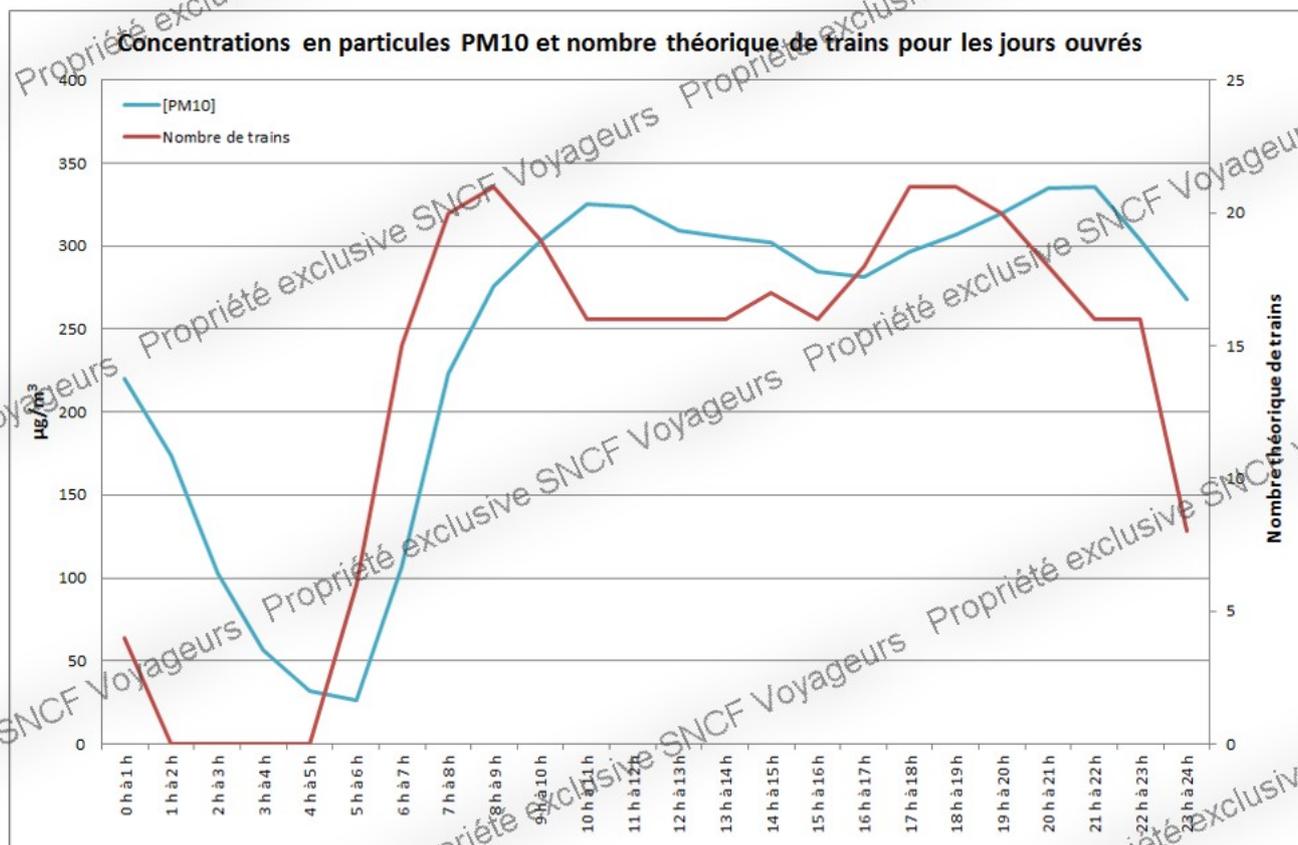


Figure 5

Ces profils journaliers montrent que les concentrations les plus basses sont observées peu après l'ouverture de la gare.

Ainsi, il existe une relation entre les teneurs en particules et les activités dans la gare de Sevrans-Beaudottes. Le trafic ferroviaire est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare. En période de pointe du matin et du soir, la densité du trafic et des voyageurs est plus importante, ce qui conduit à des émissions de particules plus élevées. Enfin, de par l'activité en gare, les particules émises sont sans cesse remises en suspension dans l'air, lors des passages des trains et des déplacements des voyageurs.

### 3.1.3 - Comparaison avec d'autres gares

Les résultats de concentrations en particules en gare de Sevrans-Beaudottes ont été comparés avec ceux de deux autres gares RER dans Paris : Magenta (RER E) et Saint Michel Notre Dame (RER C).

Les résultats de mesure pour ces deux gares sont issus de la même méthodologie que pour la gare de Sevrans-Beaudottes (appareil de mesure, emplacement sur un quai, période).

Cette comparaison est présentée sous forme de boîtes à moustache pour les particules PM10 d'une part et PM2,5 d'autre part.

