



RAPPORT

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

DOC047122-00 / 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 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 : 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

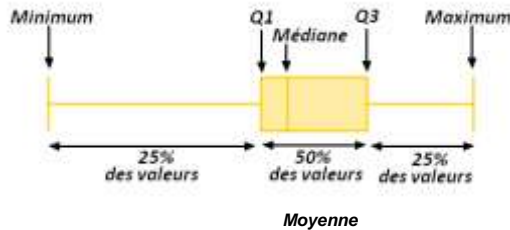
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

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
ng/m^3	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"> - 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) ; - La moyenne de l'ensemble des données ; - Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ; - Les minima et maxima aux extrémités des moustaches. 

Sommaire

1.	OBJET	6
2.	METHODOLOGIE	6
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
3.	RESULTATS ET COMMENTAIRES	7
3.1.	CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM10 ET PM2,5.....	7
3.1.1.	<i>Niveaux observés en gare d'Avenue Henri Martin.....</i>	<i>7</i>
3.1.2.	<i>Variabilité temporelle.....</i>	<i>9</i>
3.1.3.	<i>Comparaison avec d'autres gares</i>	<i>13</i>
3.2.	CONCENTRATIONS EN METAUX	15
3.2.1.	<i>Niveaux observés en gare d'Avenue Henri Martin.....</i>	<i>15</i>
3.2.2.	<i>Variabilité temporelle.....</i>	<i>17</i>
3.3.	CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE	18
4.	CONCLUSION.....	19
	ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE D'AVENUE HENRI MARTIN.....	20

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^{ème} 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 (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 CO₂ 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 (CO₂) 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 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^{er} 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 PM10 et PM2,5 a rendu inexploitable ces mesures du lundi 29 mai au dimanche 04 juin 2017 inclus. Les données disponibles relatives aux concentrations en particules PM10 et PM2,5 concernent donc neuf jours au lieu de seize.

3. RESULTATS ET COMMENTAIRES

3.1. Concentrations en particules PM10 et PM2,5

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.

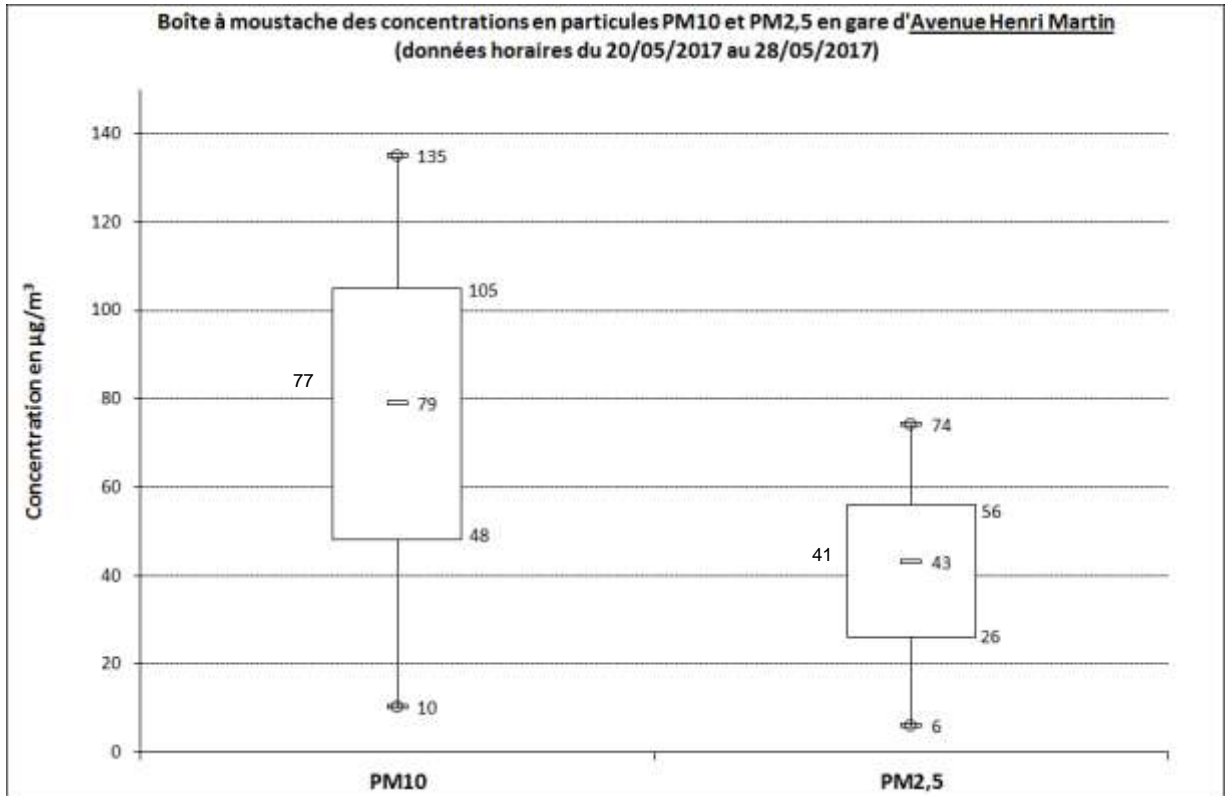


Figure 1

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 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.

