

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

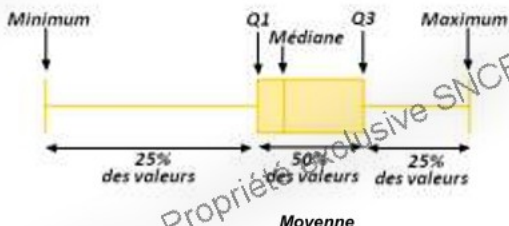
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

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
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	7
2.4.	POINTS DE MESURE	7
2.5.	PERIODE DE MESURE	7
3.	RESULTATS ET COMMENTAIRES	8
3.1.	CONCENTRATIONS EN PARTICULES PM10 ET PM2,5	8
3.2.	CONCENTRATIONS EN METAUX	15
3.3.	CONCENTRATIONS EN DIOXYDE DE CARBONE	19
4.	CONCLUSION	20
ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE CERGY LE HAUT		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 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 (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 particulaire dans les gares souterraines, mais la composition de ces particules peut être différente de celles produites par le trafic ferroviaire.

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 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.

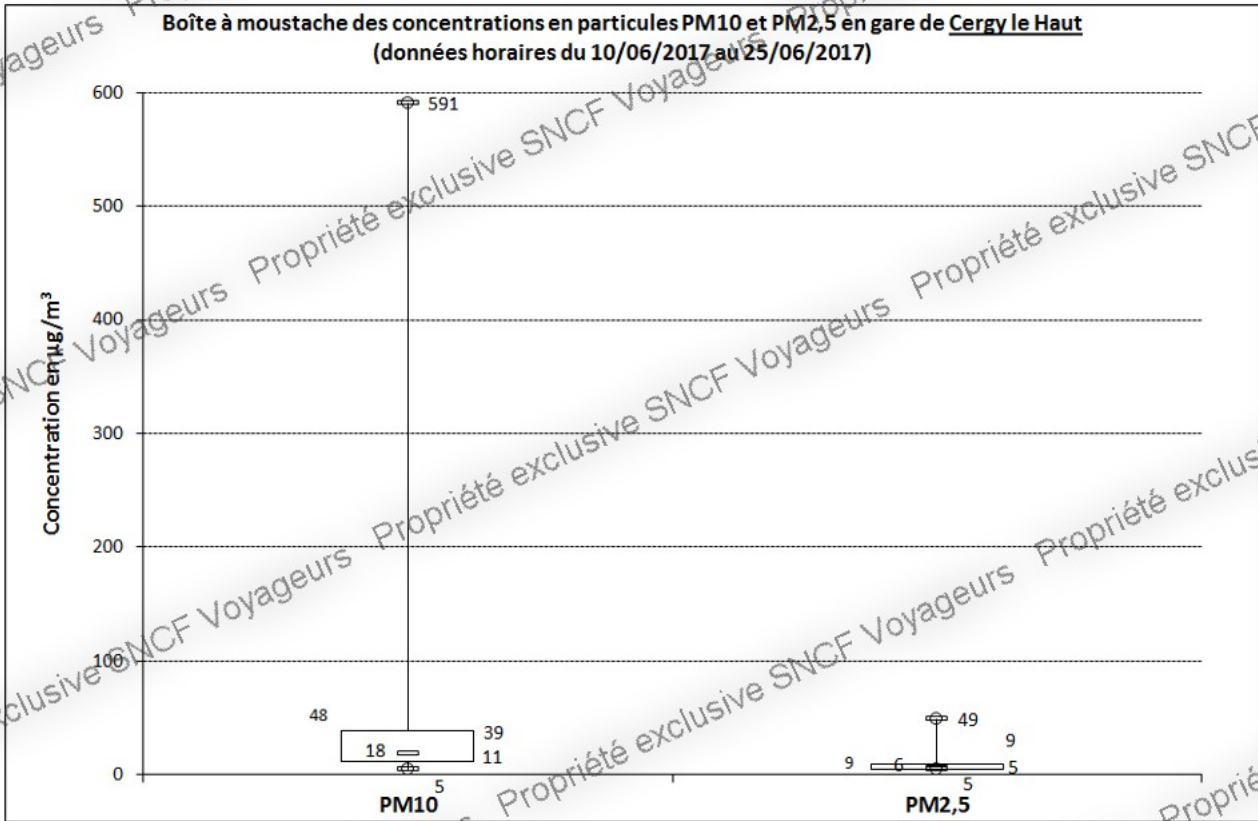


Figure 1

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.

