

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER A - TRANSILIEN L EN GARE SNCF DE CERGY-PRÉFECTURE

Janvier 2017

Septembre 2017





L'Observatoire de l'air en Île-de-France



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER A / TRANSILIEN L EN GARE SNCF DE CERGY-PRÉFECTURE JANVIER 2017

Novembre 2017

« Le bon geste environnemental : N'imprimez ce document que si nécessaire et pensez au recto-verso ! »

SYNTHESE

Un programme de partenariat entre SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016, dont l'objectif est de mieux connaître et améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines. Dans ce cadre, une campagne de mesure a été réalisée du **09/01/2017 au 29/01/2017** à la gare de **Cergy-Préfecture RER A / Transilien L** (quai côté voie 1, direction Cergy-le-Haut). Les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}) ont été suivies, ainsi que les métaux.

Les principaux résultats

Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur le quai en gare de Cergy-Préfecture au cours du mois de janvier 2017 étaient en moyenne de 98 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 312 µg/m³ (enregistré le 26/01/17 à 19h).

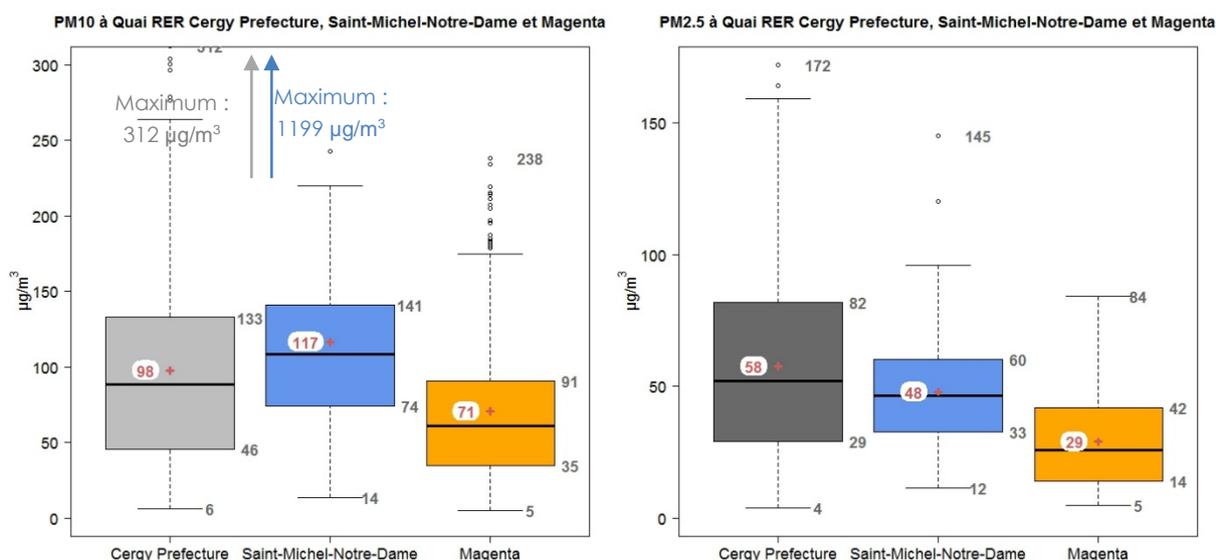
Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} atteignent 58 µg/m³, pour un maximum horaire de 172 µg/m³ (enregistré le 23/01/17 à 10h).



Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ?

Les niveaux moyens en PM₁₀ sont intermédiaires entre ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (117 µg/m³ enregistrés sur la même période) et ceux de la station Magenta (71 µg/m³ enregistrés sur la même période).

En revanche, les niveaux moyens de PM_{2.5} à Cergy-Préfecture (58 µg/m³) sont supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (29 µg/m³), mais également à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (48 µg/m³). Ceci démontre un fonctionnement différent de la gare de Cergy-Préfecture par rapport à celle de Saint-Michel-Notre-Dame, avec notamment une source supplémentaire de particules PM_{2.5}. Un lien avec l'air extérieur est tout à fait probable, en effet, les voies de la gare de Cergy-Préfecture se trouvent au niveau -1 par rapport à la rue, tandis que celles de Saint-Michel-Notre-Dame et de Magenta se trouvent au niveau -2.