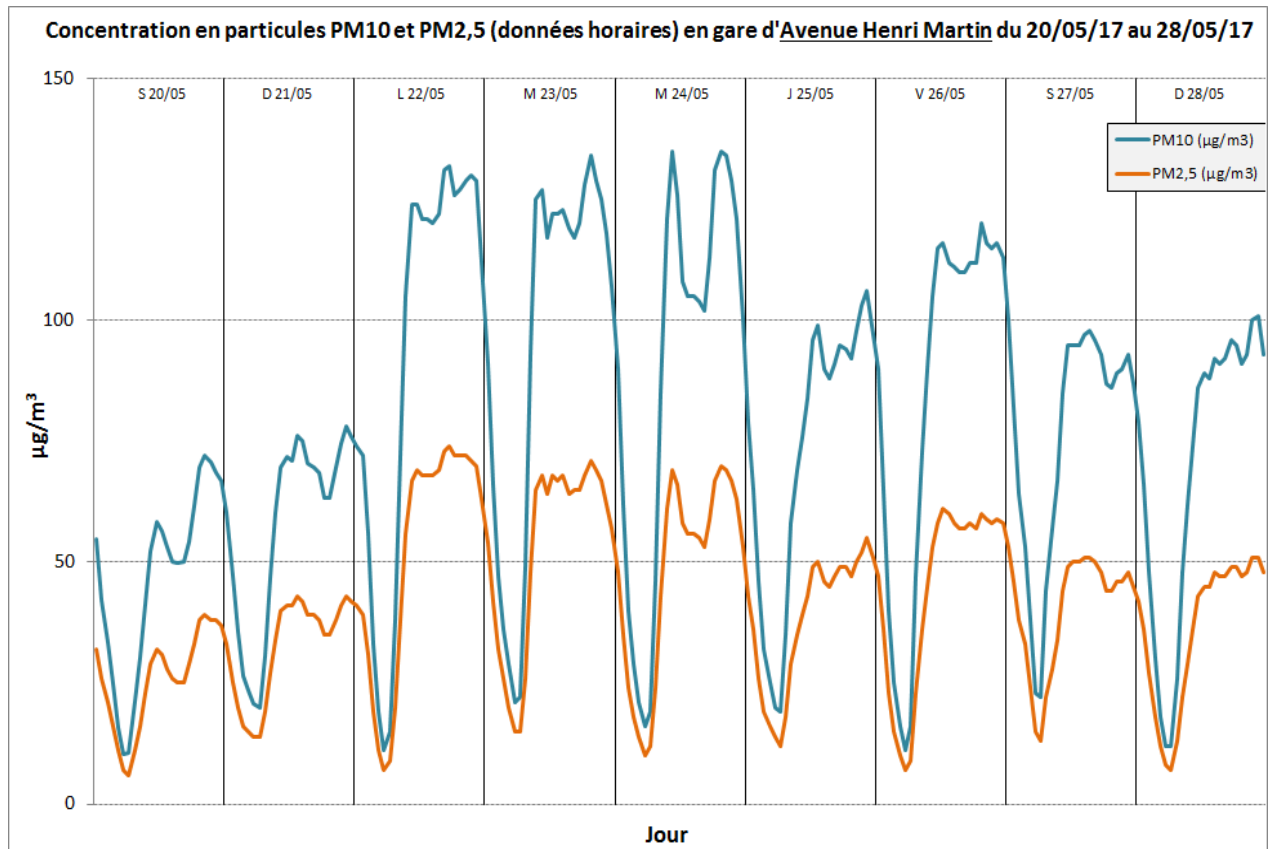


Figure 2

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. Le week-end de l'Ascension est un cas particulier puisque les concentrations en particules des samedis et dimanches 27 et 28 mai, sont supérieures à celles mesurées lors du week-end précédent. Le jeudi (férié) montre un profil de concentrations en particules intermédiaire entre les jours ouvrables et le week-end du 20 mai.

	Concentration moyenne <u>jours ouvrés</u> (du lundi au vendredi, hors jour férié)	Concentration moyenne <u>jours de week-end</u> et <u>jour férié</u> (25/05)	Concentration moyenne <u>jours de week-end</u> (hors week-end de l'ascension) et <u>jour férié</u> (25/05)
Concentration en particules PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	91	65	59
Concentration en particules PM2,5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	49	35	32

Tableau 1

Ainsi, la différence de niveaux moyens en 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 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, hors jour férié).