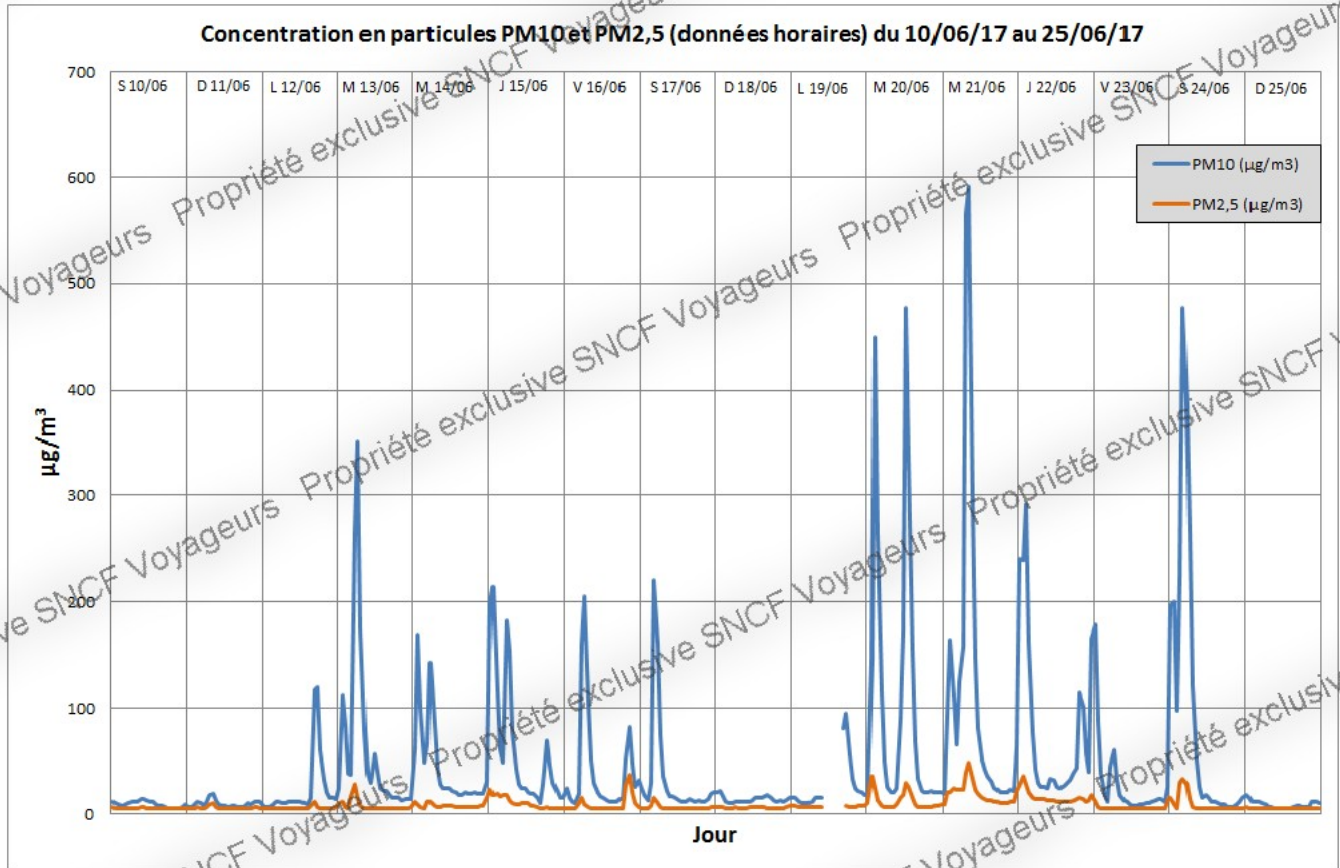


Figure 2

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 jours ouvrés (du lundi au vendredi)	Concentration moyenne pour les jours de week-end (samedi et dimanche)
Concentration en particules PM10 en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	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).

