

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

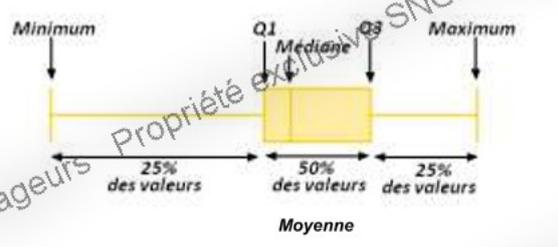
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

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 ₂) et mesures individuelles sur agents – 2016

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles (unités)	Définitions
µg/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 PM ₁₀ ET PM _{2,5}	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
4.	CONCLUSION	16
	ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE BOULAINVILLIERS	17
	ANNEXE 2 : PHOTOS DE LA BAIE DE MESURE	21

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^{ème} 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 (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).

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 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 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 (CO₂) 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 (côté 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 PM₁₀, PM_{2,5} 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^{er} 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 PM₁₀ et PM_{2,5}

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.

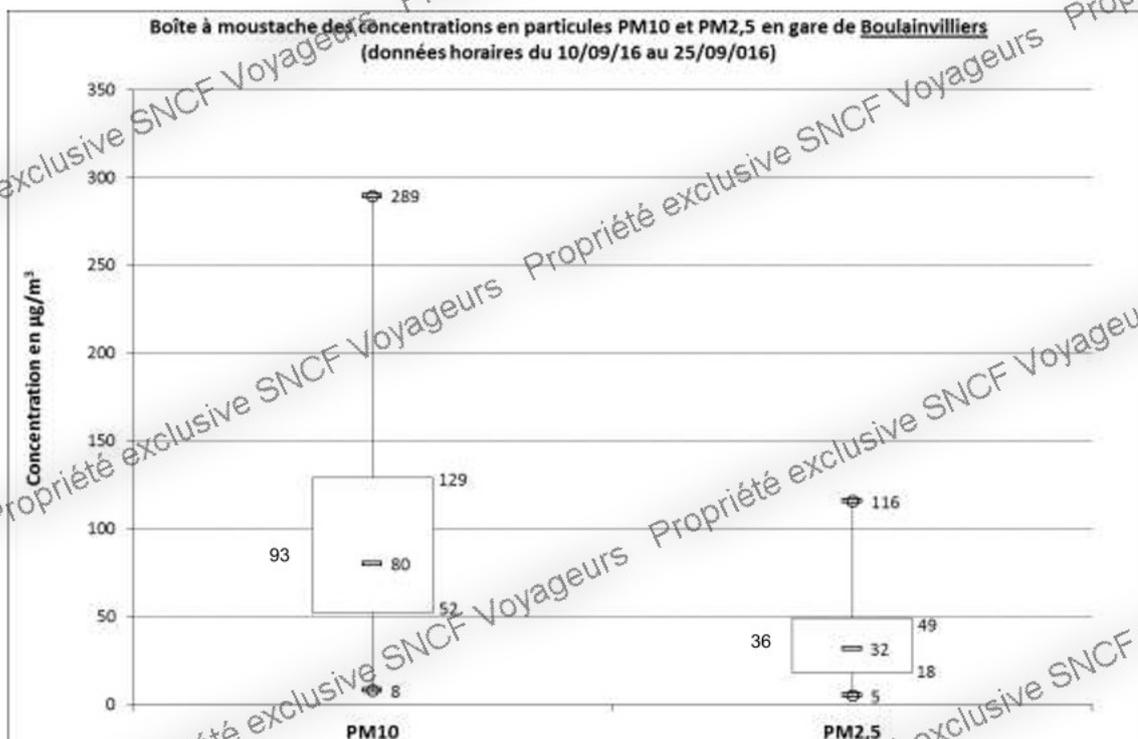


Figure 1

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.