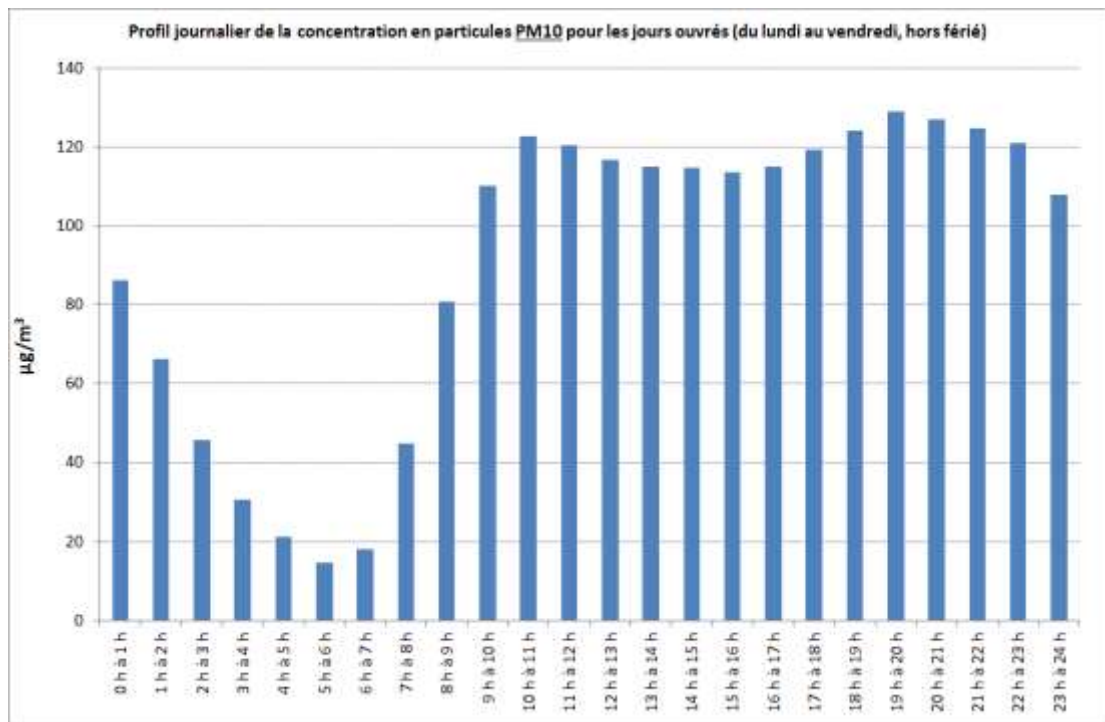


Figure 3

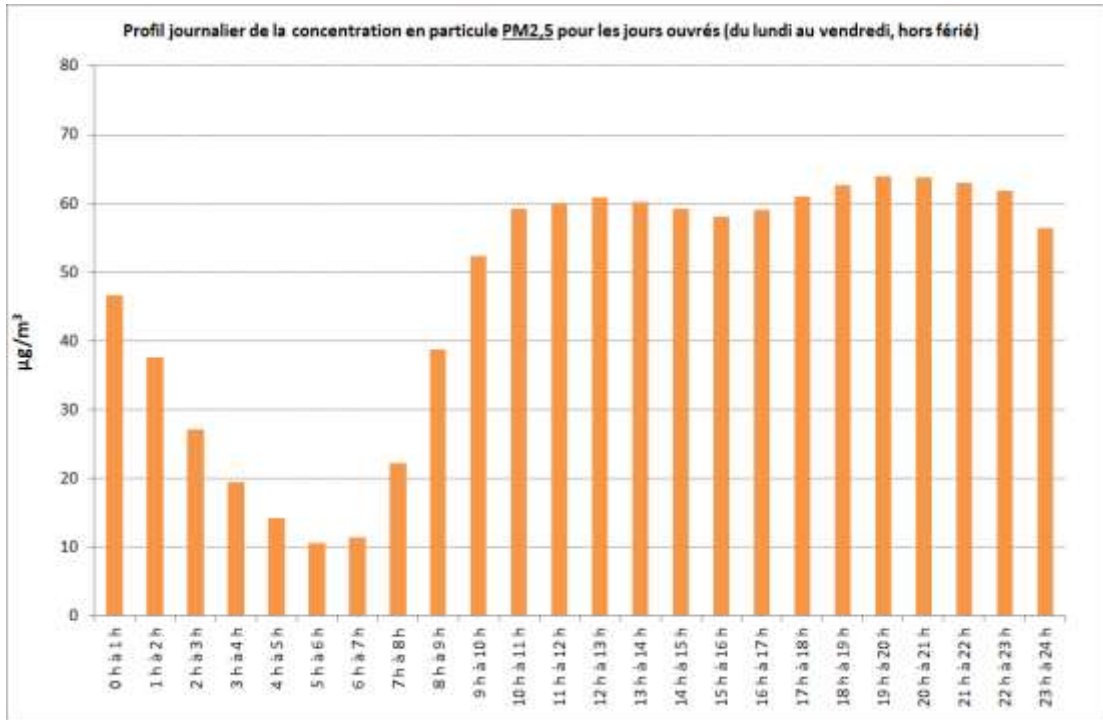


Figure 4

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.

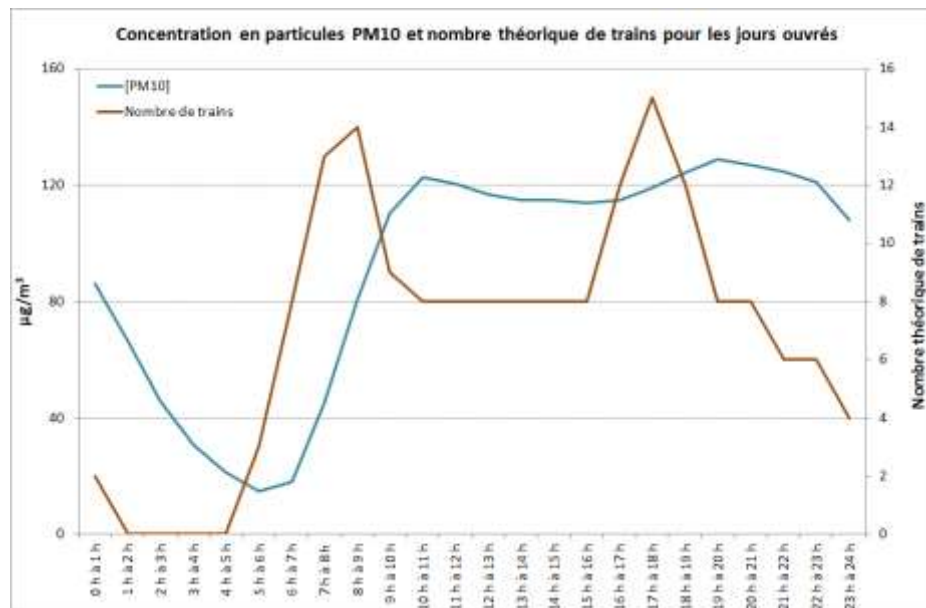


Figure 5

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.