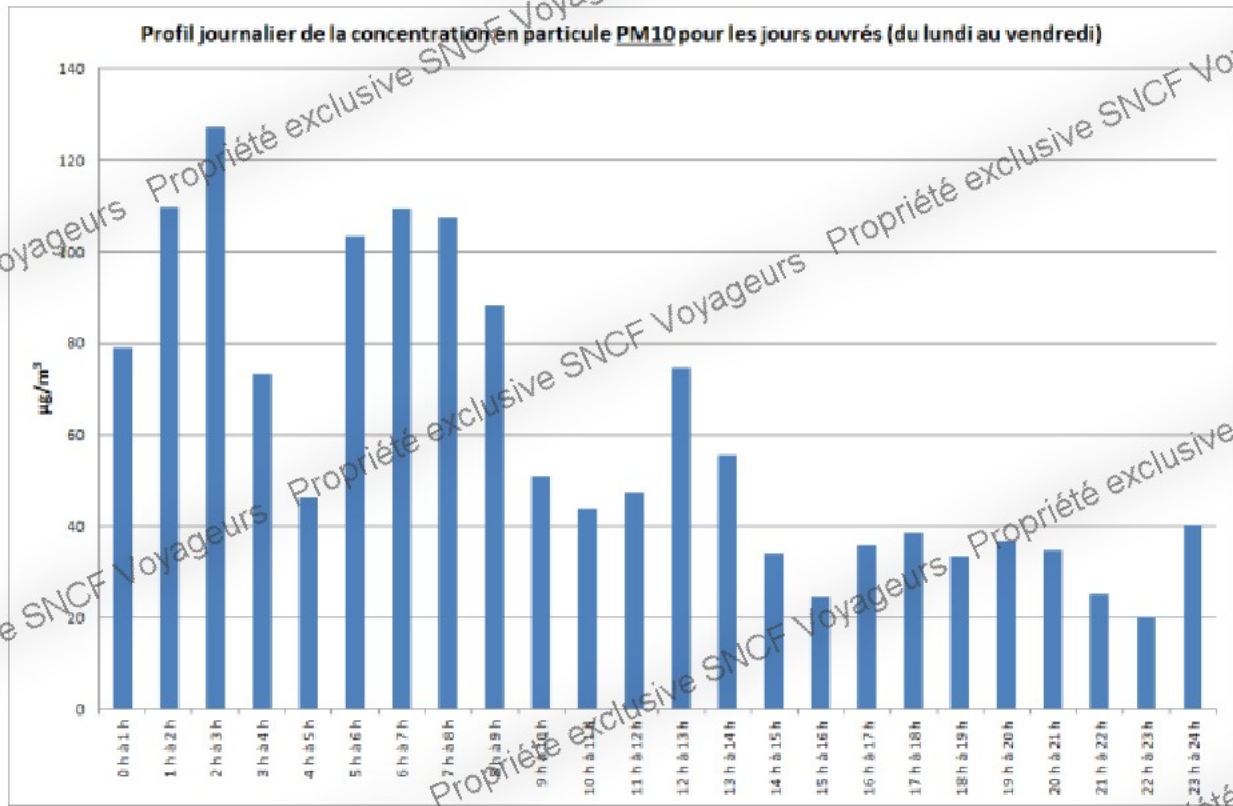


Figure 3

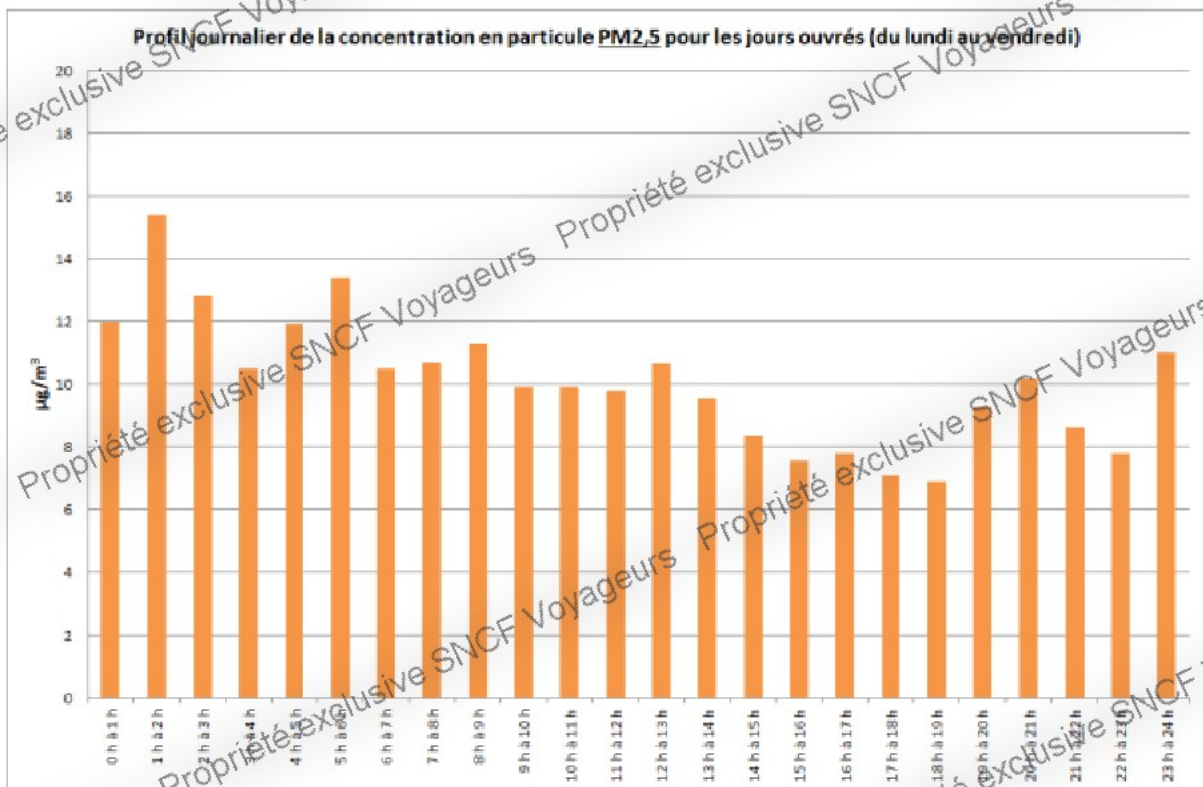


Figure 4

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.

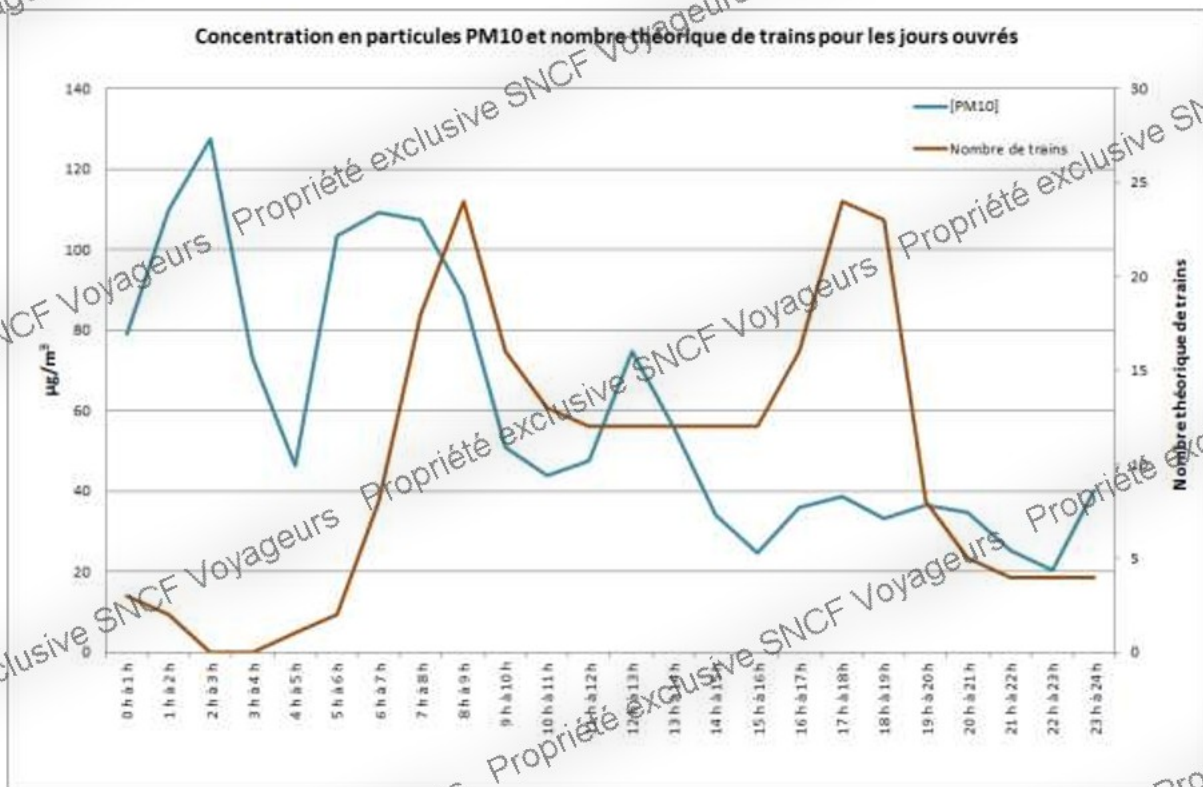


Figure 5

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.