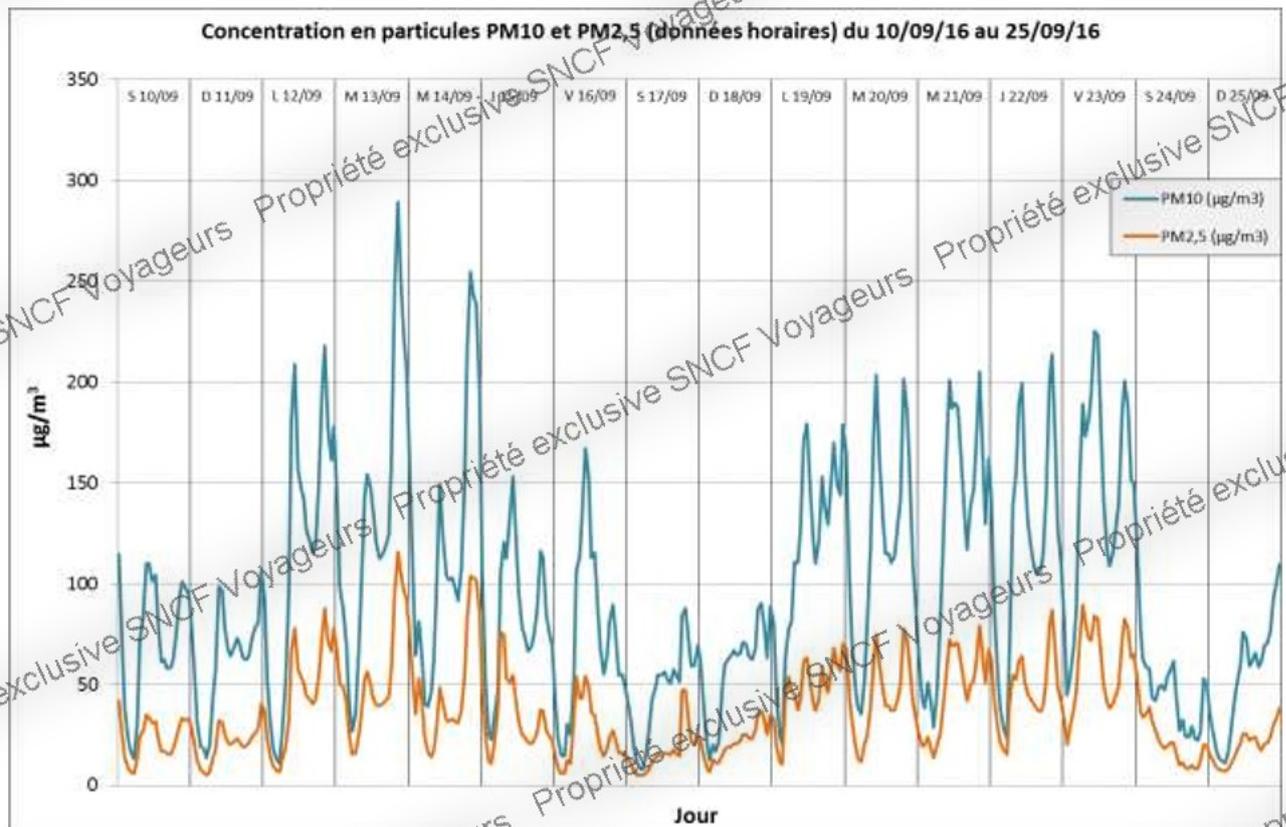


Figure 2

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 jours ouvrés (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne pour les jours de week-end (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).