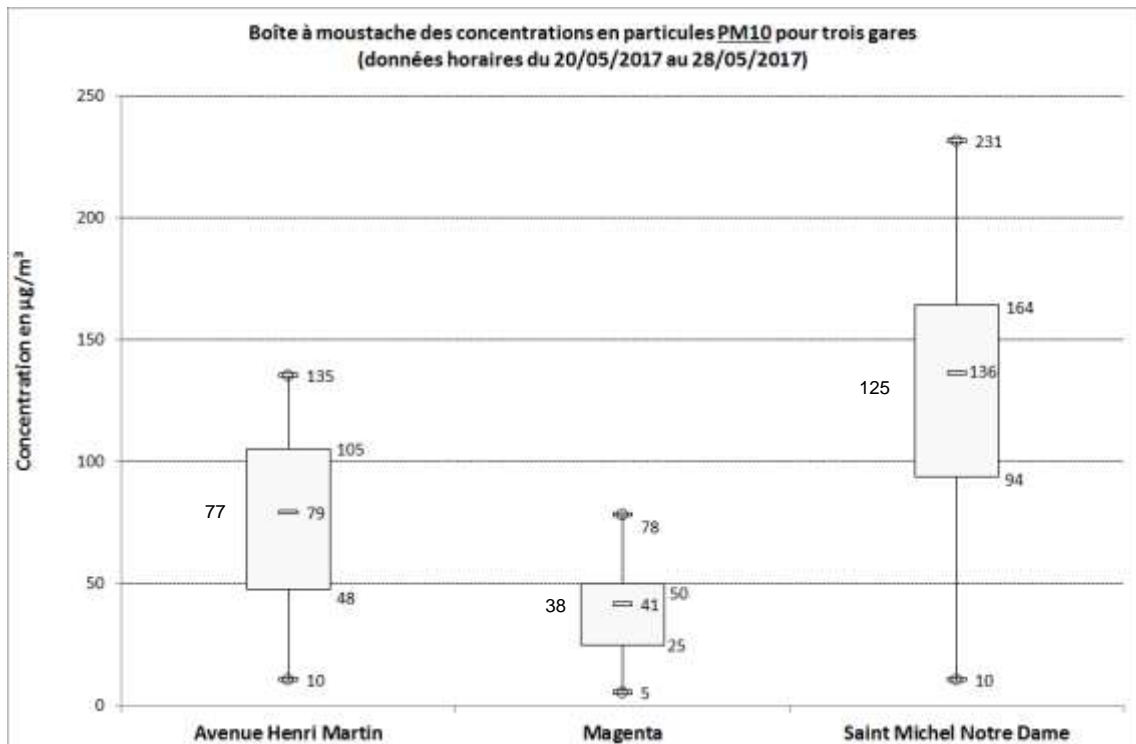


Figure 6

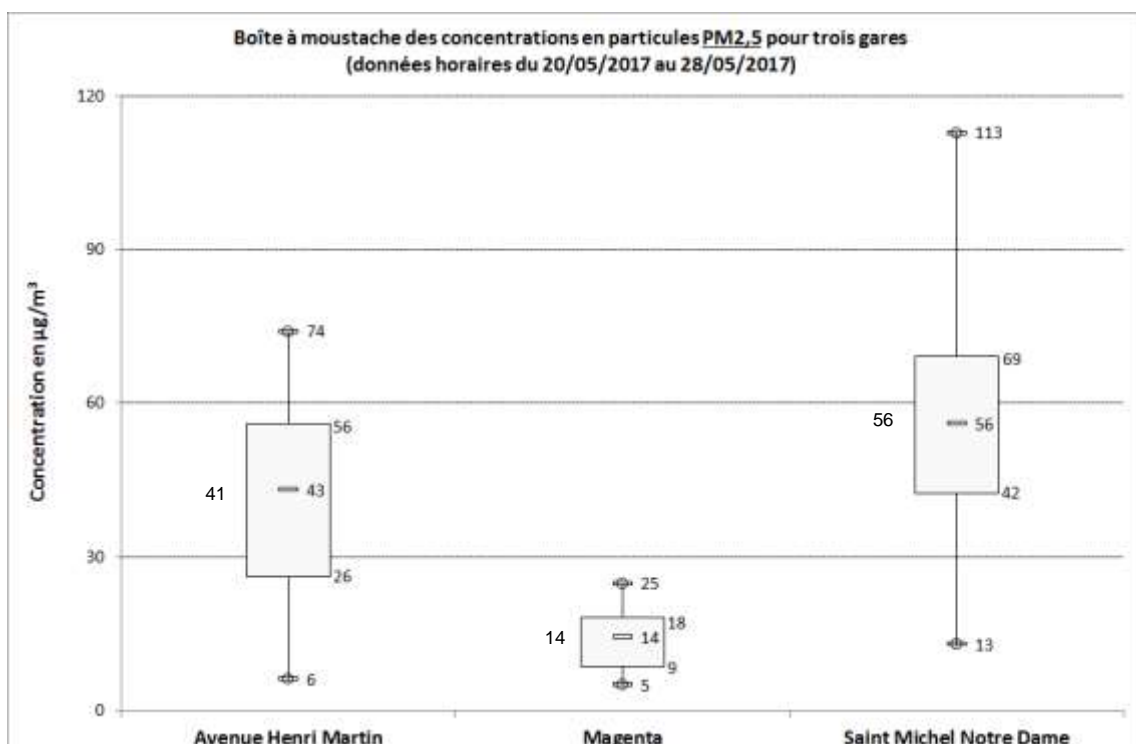


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Henri Martin est inférieur à celui de 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 de la gare d'Avenue Henri Martin et enfin de la gare de Magenta, pour laquelle la dispersion des résultats est moindre (moins d'écart entre les percentiles 25 et 75).