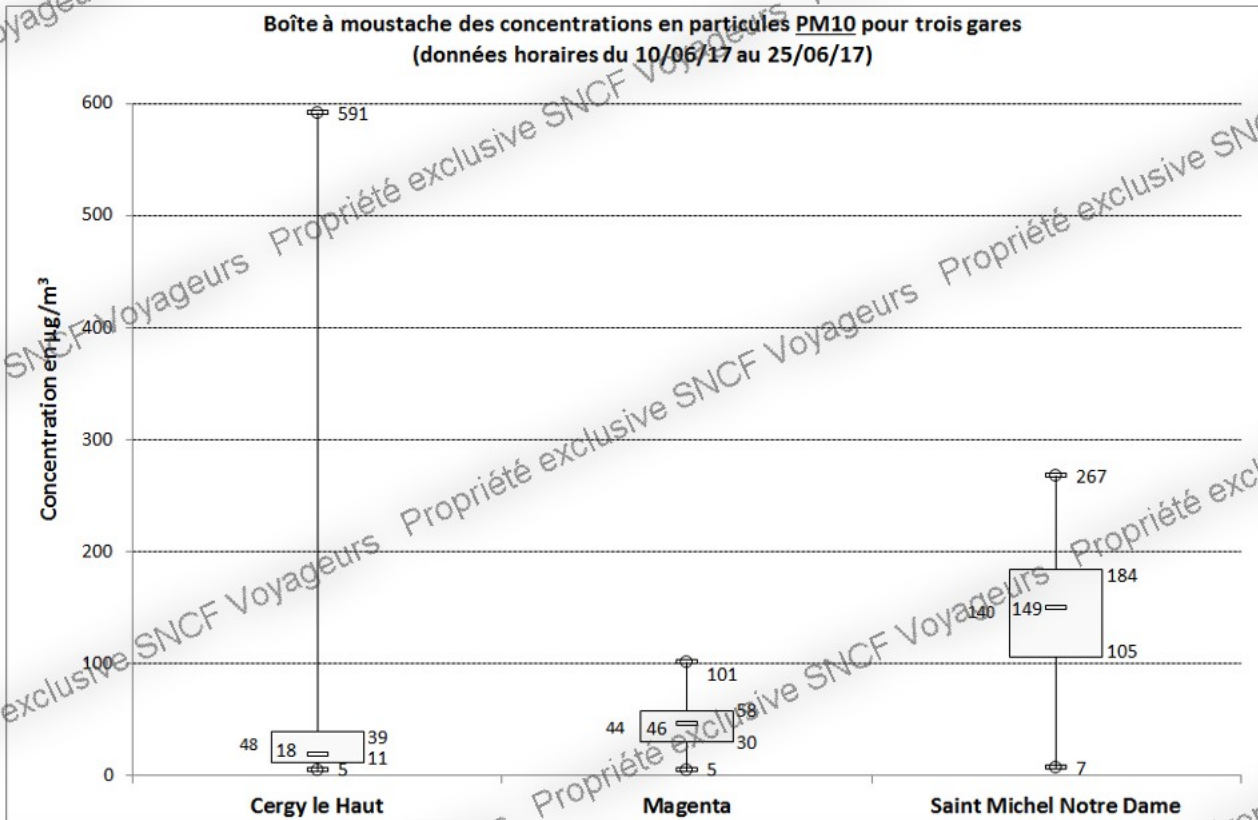


Figure 6

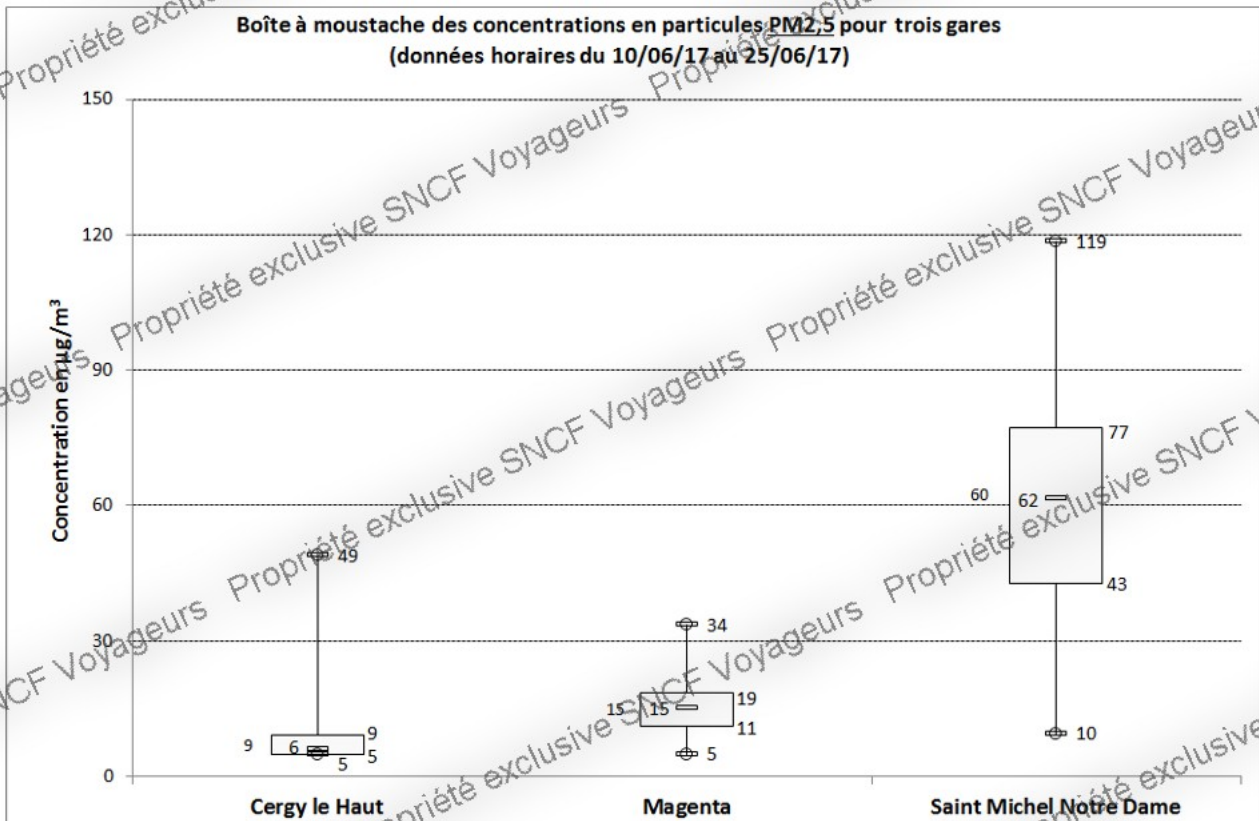


Figure 7

Ces résultats montrent que le niveau d'empoussièrment en PM₁₀ et PM_{2,5} 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 PM₁₀ 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^{ème} 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.