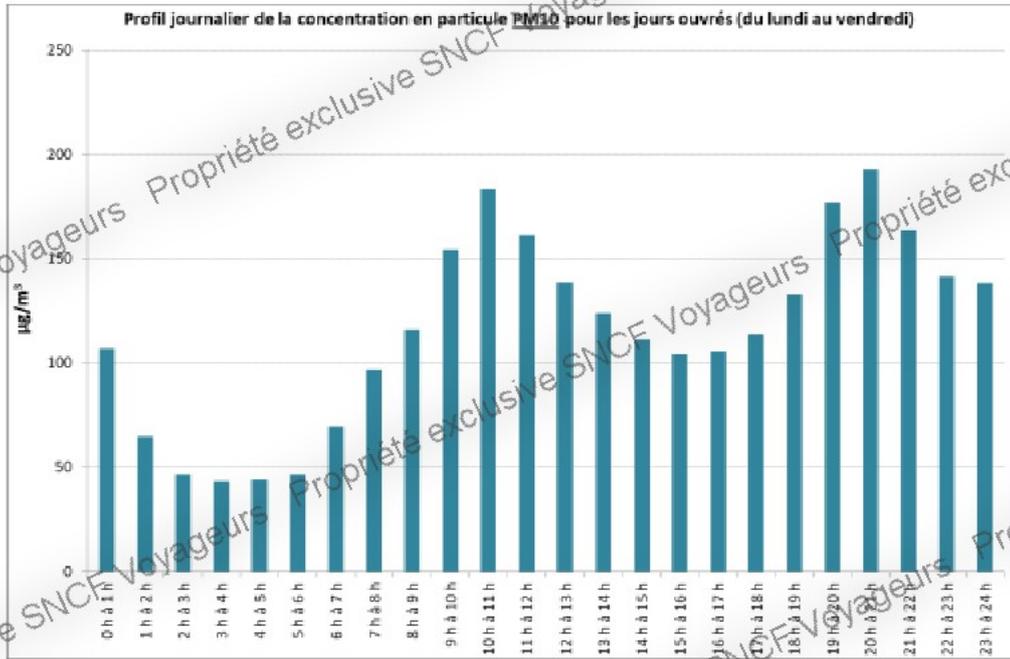


Figure 3

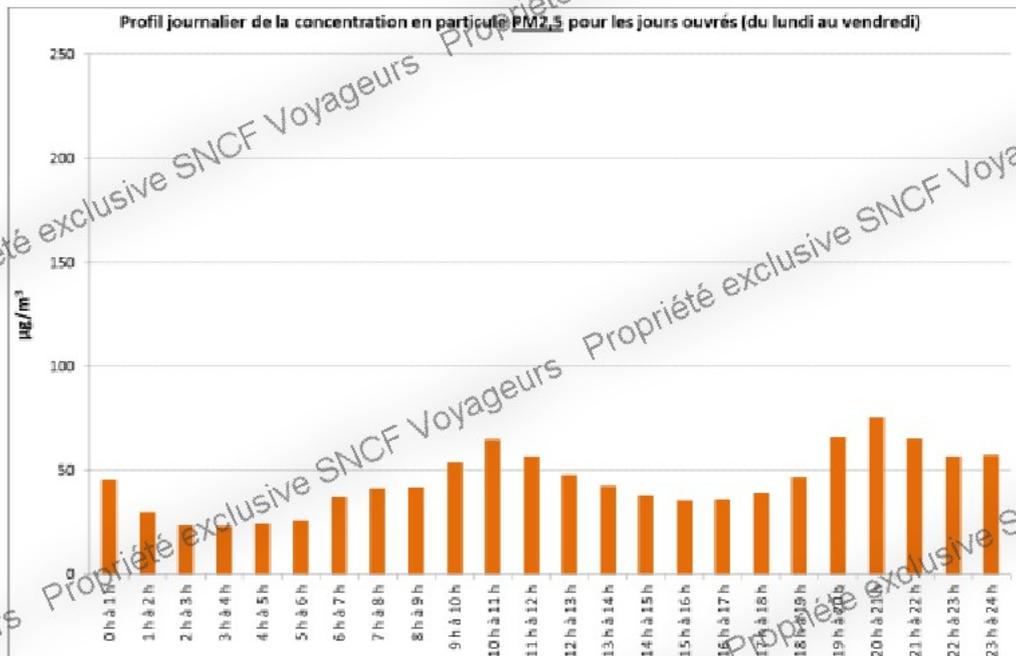


Figure 4

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.

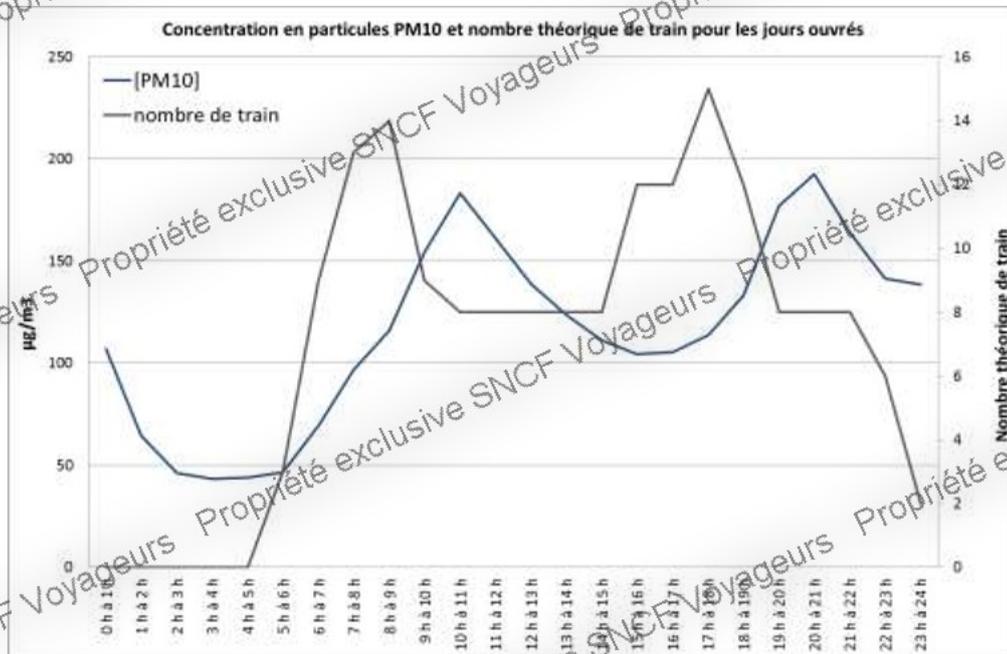


Figure 5

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).