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

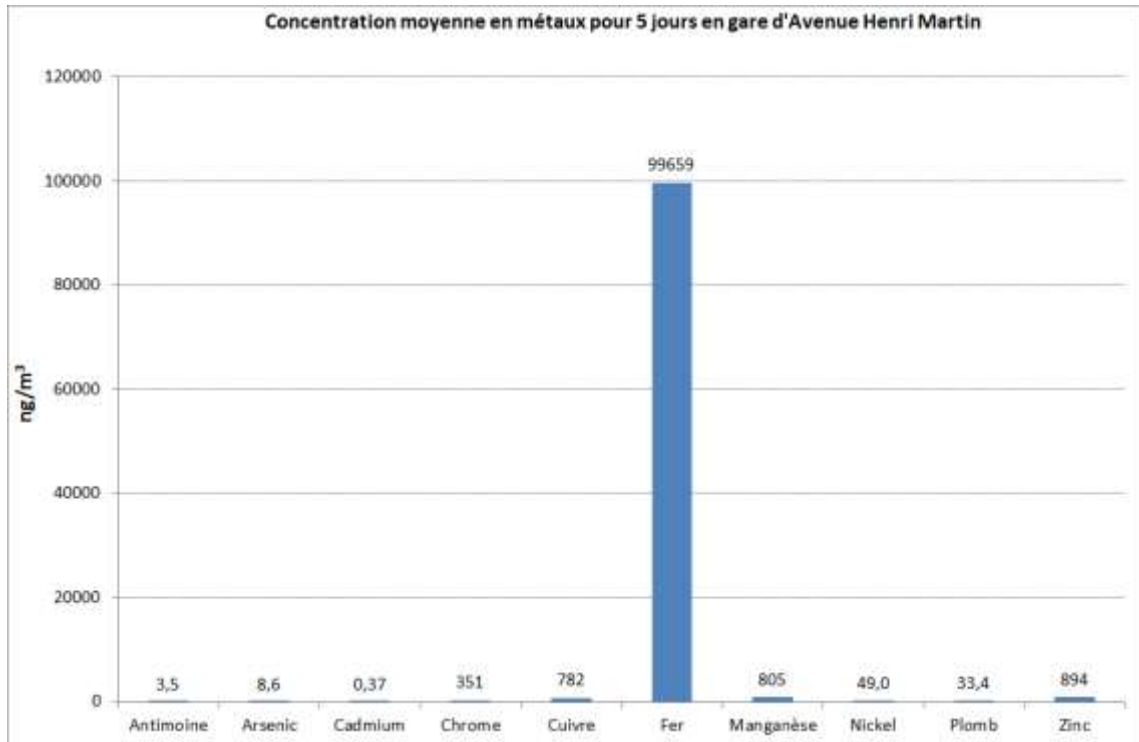


Figure 8

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.

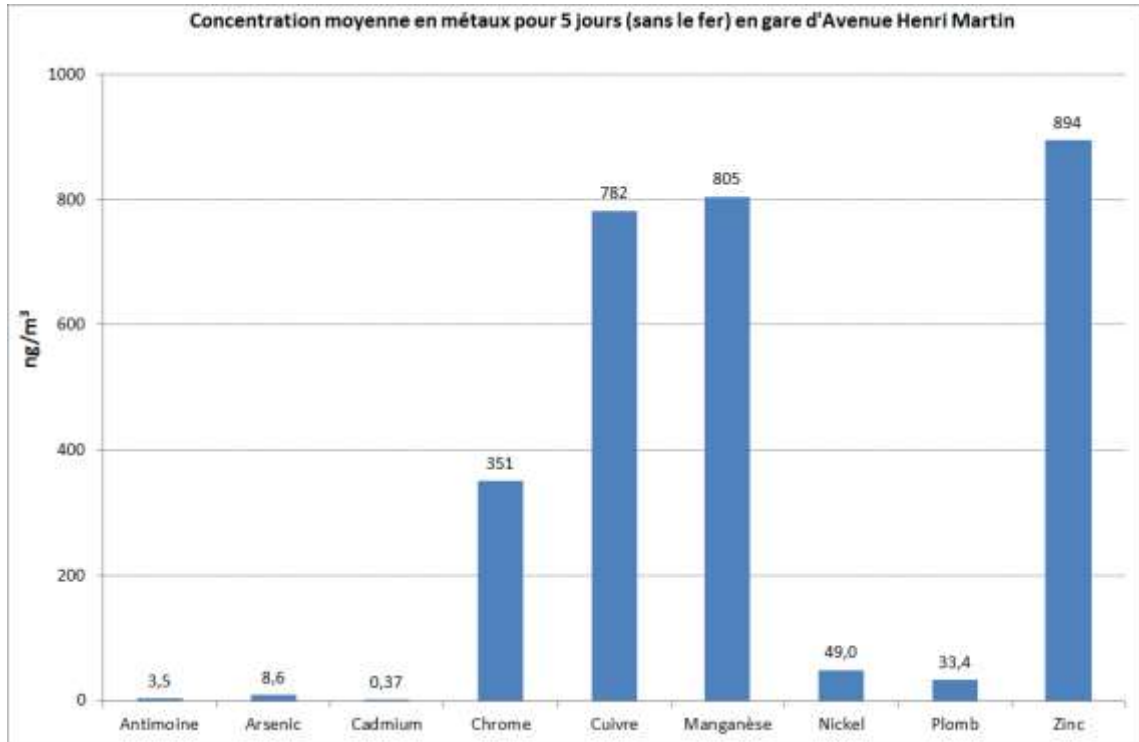


Figure 9

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.