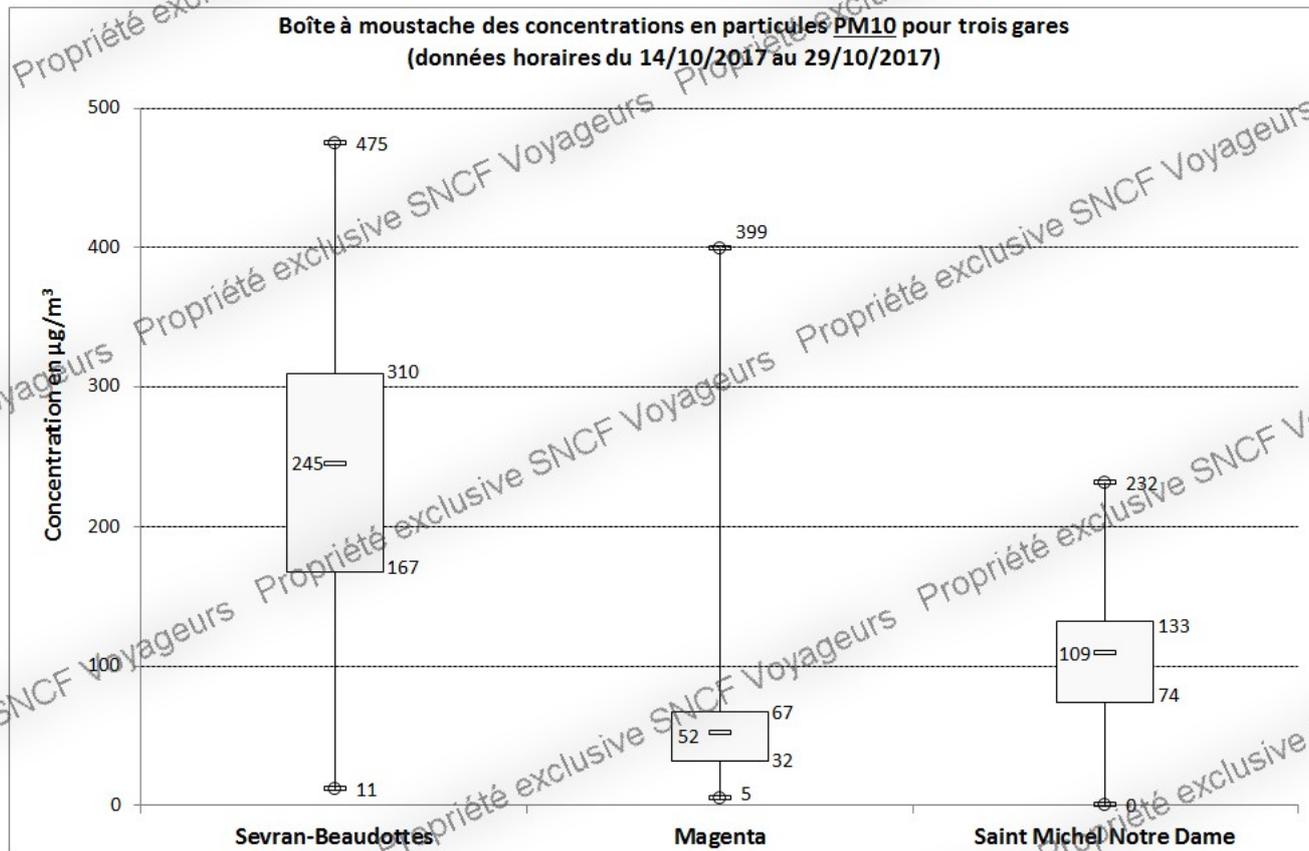


Figure 6

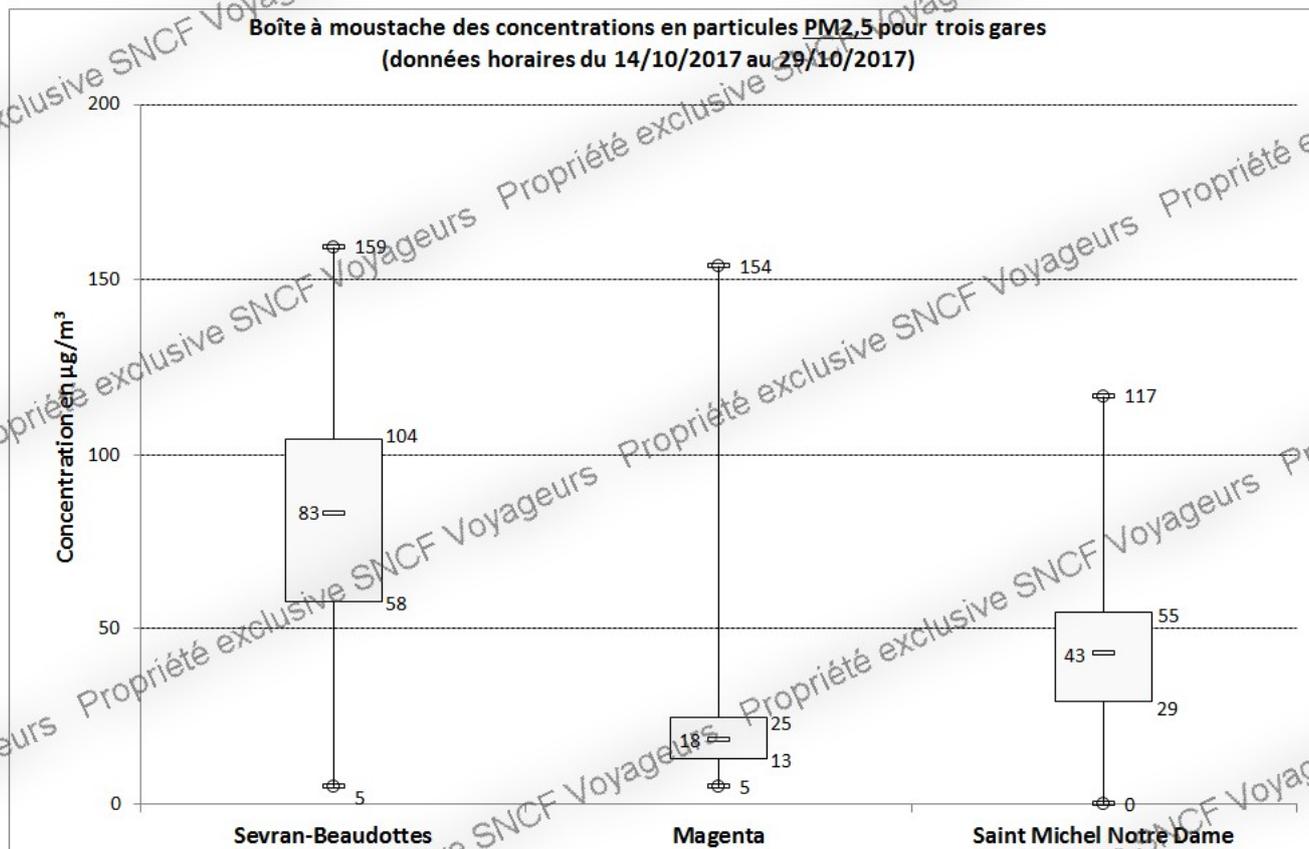


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes est supérieur à ceux des gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame. En effet, en gare de Sevrans-Beaudottes, la concentration moyenne en PM10 est environ quatre fois plus importante qu'en gare de Magenta et environ deux fois plus élevée qu'en gare de Saint Michel Notre Dame.

Les maximums observés en PM10 et PM2,5 sont plus élevés en gare de Sevrans-Beaudottes par rapport aux deux autres gares. Quant à la dispersion des concentrations en particules, elle est plus importante pour la gare de Sevrans-Beaudottes, suivie de la gare de Saint Michel Notre Dame et enfin de la gare de Magenta, pour laquelle la dispersion des résultats est moindre (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75).

Concernant la fréquentation en termes de nombre de voyageurs et de trains, elle est nettement différente puisque la gare de Sevrans-Beaudottes accueille en moyenne 14 305 voyageurs montants par jour alors que la gare de Saint Michel Notre Dame en accueille en moyenne 59 480 (soit un facteur d'environ 4 entre les deux gares).

Concernant le nombre de trains théorique par jour, il est de 320 en gare de Sevrans-Beaudottes contre 477 à Saint Michel Notre Dame pour les jours ouvrés.