Par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame, les niveaux de Cergy-Préfecture sont globalement plus dynamiques, aussi bien pour les PM₁₀ que pour les PM_{2.5} : ils ont tendance à être plus élevés aux heures de pointe, et inversement, plus faibles aux heures creuses. En revanche, il existe à Saint-

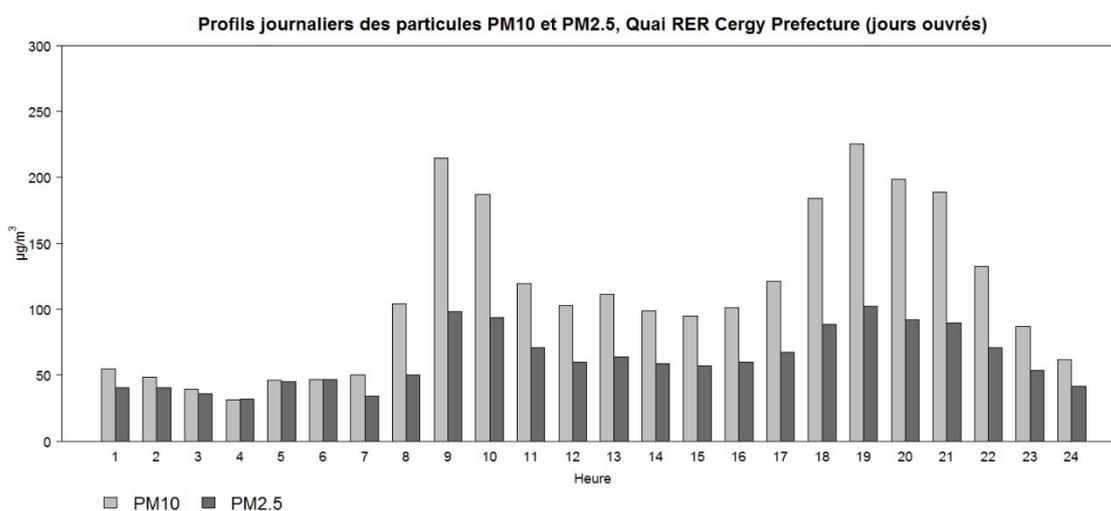
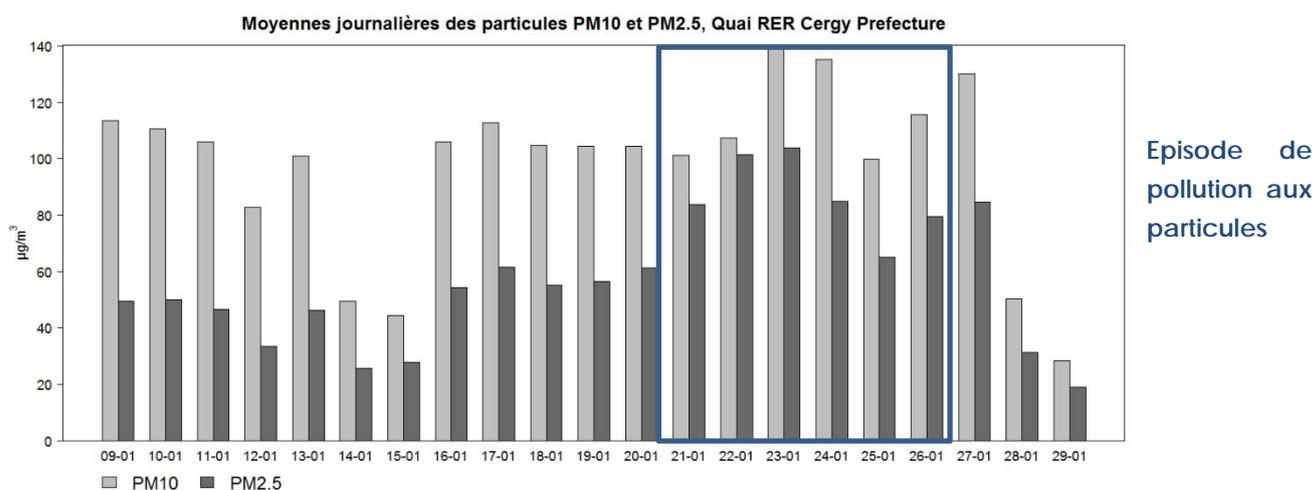
Michel-Notre-Dame de forts pics nocturnes (maximum PM_{10} : $1199 \mu\text{g}/\text{m}^3$ le 27/01/17 à 2h), au moment de travaux de nuit dans la station.