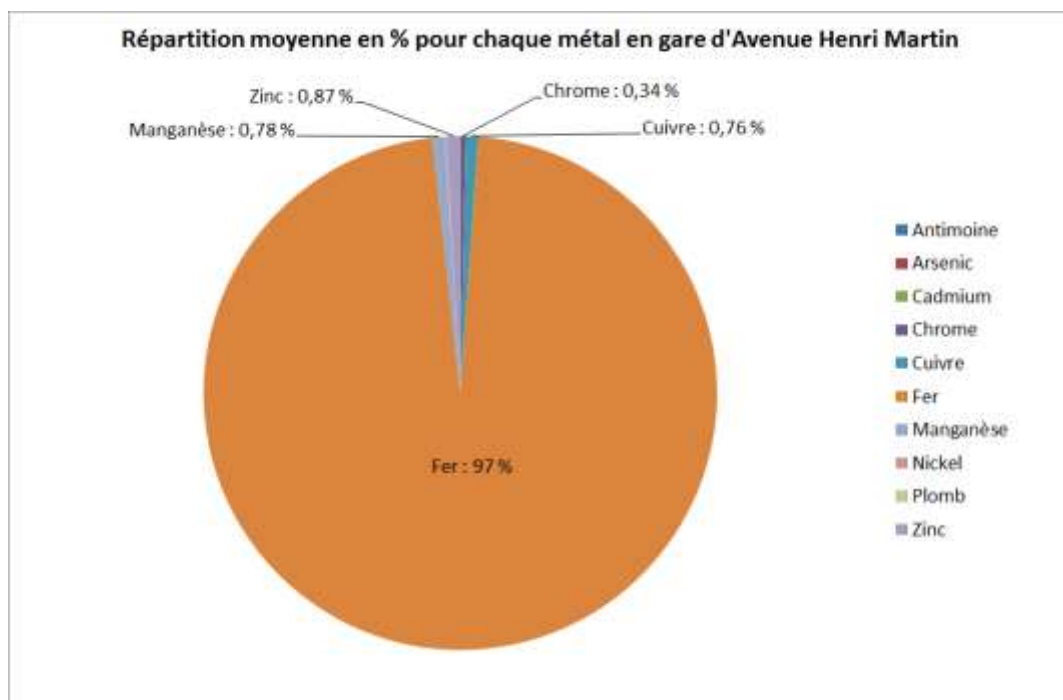


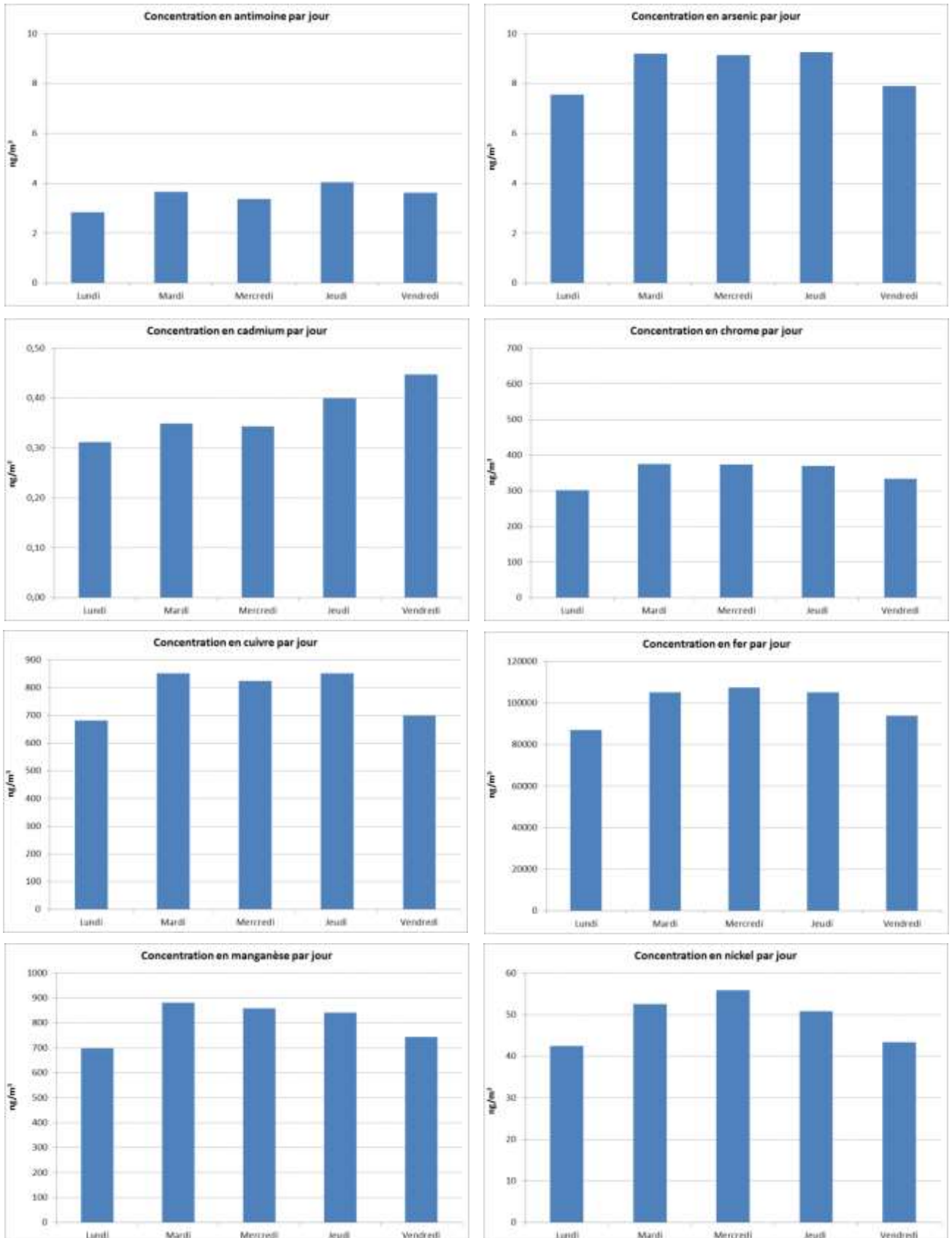
Figure 10

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. Il est important de noter que les échelles diffèrent selon les représentations graphiques.



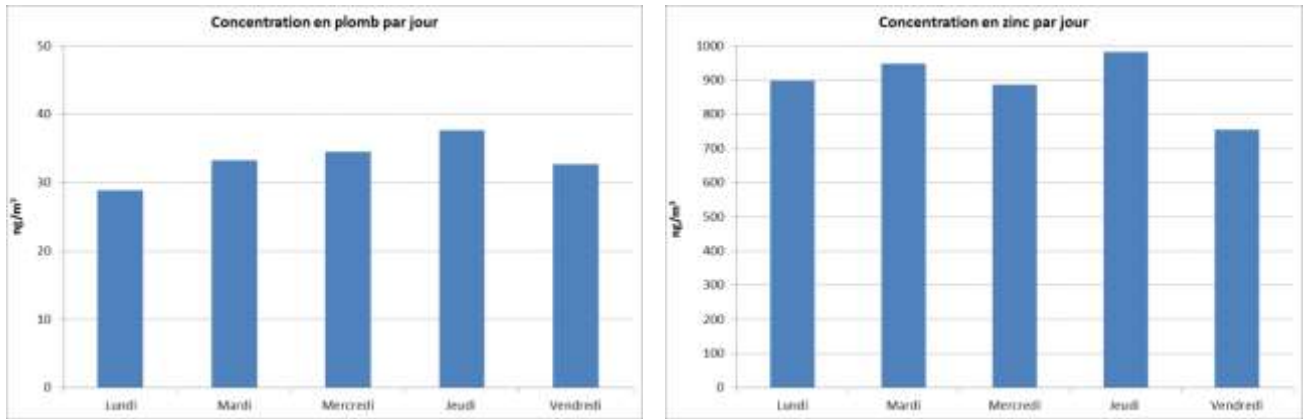


Figure 11

Les concentrations peuvent être légèrement variables d'un jour à l'autre, 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.