De plus, en matière de ventilation, ces deux gares ne sont pas équipées de ventilation mécanique de confort.

La vitesse de circulation élevée des trains passant par la gare de Sevrans-Beaudottes sans marquer l'arrêt (environ 57 trains effectuant quotidiennement la liaison directe entre la gare de Paris Nord et l'aéroport Roissy Charles-De-Gaulle) mais aussi, la présence d'importants travaux sur le parvis de la gare, dans le cadre du projet du Grand Paris Express, peuvent contribuer à ces niveaux élevés en gare de Sevrans-Beaudottes.

La gare de Magenta, où les niveaux de particules sont relativement faibles, est largement plus fréquentée (78 210 voyageurs montants et 432 trains pour les jours ouvrés) que la gare de Sevrans-Beaudottes. Magenta est une gare très volumineuse et possède par ailleurs une ventilation mécanique optimisée, ce qui explique des concentrations plus basses.

### 3.2 - Concentrations en métaux

#### 3.2.1 - Niveaux observés en gare de Sevrans-Beaudottes

Les histogrammes ci-dessous montrent la concentration moyenne pour les métaux mesurés en gare de Sevrans-Beaudottes, par élément métallique pour les cinq jours de mesure.

La figure 8 montre les taux de concentration moyens pour les dix métaux mesurés.