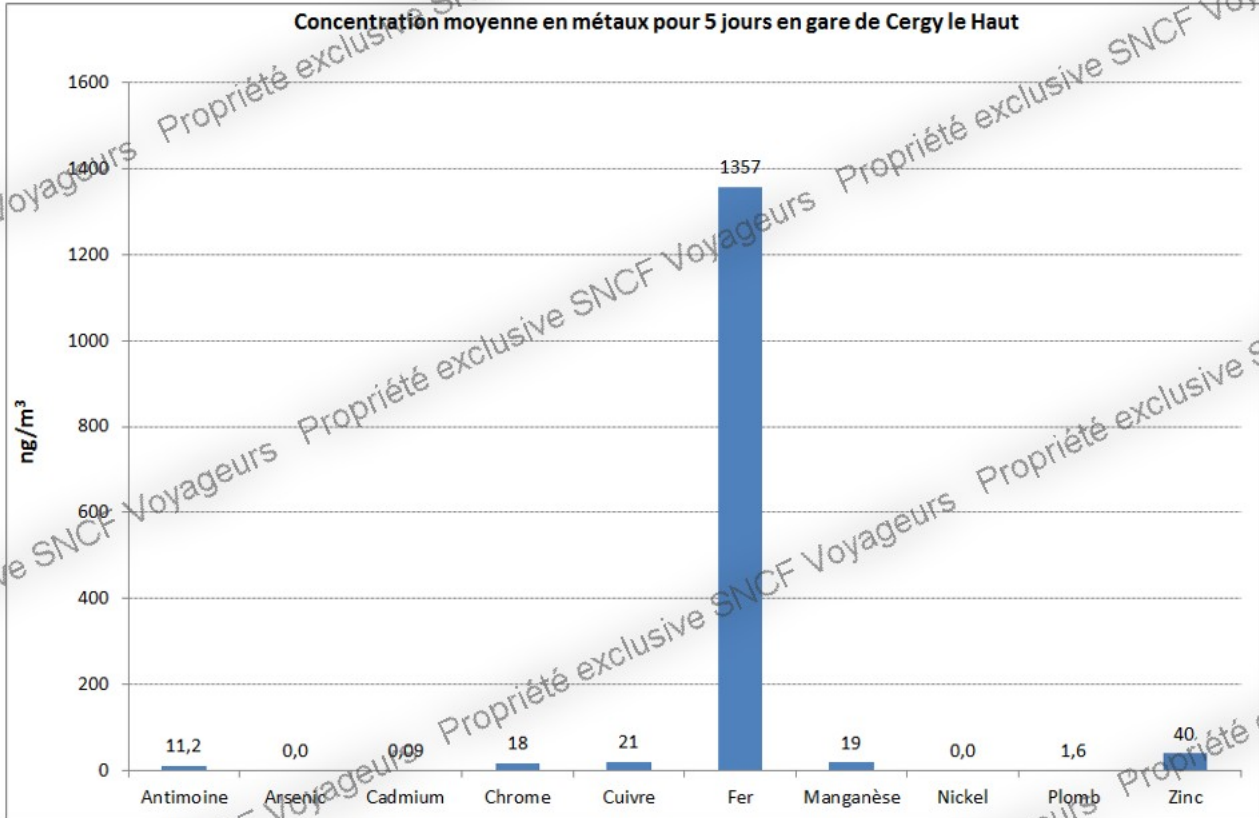


Figure 8

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.

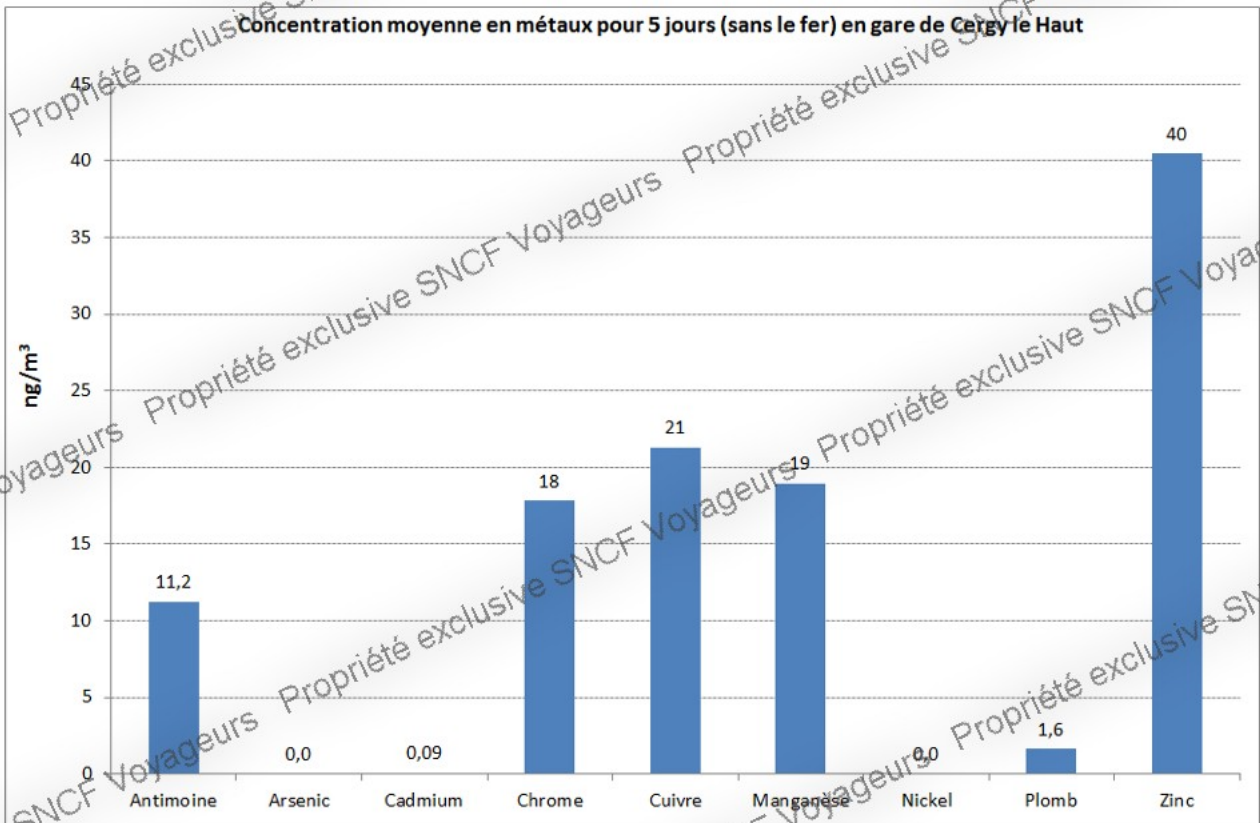


Figure 9

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.