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

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

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM_{10} (- 42 %) et dans une moindre mesure pour les $PM_{2.5}$ (- 26 %). Cette baisse est en lien avec la diminution de fréquentation et d'activité de la gare le week-end (nombre de voyageurs et nombre de trains).

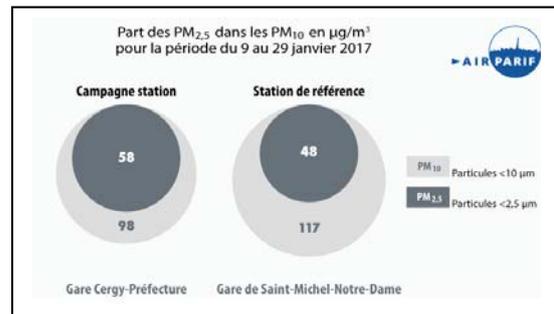
De forts niveaux de particules ont été relevés entre le 21 et le 27 janvier (plus particulièrement les 23, 24, 26 et 27 janvier pour les PM_{10}). Il faut noter qu'un épisode de pollution aux particules a eu lieu en Ile-de-France entre le 21 et le 26 : en moyenne + 35 % pour les PM_{10} , + 60 % pour les $PM_{2.5}$.



Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Cergy-Préfecture, les niveaux nocturnes (entre 23h et 7h) sont les plus faibles, avec en moyenne $44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} et $39 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2.5}$. Les concentrations sont maximales aux heures de pointe, dans les plages horaires 8 - 10h et 17 - 21h. Les concentrations dépassent alors $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une heure en PM_{10} , et sont voisines de $100 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2.5}$. Ces profils (variabilité temporelle et niveaux observés) diffèrent légèrement de ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM_{10} , en raison de travaux nocturnes réalisés à Saint-Michel-Notre-Dame pendant cette période. Les niveaux de $PM_{2.5}$ et en PM_{10} en heure de pointe sont en moyenne plus élevés à Cergy-Préfecture qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$: quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ en gare de Cergy-Préfecture, en moyenne de 0,66, est plus élevé que ceux enregistrés aux sites de référence (0,50 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,45 à Magenta). À Cergy-Préfecture, les niveaux de $PM_{2.5}$ sont relativement plus élevés que ceux de PM_{10} .



Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire : 0,6 en semaine, 0,7 et 0,8 les samedis et dimanches. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée (de l'ordre de 0,5 à 0,6). Les pics ponctuels au-dessus de 0,6 s'observent surtout la nuit lorsque les émissions de PM_{10} dues à l'activité de la gare diminuent fortement.

Quelle est la contribution des métaux au niveau des particules ? Est-ce différent de ce qui est observé à Magenta ou Saint-Michel-Notre-Dame ?