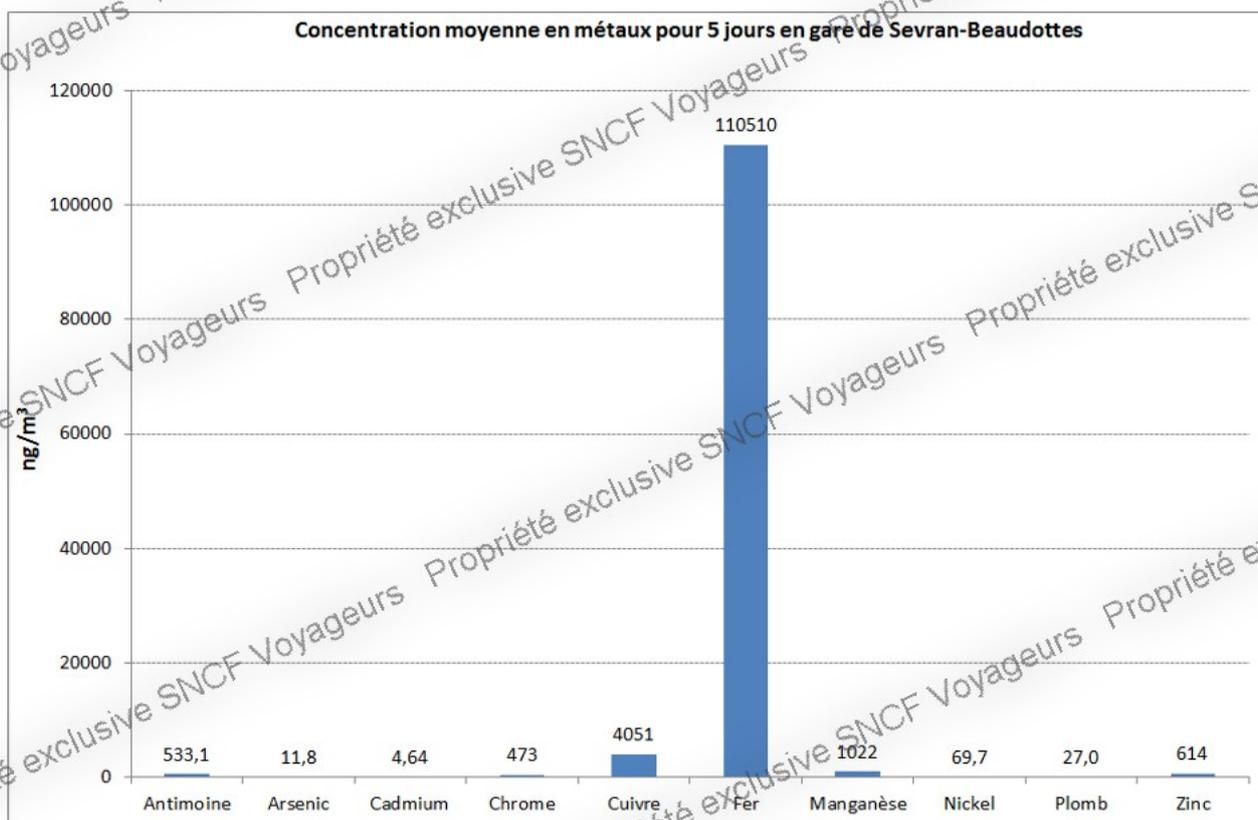


Figure 8

En moyenne, le fer représente 29 % de la composition des particules PM10. Parmi les dix métaux analysés, le fer est très largement prédominant (94,2 % de fer et 5,8 % d'autres métaux). Ceci est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Ces particules riches en fer sont principalement issues d'arrachement (contact roue-rail) et de friction (roue-frein et système d'alimentation électrique).

La figure 9 montre les concentrations pour les neuf autres métaux, excepté le fer, afin de rendre le graphique plus lisible (l'échelle est donc différente).