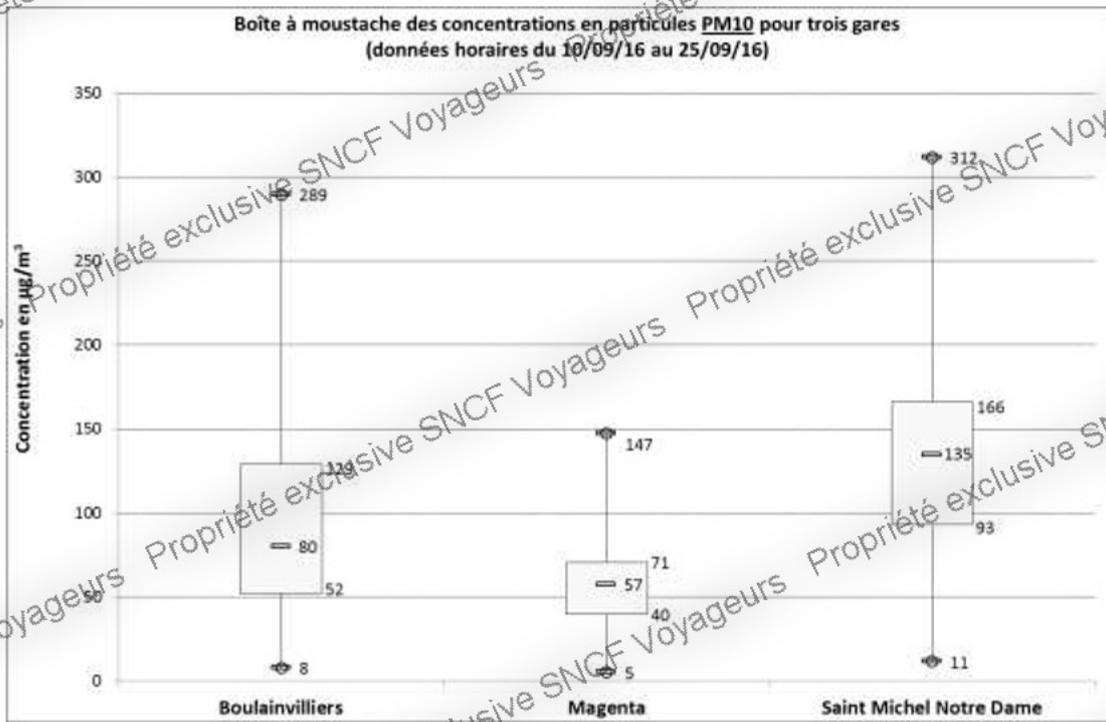


Figure 6

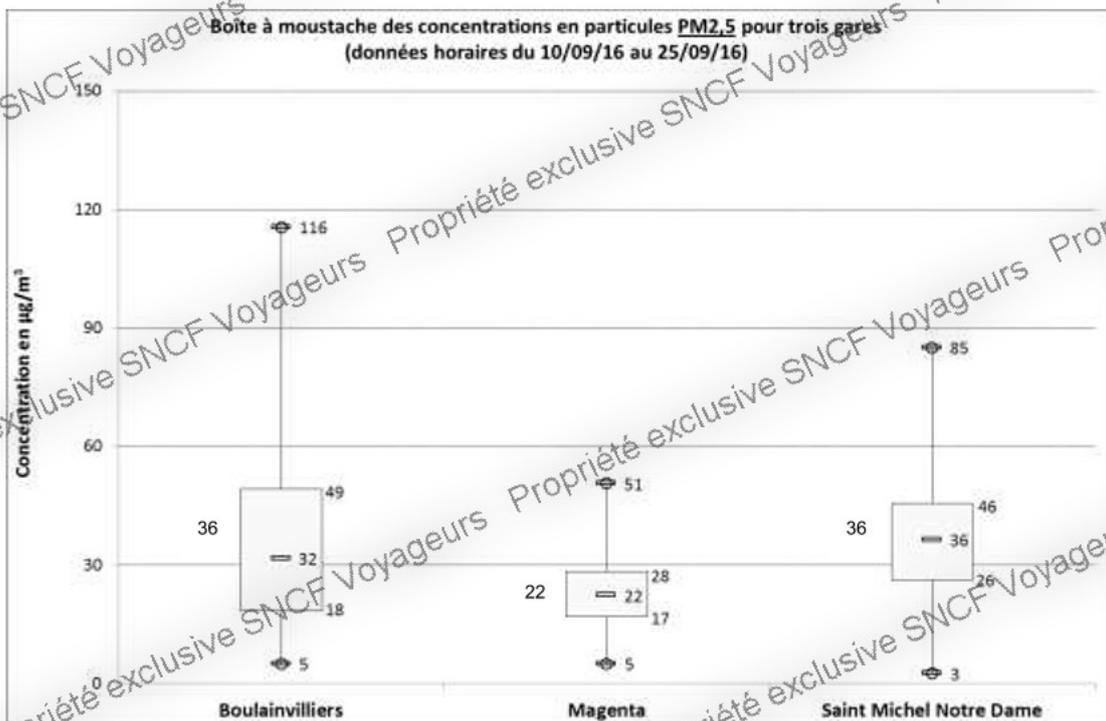


Figure 7

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_{2,5} 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.

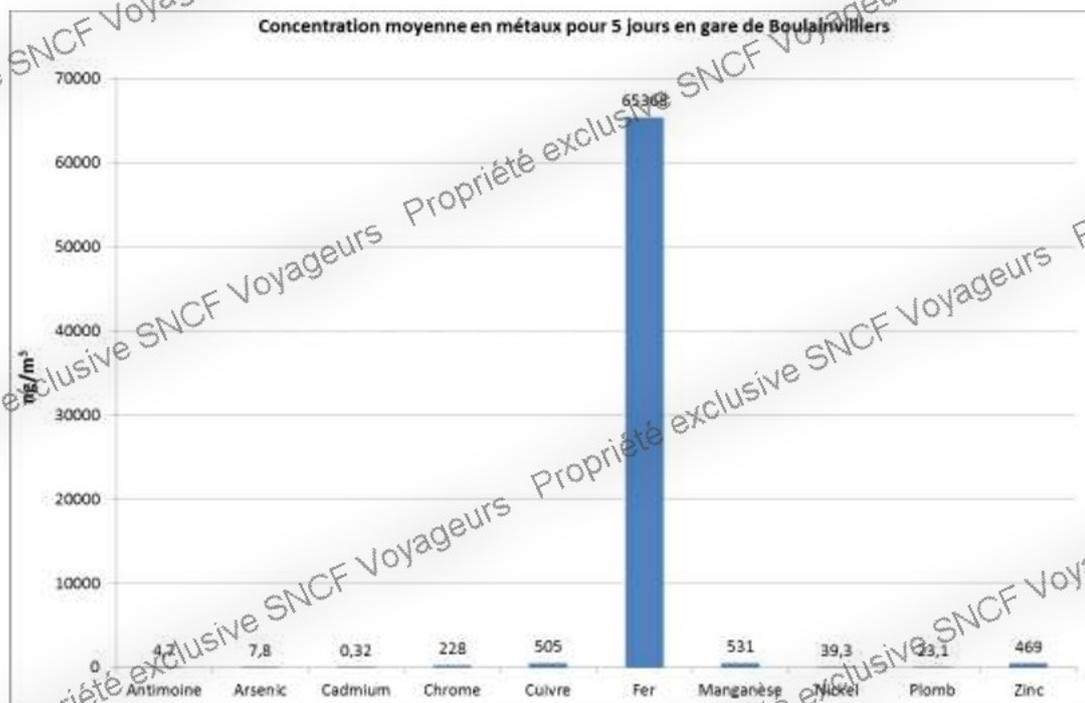


Figure 8

En moyenne, le fer représente 43 % de la composition des particules PM₁₀. 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.