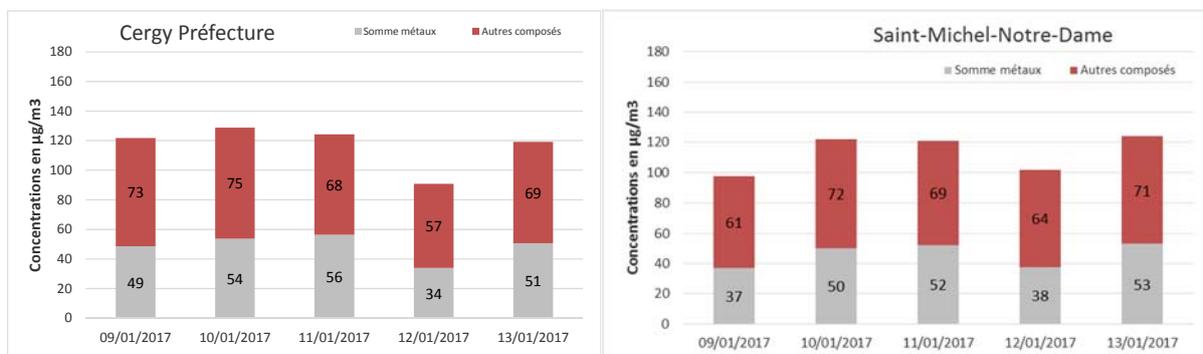
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM_{10} varie de 37 à 45 % sur la semaine de mesure (du 9 au 13/01/2017) en gare de Cergy-Préfecture. Peu de fluctuations sont observées sur la semaine de mesure. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame est similaire, et varie entre 37 et 43 %.

Quelle est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés à Cergy-Préfecture, 95 % à Saint-Michel-Notre-Dame. Suivent ensuite le **Zinc** (2.1 % à Cergy-Préfecture, 0.9 % à Saint-Michel-Notre-Dame), le **Cuivre** (respectivement 0.4 % et 2.3 %), le **Manganèse** (0.9 % chacune), puis le **Chrome** 0.3%, et le **Nickel** 0.1%. Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués. Ces résultats sont assez proches de ceux enregistrés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sauf pour le zinc et le cuivre, dont les proportions diffèrent dans les deux gares.

Est-ce que la part des métaux est variable dans le temps ?

Les relevés journaliers ont évolué sur la semaine de prélèvement, de façon similaire sur les deux sites de mesure, pourtant distants l'un de l'autre : maxima le mardi, mercredi et vendredi, minima le jeudi à Cergy-Préfecture, le lundi à Saint-Michel-Notre-Dame.



SOMMAIRE

SYNTHESE	4
SOMMAIRE	7
GLOSSAIRE	8
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS	9
1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	11
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	11
1.2 PERIODE DE MESURE	12
2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE	13
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	13
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	13
2.1.2. PARTICULES PM _{2.5}	15
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	17
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE	17
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	19
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	20
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	23
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	23
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	24
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	27
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	29
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	29
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	29
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES	30
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	32
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	32
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	34
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	36
4. CONCLUSION.....	39

GLOSSAIRE

µg/m³ micro gramme par mètre cube

ng/m³ nano gramme par mètre cube

JOB : Jour Ouvré de Base (mardi, mercredi, jeudi)

AEF : Agence d'Essais Ferroviaires. L'AEF participe à l'homologation de matériel ferroviaire (aspect sécurité et environnement des transports), à l'amélioration de l'environnement aux alentours des emprises ferroviaires (qualité de l'air, bruit) et au développement d'outils à l'usage de ses clients (WIFI, géolocalisation, etc.).

CO₂ Dioxyde de carbone

NO Monoxyde d'azote

NO₂ Dioxyde d'azote

NO_x (NO+NO₂) Oxydes d'azote

PM₁₀ Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

PM_{2,5} Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 µm

FDMS Filter Dynamics Measurement System : méthode de mesure des particules intégrant la partie volatile.

TEOM Tapered Element Oscillating Microbalance : méthode de mesure des particules.

hPa hecto Pascal – unité de pression atmosphérique

Les résultats présentés dans ce rapport sont à l'heure locale.

Les mesures à l'heure H correspondent aux mesures effectuées entre H-1 et H. Par exemple, les mesures à 9 heures correspondent à la moyenne des mesures entre 8h01 et 9h00.

Airparif est l'Observatoire indépendant de la qualité de l'air (association loi 1901) en Ile-de-France. Conformément à la Loi sur l'Air et l'utilisation rationnelle de l'Energie, Airparif rassemble les différents acteurs impliqués dans les enjeux atmosphériques et susceptibles d'agir pour son amélioration. Les quatre collèges qui la composent (Etat, collectivités, acteurs économiques, milieu associatif et personnalités qualifiées) assurent son interaction avec les attentes de la société et lui garantissent indépendance et transparence dans ses orientations et ses activités.