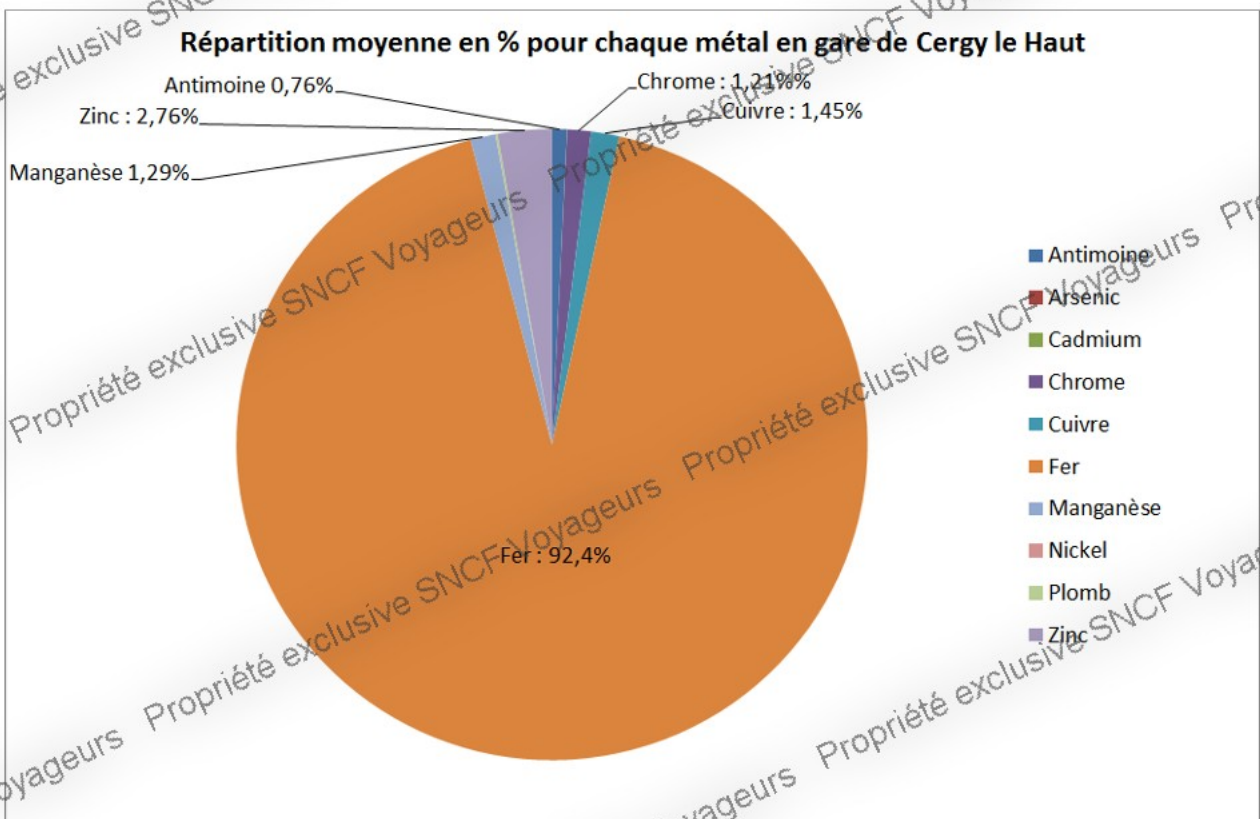
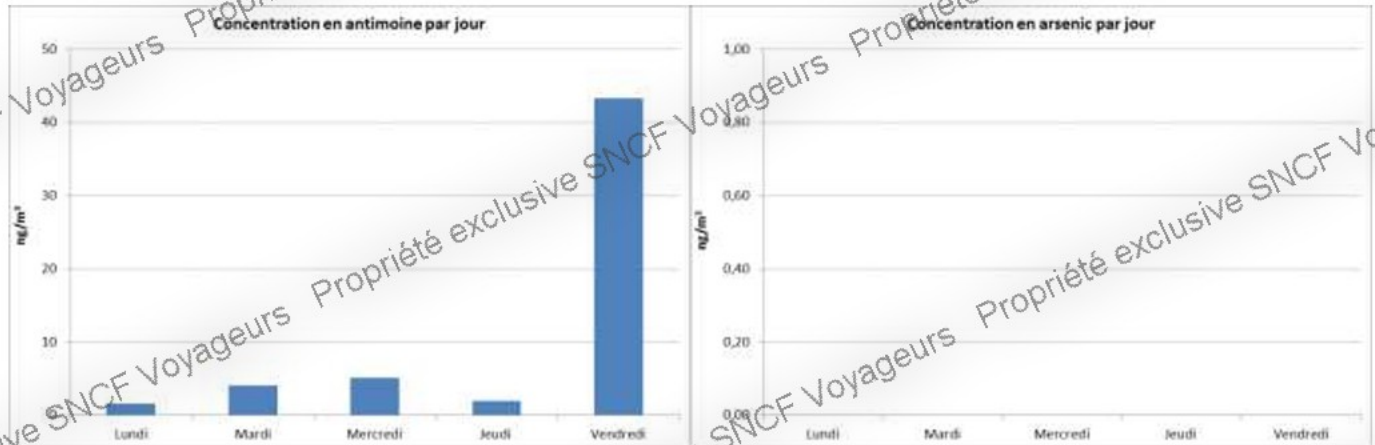


Figure 10

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.