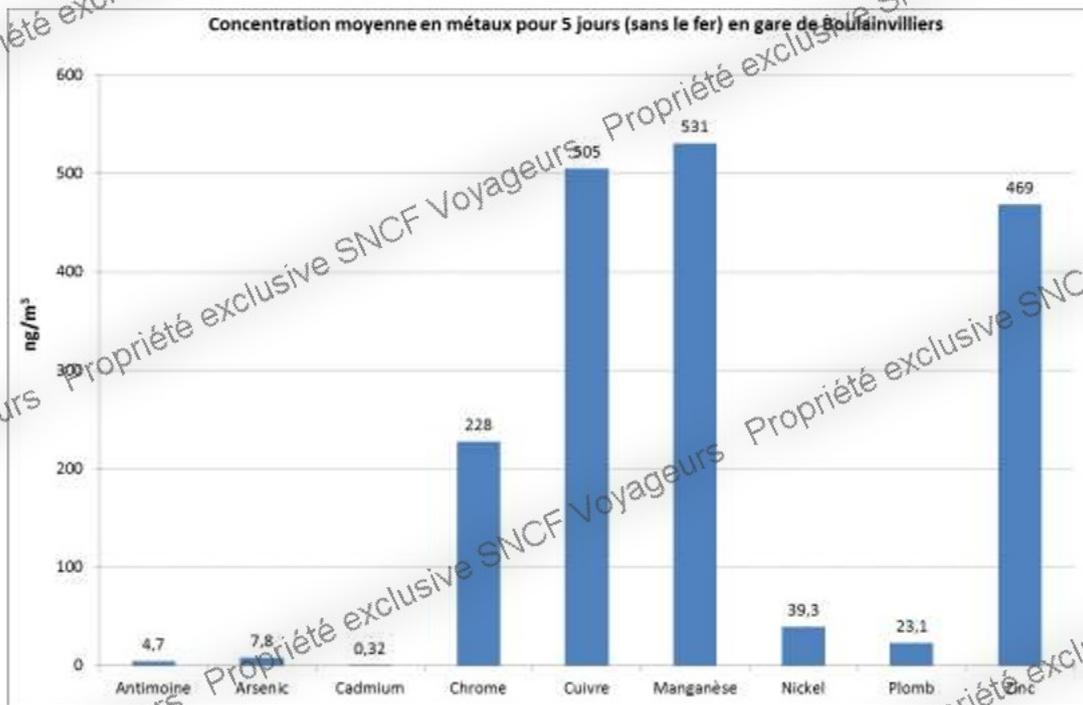


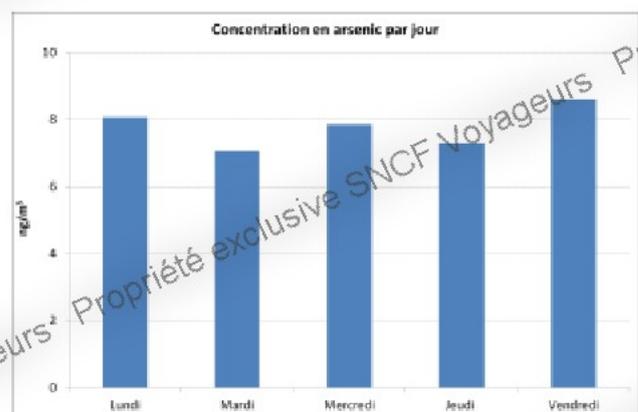
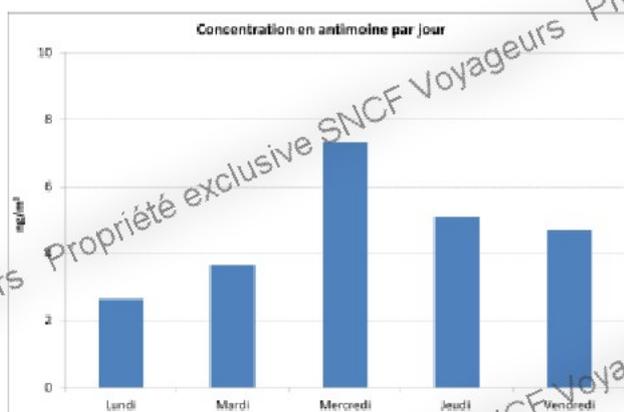
Figure 9

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.