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

- **Surveiller** par une combinaison technologique (modélisation, stations, émissions) permettant de renseigner 7 millions de points toutes les heures en Ile-de-France ;
- **Comprendre** la pollution atmosphérique et ses impacts en lien avec le climat, l'énergie et l'exposition des personnes ; prévoir la qualité de l'air au jour le jour, les épisodes de pollution et les évolutions futures ;
- **Accompagner** les décideurs dans l'amélioration de la qualité de l'air sur leur territoire, favoriser la concertation, informer les autorités, les médias et le public.

Airparif est agréée par le Ministère de l'Environnement. **Pour garantir la qualité et la fiabilité de ses résultats, ses activités sont certifiées ISO 9001 par l'AFAQ et accréditées ISO/CEI 17025 Section Laboratoires par l'AFNOR.**

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

Un programme de partenariat entre SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif est de mieux connaître et d'améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

Ce programme s'inscrit dans le cadre du renforcement de la surveillance de la qualité de l'air intérieur, prévu par le Grenelle de l'environnement¹, afin de mieux documenter les niveaux et comprendre les facteurs d'influence. Aucun décret d'application spécifique aux enceintes souterraines ferroviaires n'est paru à ce jour et il n'existe pas de normes en vigueur dans ces espaces.

L'objectif de ce programme est de documenter finement des niveaux de particules dans les gares franciliennes souterraines exploitées par la SNCF, afin de faciliter la construction de plans d'amélioration et la priorisation des travaux afférents. Les données recueillies alimenteront également les outils d'estimation de l'exposition individuelle des Franciliens développés par Airparif et elles seront mises à disposition du public.

Pendant 2 ans, 23 gares franciliennes souterraines ou mixtes sont, à tour de rôle, équipées d'une station de mesure de la qualité de l'air. Sur chaque gare successivement sont mesurées en continu pendant 3 semaines les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}. S'ajoutent également des mesures de métaux, dont certains sont des traceurs du trafic ferroviaire : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Chrome (Cr). Enfin, les paramètres de confort (CO₂, Humidité et Température) sont suivis. Les mesures sont réalisées sur le quai de la gare.

Dans le cadre du partenariat, les mesures dans 16 gares sont assurées par Airparif, les 7 autres gares étant étudiées par AEF².