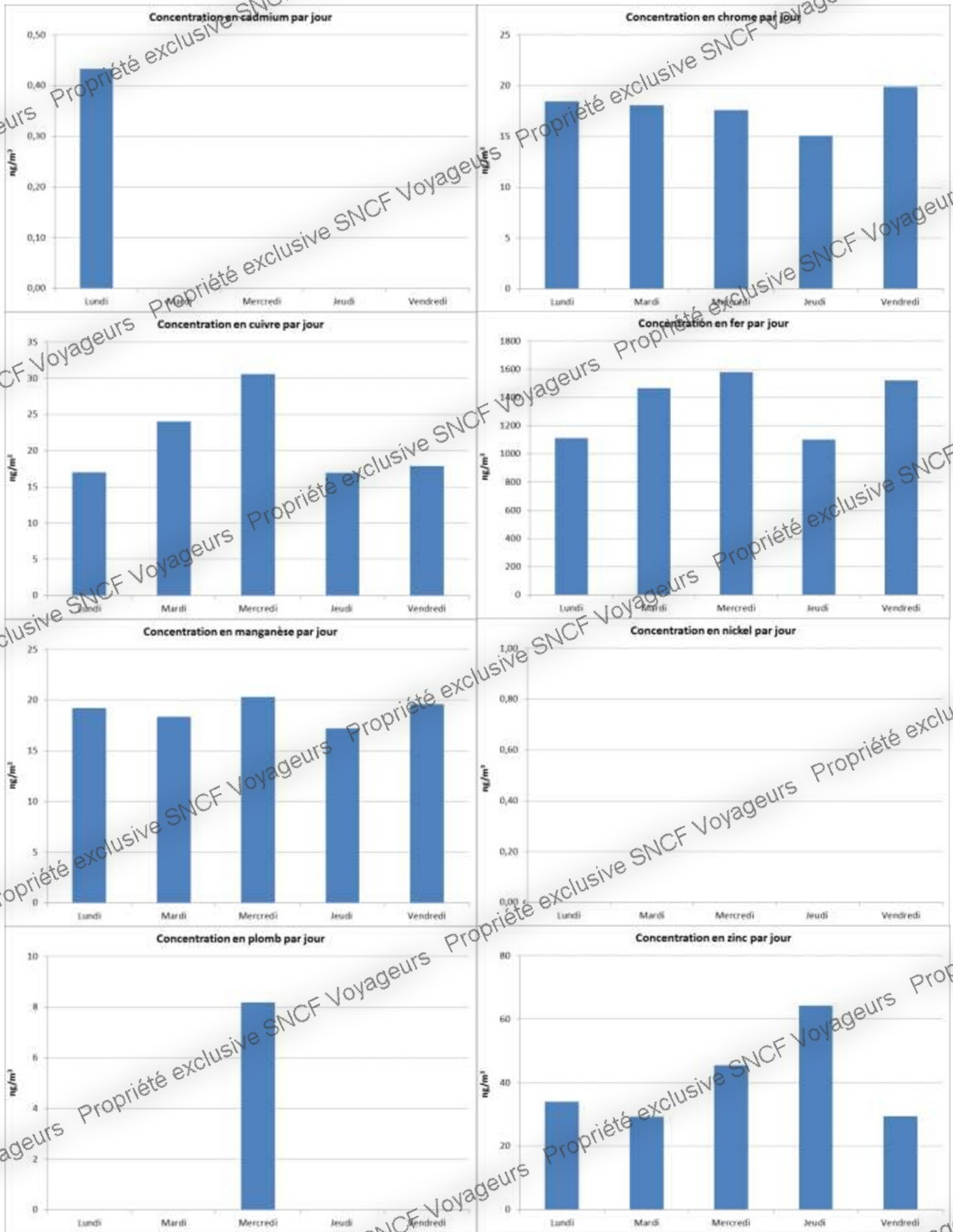


Figure 11

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.

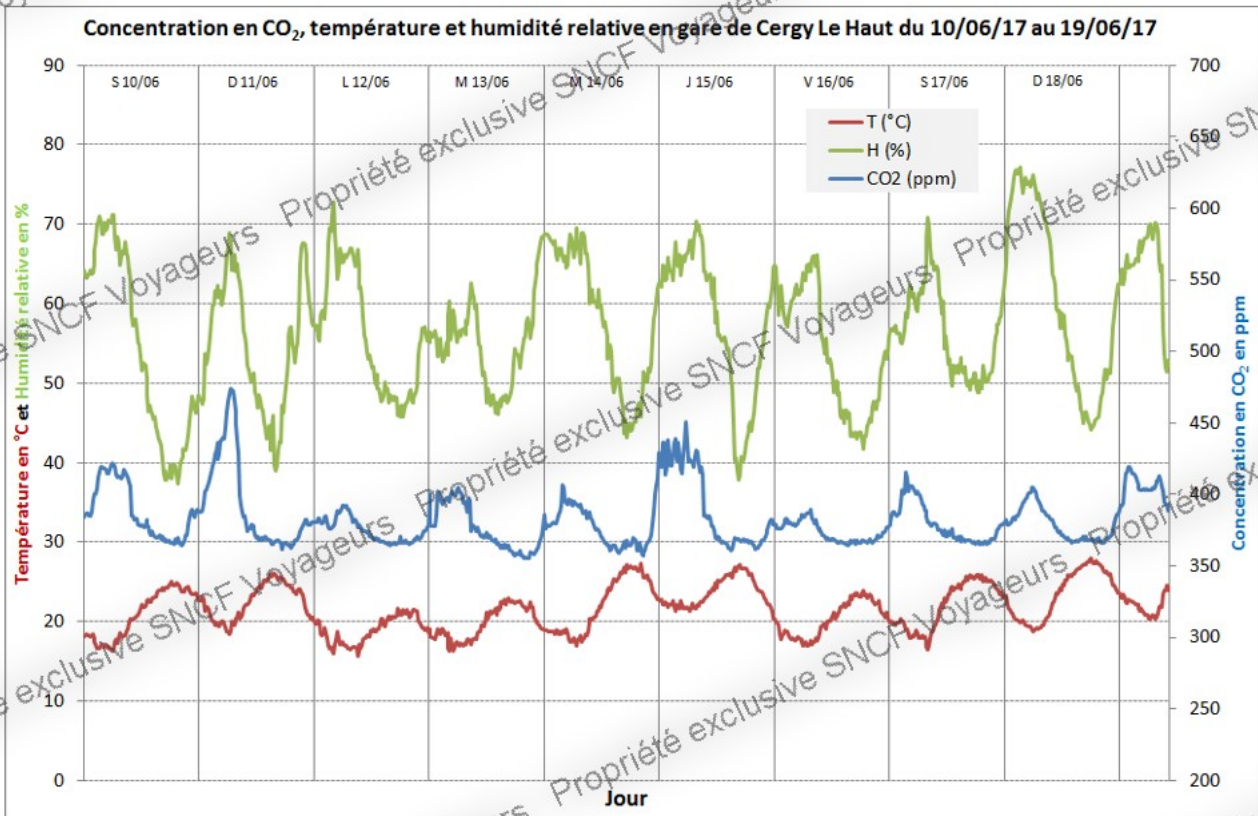


Figure 12

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 CO₂ 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.