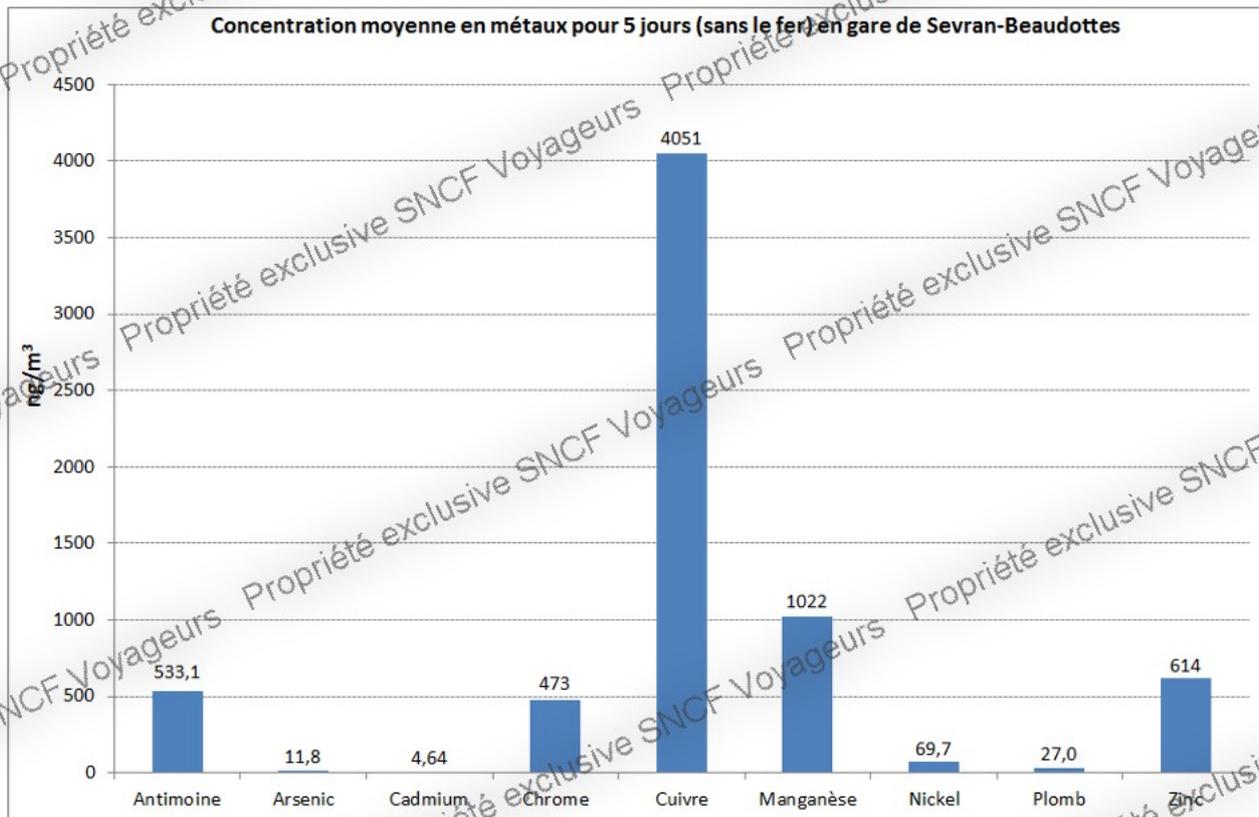


Figure 9

Les éléments majoritaires après le fer sont le cuivre, le manganèse, le zinc, l'antimoine et le chrome. Dans des proportions moindres, viennent ensuite le nickel, le plomb, l'arsenic et le cadmium.

En complément, la figure 10 reprend la répartition moyenne en pourcentage de chacun des dix métaux analysés pour les cinq journées de mesure.

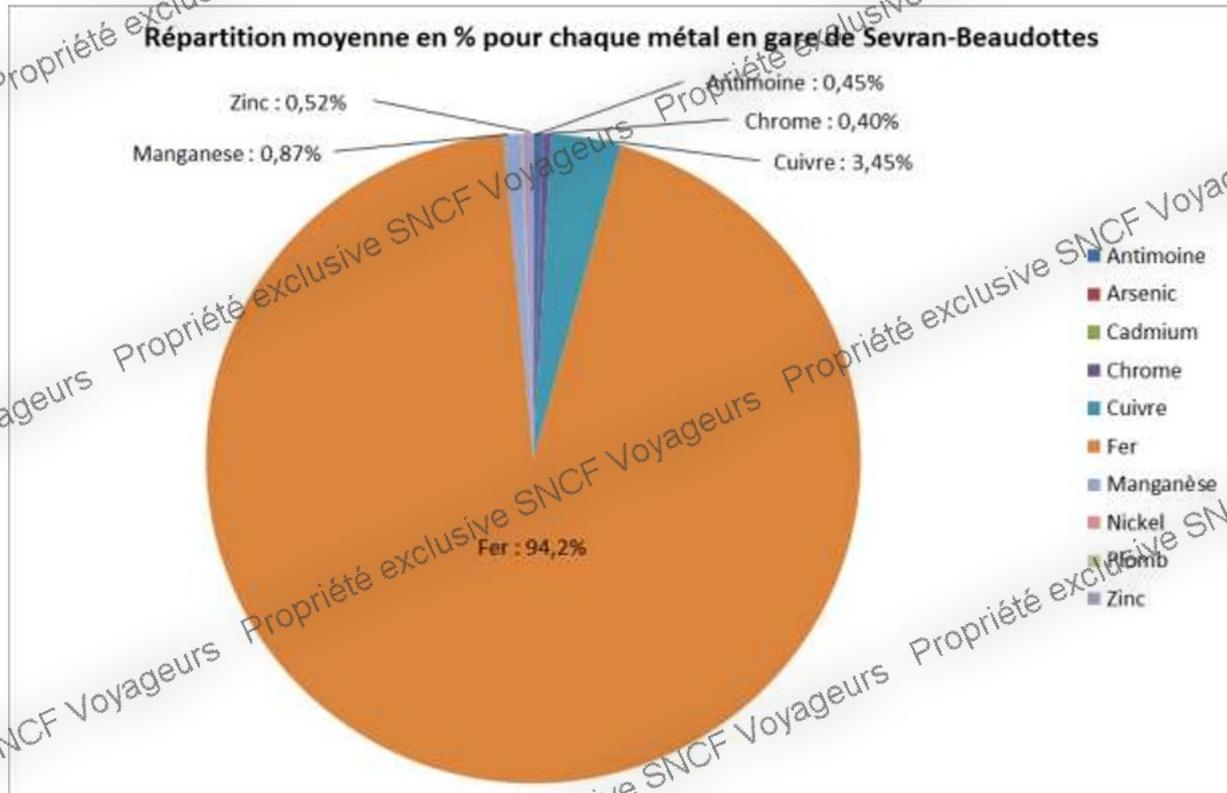
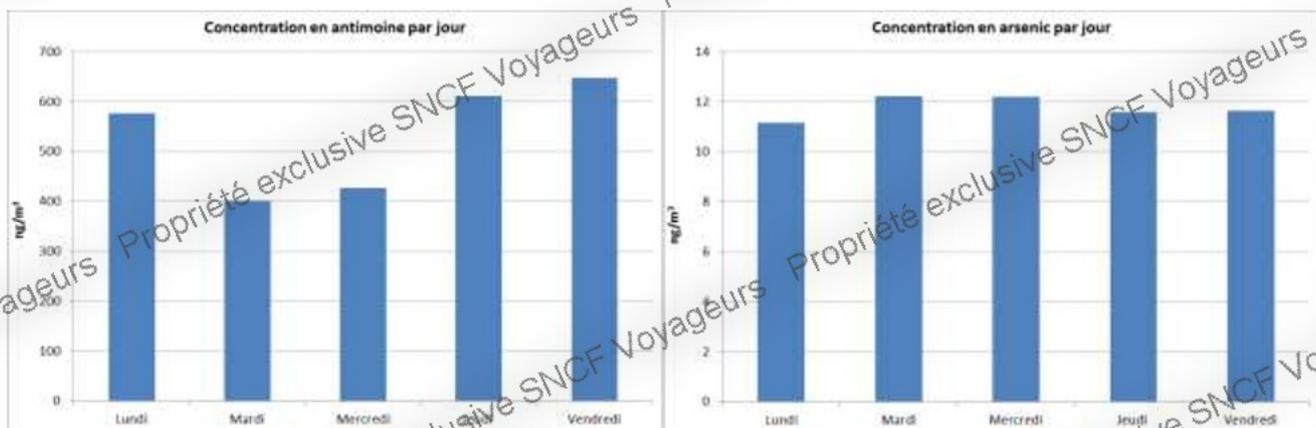