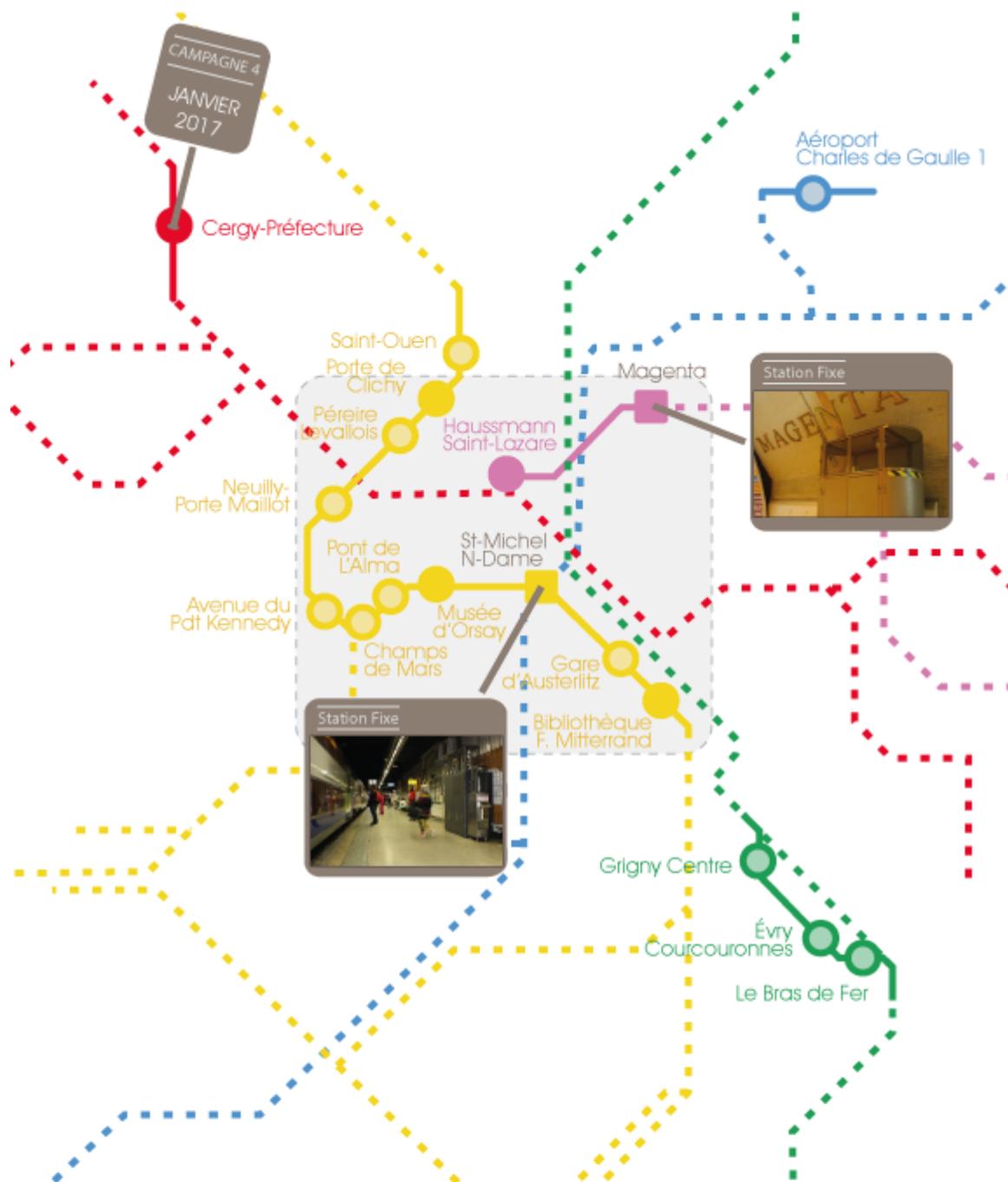
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2.5}). La station Saint-Michel-Notre-Dame mesure également les oxydes d'azote (NO_x). Des relevés réguliers de métaux y sont également réalisés. Ces deux stations de référence ont été choisies pour leurs caractéristiques différentes : Magenta est une station récente, avec une ventilation contrôlée, alors que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame est une station ancienne, sans ventilation mécanique.

C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de Cergy-Préfecture en janvier 2017, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Cergy-Préfecture), ainsi que celle des deux stations permanentes.

¹ Article 180 de la loi 2010-788 du 12/07/2010 qui impose une surveillance de la qualité de l'air intérieur pour le propriétaire ou l'exploitant des Etablissements Recevant du Public (ERP) déterminé par décret en conseil d'Etat. A ce jour, seuls les ERP recevant des personnes dites sensibles ont bénéficié d'un décret d'application (crèches, écoles).

²AEF : Agence Essais Ferroviaires, Laboratoire d'Essais de la SNCF.



Lignes de RER : **A** **B** **C** **D** **E**

Types de gare : ● souterraine ● mixte : souterraine et aérienne

Paris intra muros 



Figure 1 - Localisation de la gare étudiée et des deux stations fixes (Magenta depuis janvier 2016 et Saint-Michel-Notre-Dame depuis septembre 2016).

1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare de Cergy-Préfecture est concernée par le programme de partenariat. Cette gare, ouverte en 1979, est située boulevard de l'Oise à Cergy. Elle est commune à la ligne A du RER (en direction de Cergy-le-Haut vers le Nord-Ouest et Marne-la-Vallée-Chessy / Boissy-Saint-Léger vers le Sud-Est) et à la ligne L du réseau Transilien (entre Paris-Saint-Lazare et Cergy-le-Haut).

L'accès se situe au niveau de la rue, et les quais sont en souterrain, un niveau au-dessous de la rue. Les trains circulent sous des tunnels de part et d'autre de la station. Un large quai central sépare deux voies, où circulent différents types de rames des deux lignes.