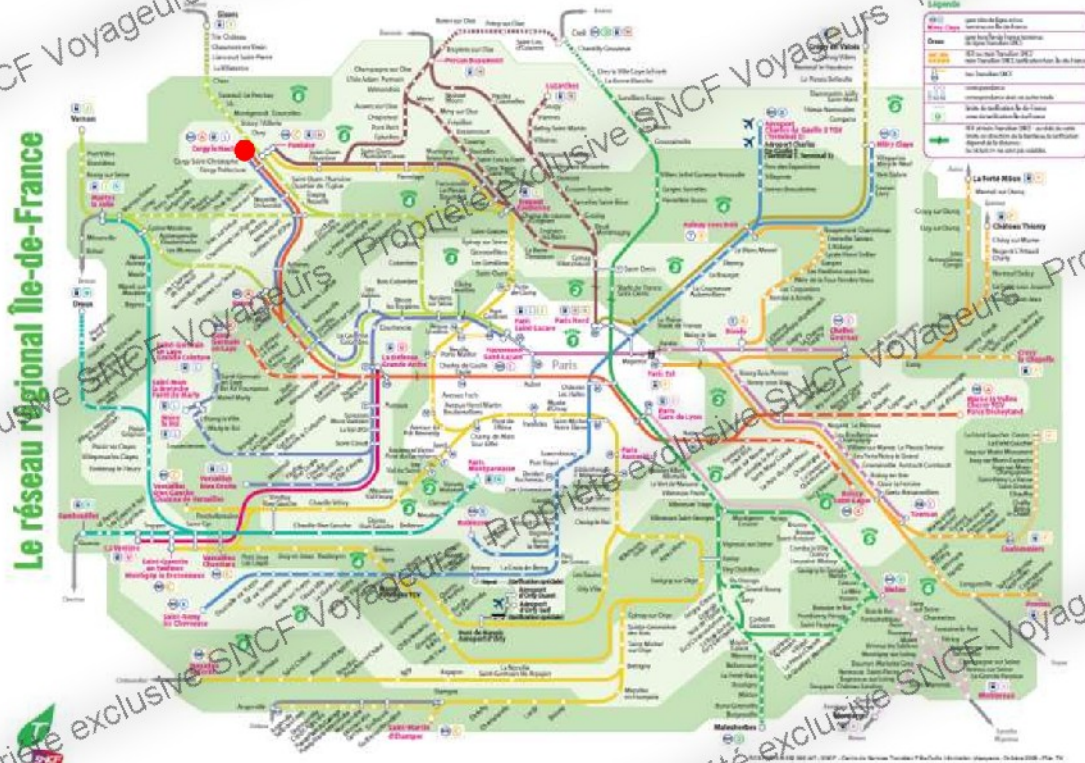
Le niveau d'empoussièrement en PM10 et PM2,5 en gare de Cergy le Haut est inférieur par rapport aux gares de Saint Michel Notre Dame et Magenta.

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

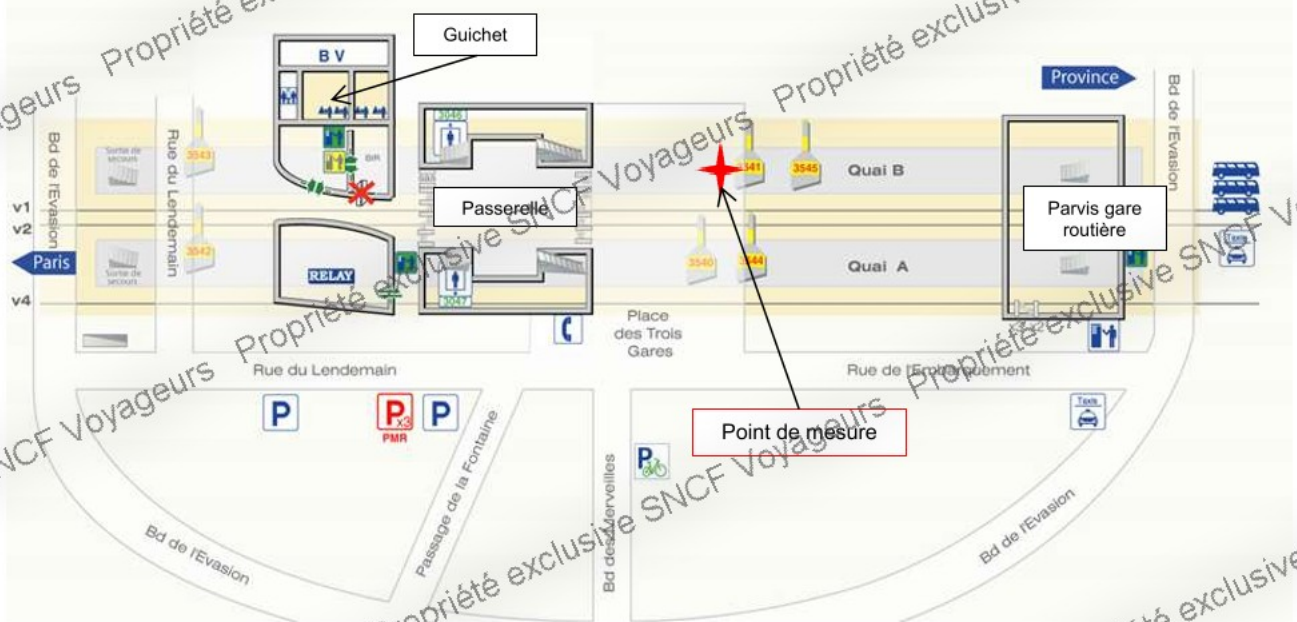
DOC046567-00 / MES017696

OR_L0038

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).