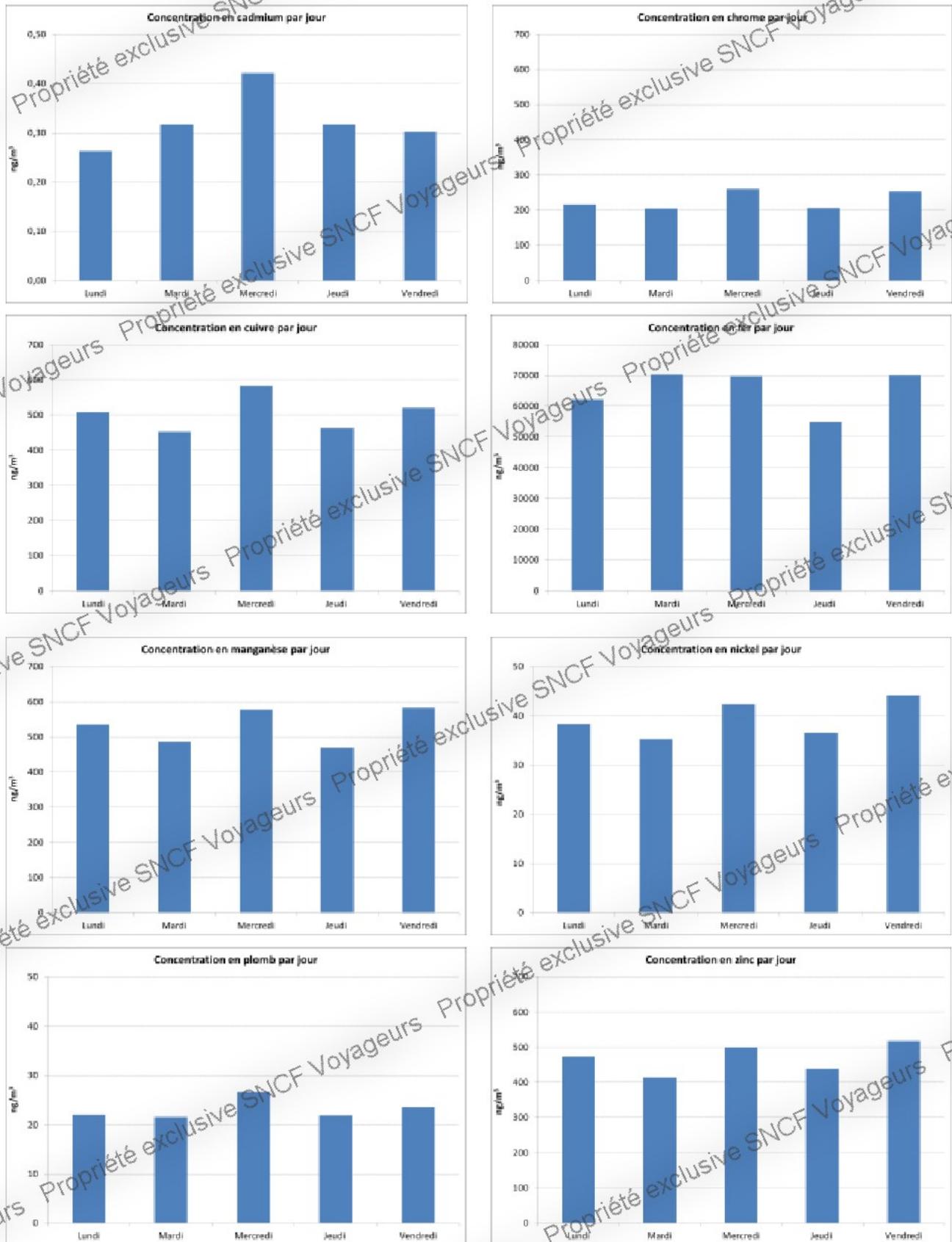


Figure 10

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^{ème} 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.