Figure 10

La littérature montre que le chrome et le nickel peuvent être présents dans l'acier des roues et des rails. Il en est de même pour le manganèse qui pourrait aussi être issu du freinage. Concernant le cuivre, il est possible qu'il soit lié au frottement du système d'alimentation électrique. Pour les autres métaux ils sont probablement issus de l'exploitation ferroviaire mais les sources n'ont pas été clairement identifiées dans cette gare.

### 3.2.2 - Variabilité temporelle

Les histogrammes ci-dessous montrent les concentrations mesurées par élément pour chacune des cinq journées. Il est important de noter que les échelles diffèrent selon les représentations graphiques.



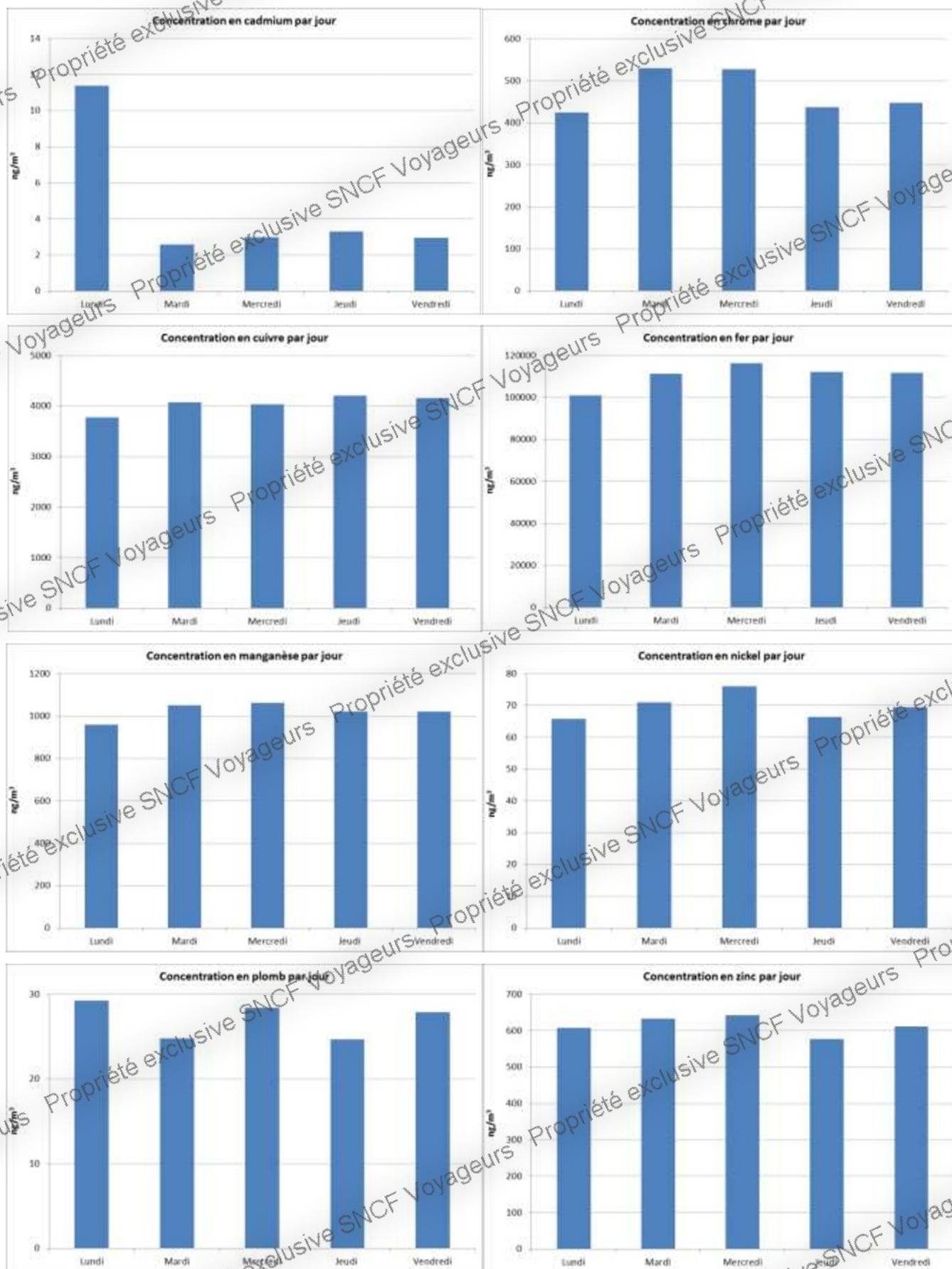


Figure 11

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre. Les proportions de chacun des éléments restent tout de même relativement stables tout au long de la période de mesure.