Le système de ventilation est composé de 3 extracteurs, 2 centrales de traitement de l'air, et 4 extracteurs de désenfumage (source SNCF).

Des éléments techniques détaillés sur la gare (matériel roulant, etc.) sont présentés en ANNEXE 1.

Le nombre de voyageurs montant en gare de Cergy-Préfecture (lignes A et L cumulées) est de 20 500 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Cergy-Préfecture (2 sens confondus) est de 235 les jours ouvrés (jours JOB), 104 les samedis et 104 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée sur le quai côté voie 1, direction Cergy-le-Haut (Cf. point bleu sur la Figure 2).

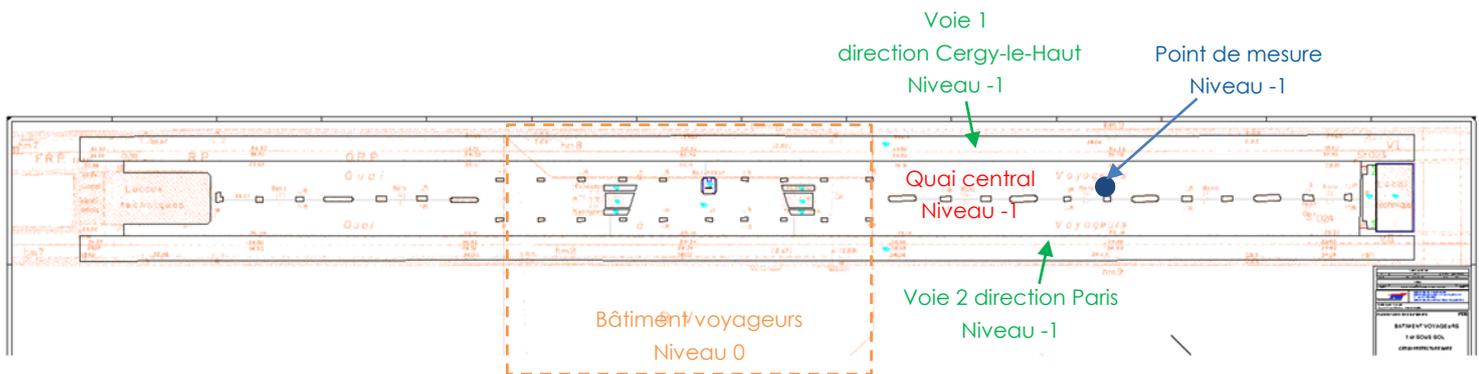


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de Cergy-Préfecture, lignes RER A et L, quai voie 1), photo extérieure de la gare et photo de la station de mesure (quai).

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

Pour rappel, des mesures en particules PM₁₀, PM_{2,5} et en métaux, ainsi que des relevés en CO₂, humidité et température ont été réalisés à cette station.

1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de qualité de l'air à la gare de Cergy-Préfecture ont été réalisées pendant 3 semaines, du **09/01/2017 au 29/01/2017**. Cette durée a été choisie afin d'avoir suffisamment de données pour assurer la robustesse des statistiques d'une part et, d'autre part, pour rencontrer potentiellement différentes conditions météorologiques et évaluer l'impact éventuel de l'air extérieur sur les niveaux sur les quais.

Un épisode de pollution aux particules a eu lieu en Ile-de-France entre le 21 et le 26 janvier (en air extérieur) :

- 21, 22 et 23 janvier : dépassement du seuil d'alerte en PM₁₀ (80 µg/m³ en moyenne calculée sur la période entre 0 et 24 heures).
- 24 et 26 janvier : dépassement du seuil d'information en PM₁₀ (50 µg/m³ en moyenne calculée sur la période entre 0 et 24 heures).
- Pas de dépassement le 25 janvier.

2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE

Ce paragraphe présente une analyse des données : statistiques sur la période de la campagne et évolution temporelle des relevés à l'échelle horaire et journalière, ainsi que teneur en métaux dans les particules.

Les niveaux observés sur le quai dans la gare de Cergy-Préfecture sont comparés aux observations sur les quais des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame).