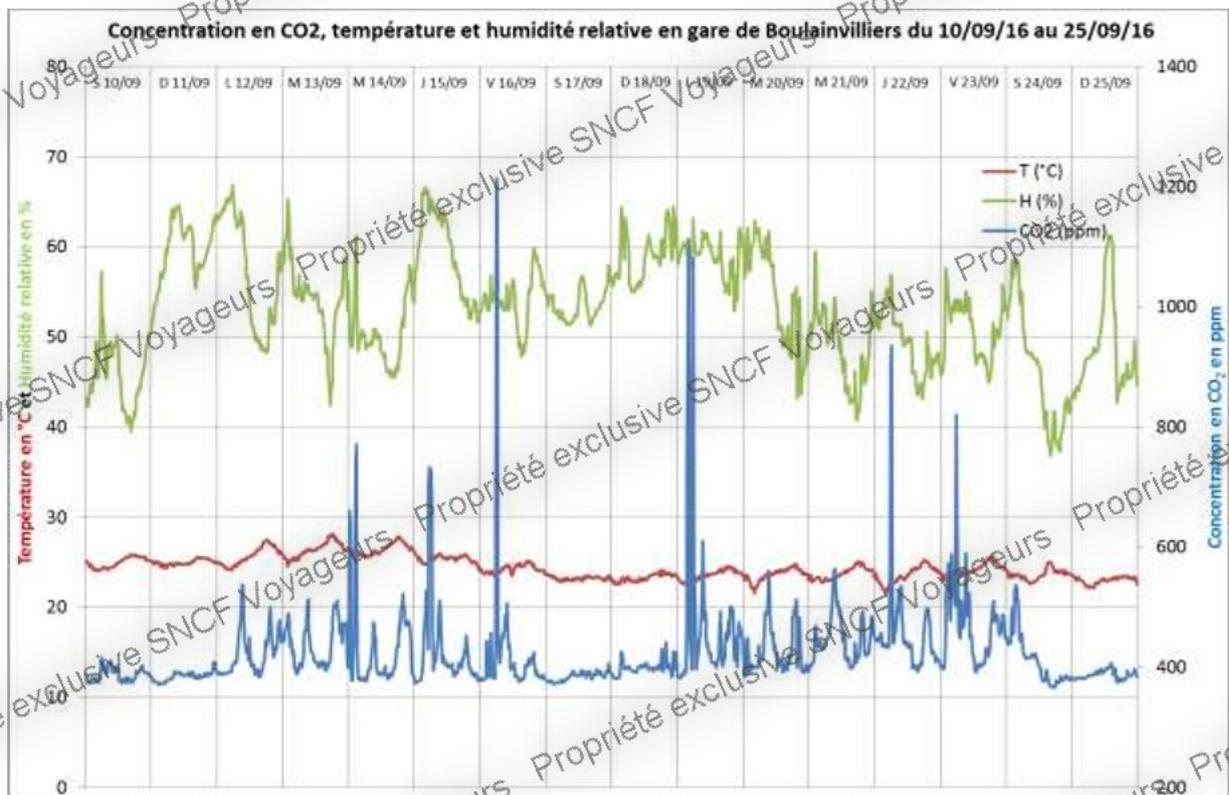


Figure 11

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 CO₂ 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.

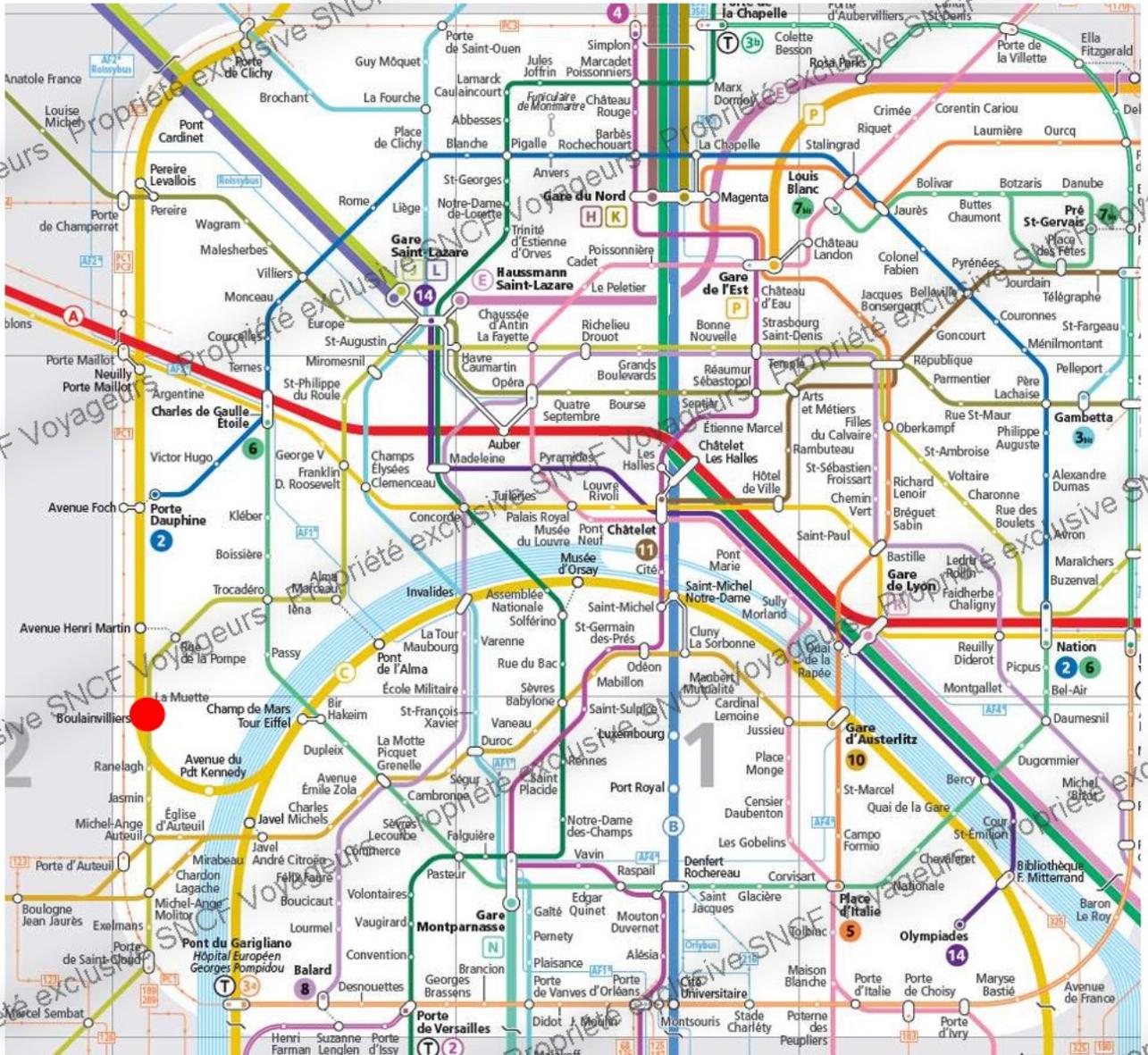
Le niveau d'empoussièrément en PM10 en gare de Boulainvilliers est intermédiaire par rapport aux gares de Magenta et Saint Michel Notre Dame.