### 3.3 - Concentration en dioxyde de carbone

La concentration en dioxyde de carbone, la température et l'humidité relative en fonction du temps sont présentées sur la figure 12 ci-dessous pour l'ensemble de la durée de la campagne de mesure.

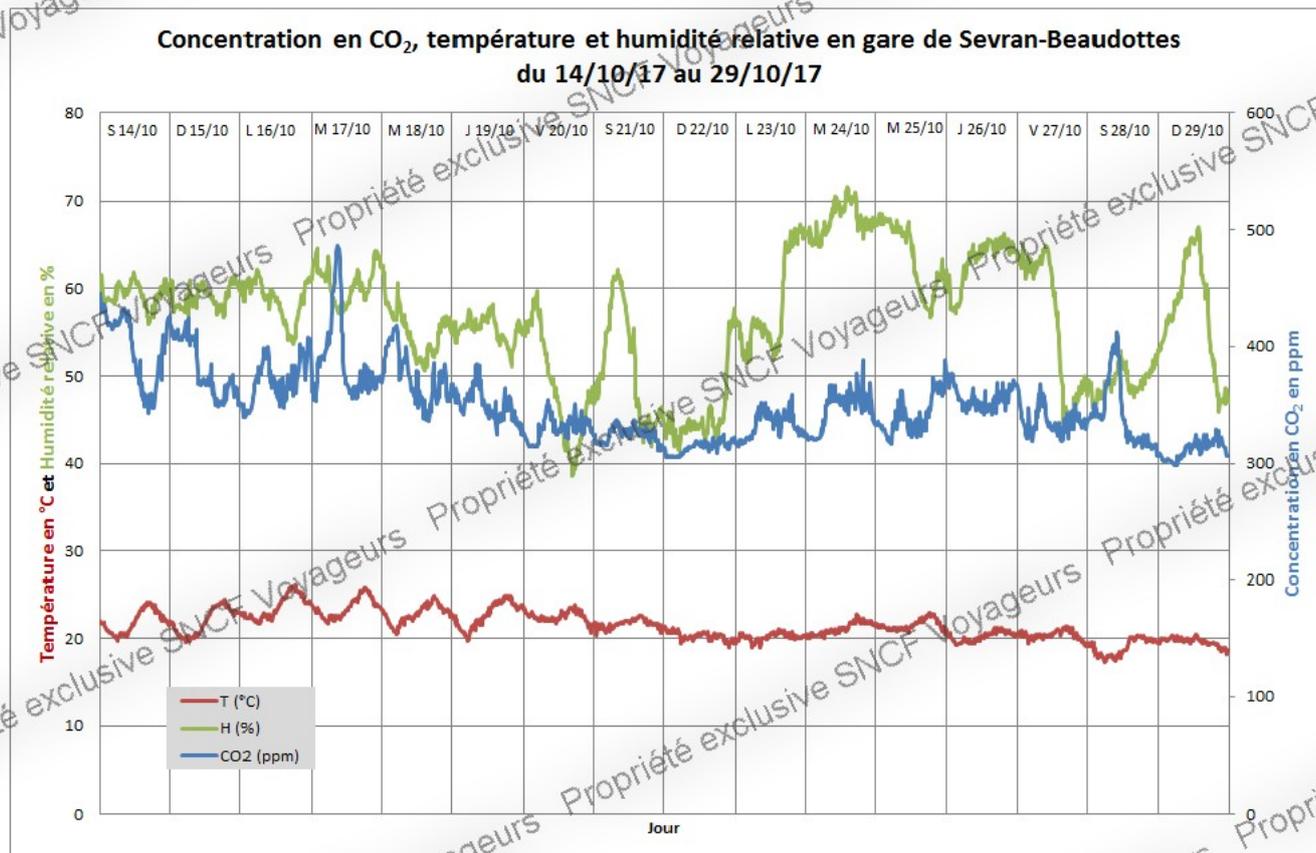


Figure 12

Pendant cette période de mesure, la température sur le quai de la gare de Sevrans-Beaudottes est restée plutôt stable avec une moyenne 21,5°C. L'humidité relative était comprise entre 39 et 72 %.

Concernant le dioxyde de carbone, l'évolution globale de sa concentration est similaire à celle des concentrations en particules ; à savoir une concentration généralement plus faible la nuit et les jours de week-end. La concentration en dioxyde de carbone est aussi moins importante lors de la deuxième semaine de mesure (correspondant aux vacances scolaires et à la réduction de l'offre de transport). Ces profils représentent la fréquentation des voyageurs sur le quai de la gare.