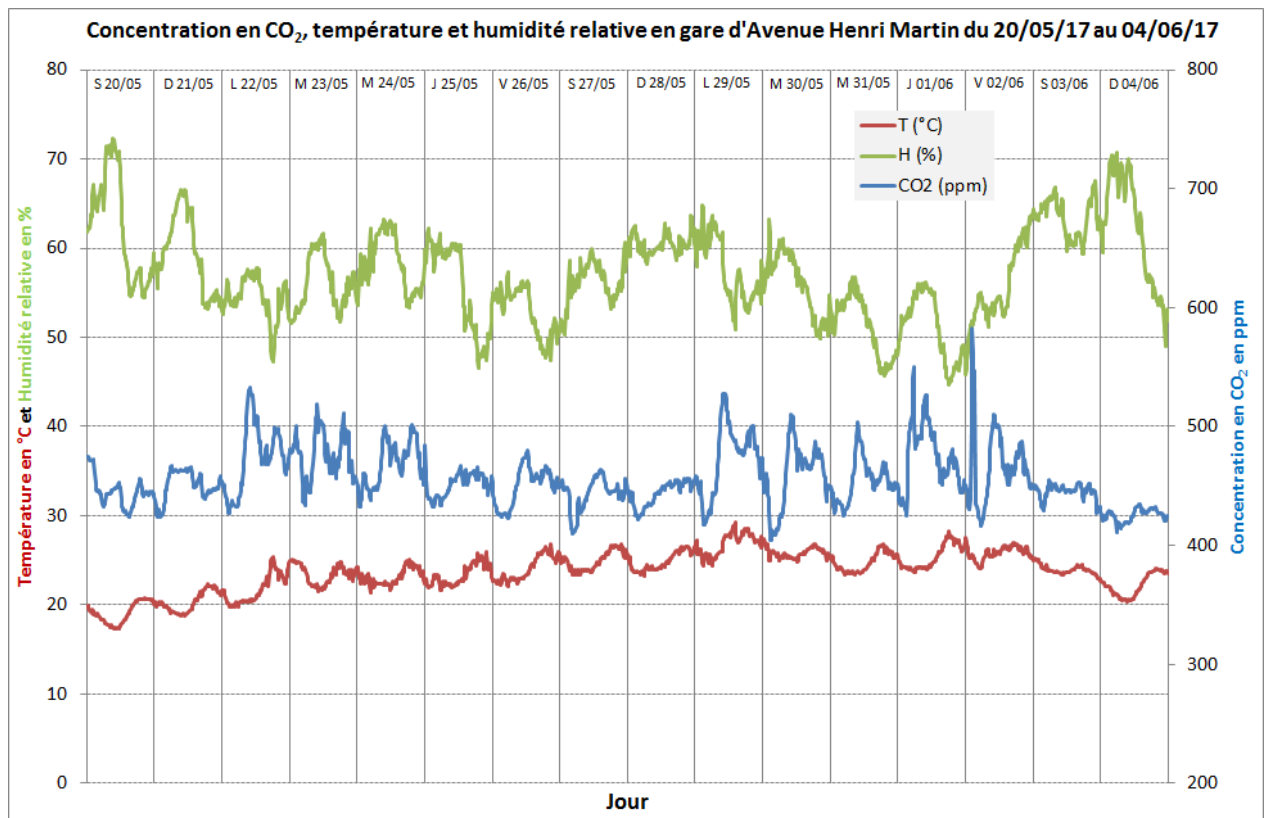


Figure 12

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.

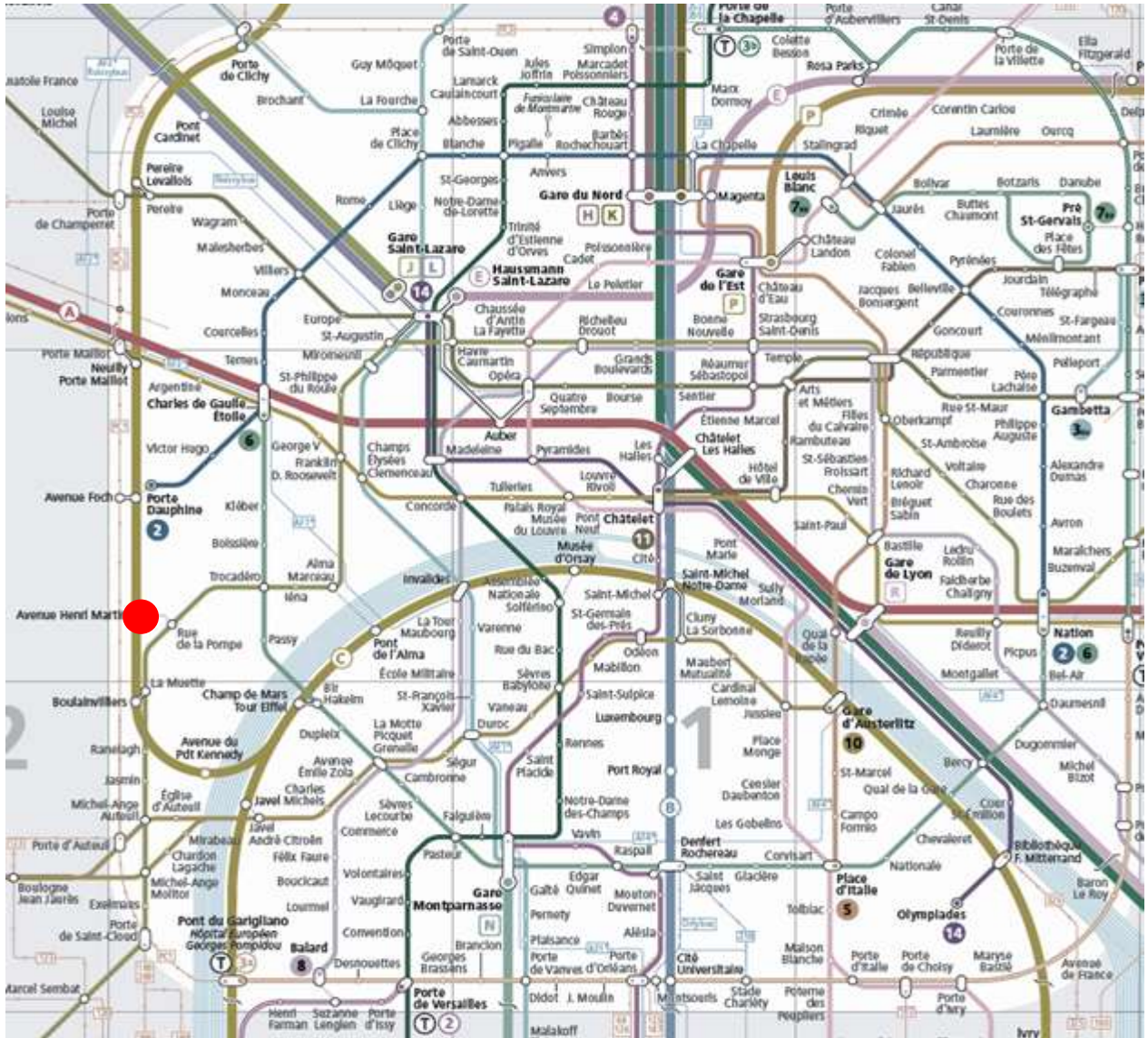
Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare d'Avenue Henri Martin est inférieur par rapport à la gare de Saint Michel Notre Dame et supérieur par rapport à la gare de Magenta.