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.

ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE BOULAINVILLIERS

Positionnement

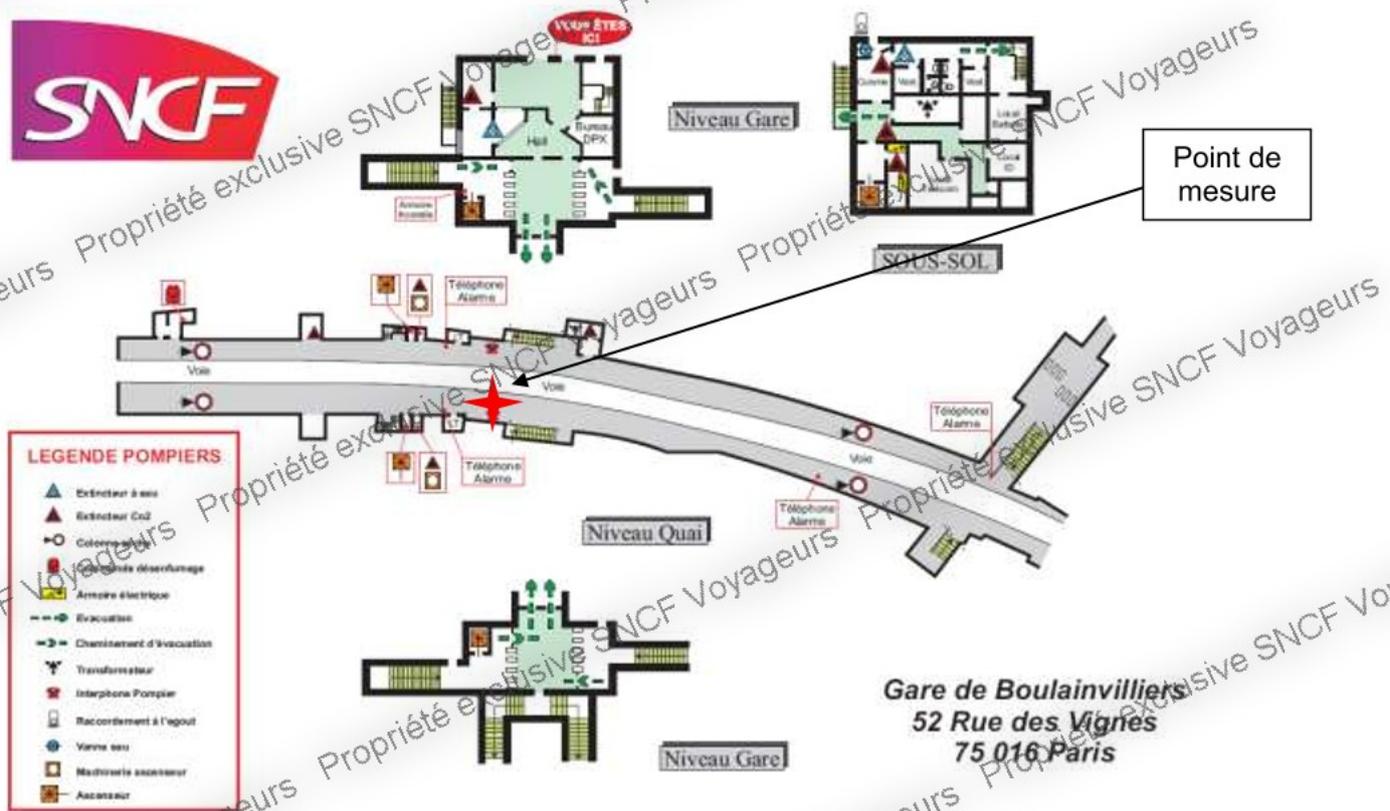
La gare de Boulainvilliers est située sur la ligne C du RER (cf. point rouge sur le plan ci-dessous).



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.

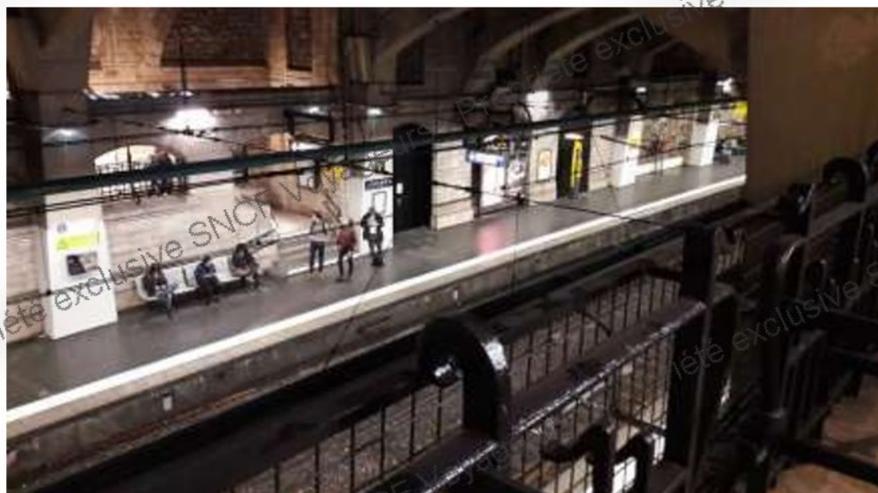
Photos de la gare

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 MES

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