#### **4 - CONCLUSION**

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de qualité de l'air au sein de la gare de Sevrans-Beaudottes. Elle vise à caractériser l'air intérieur de la gare sur le volet santé publique. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5, en métaux et en dioxyde de carbone pendant deux semaines du 14 au 29 octobre 2017.

Lors de cette période de mesure, la concentration moyenne en gare de Sevrans-Beaudottes a été de 230  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM10 et 78  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les PM2,5. Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation de la gare et le trafic ferroviaire. Ce dernier est une source importante de particules au vu des concentrations mesurées sur le quai en période d'ouverture de la gare.

Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes est supérieur par rapport à ceux observés en gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

Concernant les métaux, le fer est très largement prédominant, ce qui est caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Les éléments majoritaires après le fer sont le cuivre, le manganèse, le zinc, l'antimoine et le chrome. Il y aurait lieu d'identifier précisément les sources par des études complémentaires.

**ANNEXES**

**RAPPORT**

**CAMPAGNE DE MESURE DE QUALITE DE L'AIR PENDANT DEUX SEMAINES EN GARE DE SEVRAN-BEAUDOTTES**

**SOMMAIRE DES ANNEXES**

**ANNEXE 1 : Descriptif de la gare de Sevrans-Beaudottes.....23**



Plan 2 : Plan du réseau régional francilien

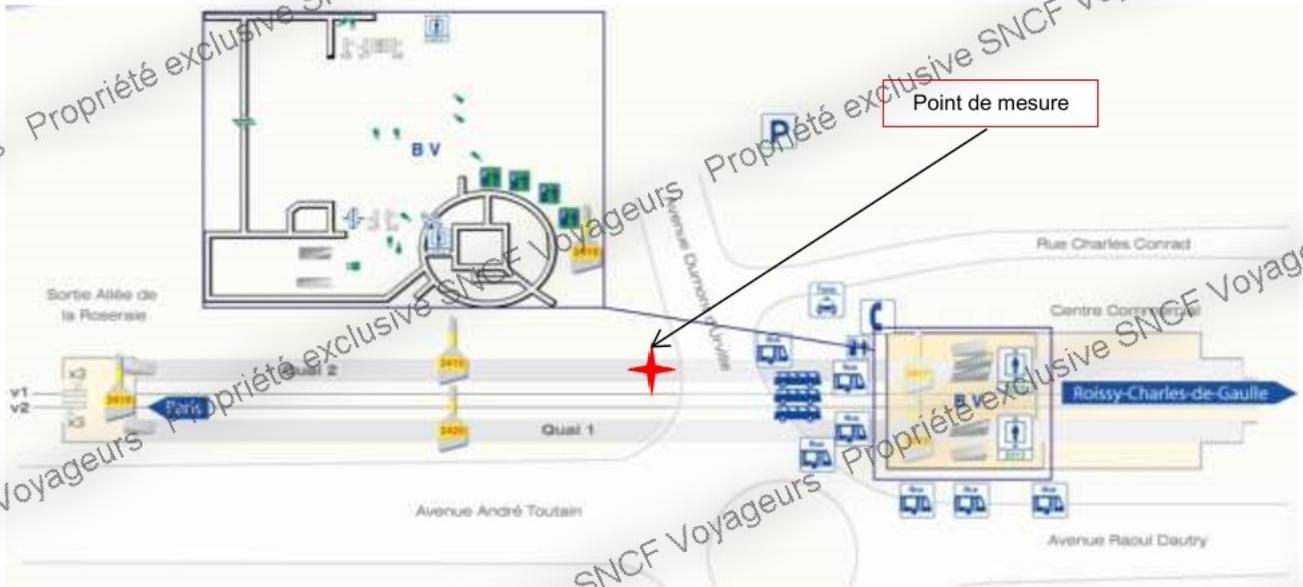
#### Positionnement

La gare de Sevrans-Beaudottes (cf. point rouge sur le plan 1) est desservie par les trains de la ligne B du RER et ne dispose pas de correspondance ferroviaire. La gare est également desservie par différentes lignes de bus.

#### Caractéristiques architecturales

La gare de Sevrans-Beaudottes comporte une partie souterraine (deux quais et deux voies) et une partie aérienne (guichet, bulle information, salle des pas perdus).

Cette gare n'est pas équipée de ventilation mécanique de confort.



Plan 2 : Plan représentant 2 niveaux de la gare (RDC niveau rue : guichet (BV), salle des perdus / Un niveau en-dessous du RDC : quais et voies)



Photographie 1 : Gare de Sevrans-Beaudottes



Photographie 2 : Emplacement de la baie de mesure sur le quai

## Matériel roulant

Le matériel circulant en service commercial en gare de Sevrans-Beaudottes est constitué des types MI84 et MI79.

En conditions normales de circulation, le nombre de trains en heure de pointe est au maximum de 21 par heure ; il est globalement de 16 en heure creuse. Lors de la campagne de mesure, les trains ont circulé de 05h03 à 00h36.

## Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la gare accueille chaque jour ouvré en moyenne 14 305 personnes (nombre de voyageurs montants en 2014).