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

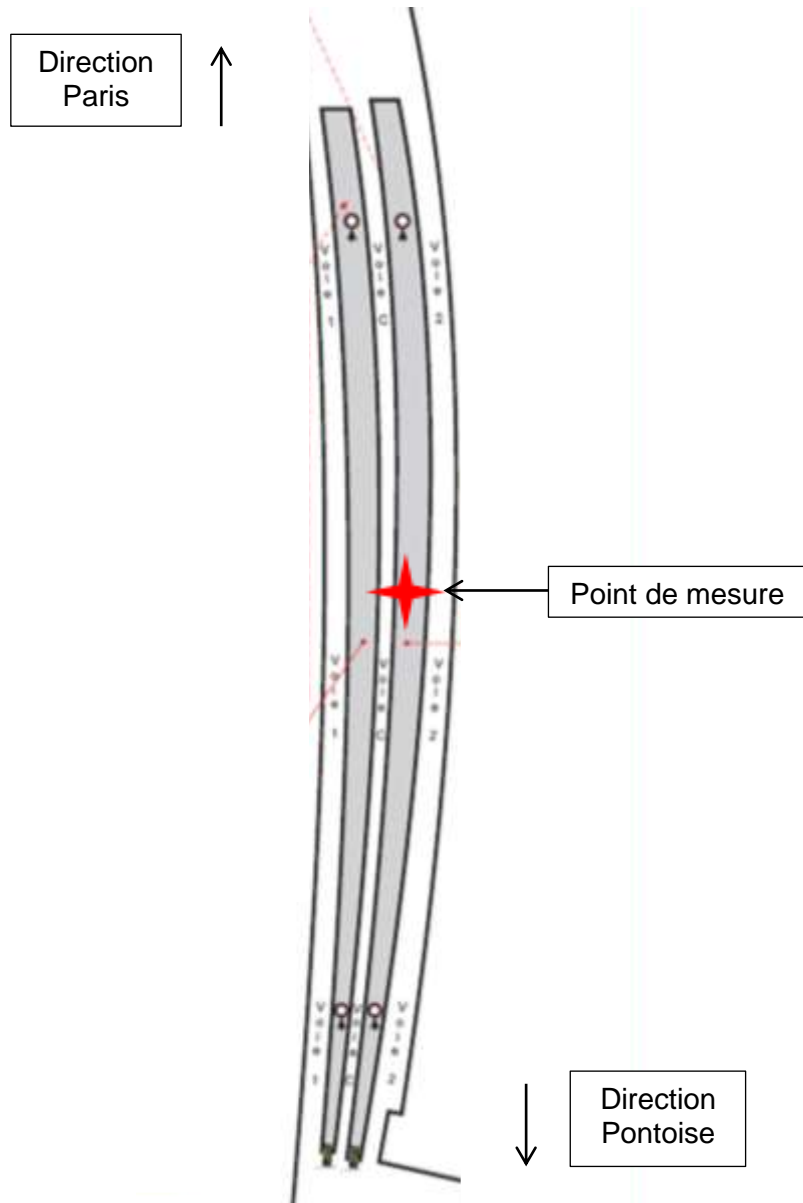
La gare d'Avenue Henri Martin est située sur la ligne C du RER (cf. point rouge sur le plan ci-dessous).



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.



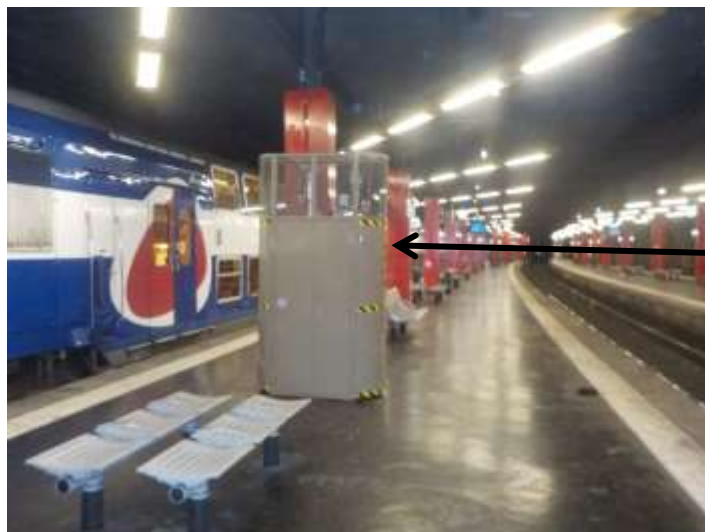
Photographies de la gare

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).