2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI

Les principaux résultats statistiques (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau 1, pour la gare de Cergy-Préfecture et les gares de référence, sur la même période.

Statistiques ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM ₁₀ (particules fines)			PM _{2.5} (particules très fines)		
	Gare Cergy-Préfecture	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Cergy-Préfecture	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	6	14	5	4	12	5
Percentile 25 (P25)	46	74	35	29	33	14
Médiane ou Percentile 50	89	108	61	52	46	26
Moyenne	98	117	71	58	48	29
Percentile 75 (P75)	133	141	91	82	60	42
Maximum horaire	312	1199	238	172	145	84
% de données horaires valides	97	97	79	97	96	79

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09/01/2017 au 29/01/2017.

Par rapport à la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, les niveaux moyen, médian et maximum relevés en gare de Cergy-Préfecture sont inférieurs pour les PM₁₀, mais supérieurs pour les PM_{2.5}. En revanche, par rapport à la gare de Magenta, les niveaux moyen, médian et maximum relevés en gare de Cergy-Préfecture sont supérieurs pour les PM₁₀ et pour les PM_{2.5}. Étant plus proche de la surface, la gare de Cergy-Préfecture est plus influencée par les sources de pollution extérieures que les gares de référence, ce qui peut expliquer les niveaux plus élevés de PM_{2.5}, notamment lors d'épisodes de pollution aux particules.

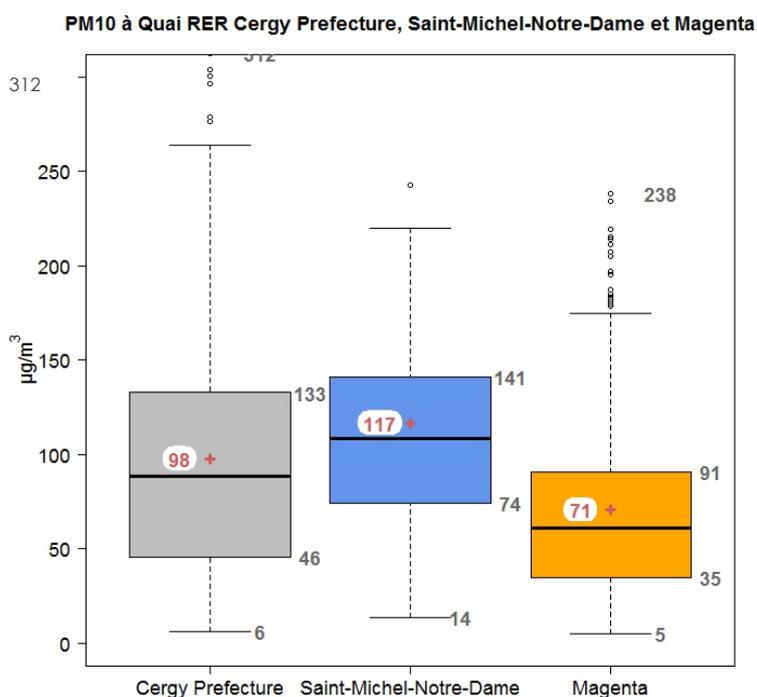
Le maximum de 1199 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame est dû à des travaux nocturnes dans cette gare.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare de Cergy-Préfecture, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, est représentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches.

Les boîtes à moustaches permettent de comparer facilement plusieurs grandeurs statistiques. Cette représentation graphique de la distribution d'une variable met en exergue les premier et troisième quartiles, qui sont les bordures inférieure et supérieure de la boîte rectangulaire. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane, et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en gare de Cergy-Préfecture montre une répartition « équilibrée »³ des mesures. En effet, 50 % des données horaires relevées à la gare de Cergy-Préfecture sont comprises entre 46 et 133 µg/m³, pour une moyenne de 98 µg/m³ et une médiane à 89 µg/m³. Le maximum atteint à Cergy-Préfecture est de 312 µg/m³ le 26/01/17 à 19h (heure de pointe du soir), lors de l'épisode de pollution aux particules ayant touché la région Ile-de-France du 21 au 26 janvier. La vignette à droite représente cette même boîte à moustaches avec une échelle automatique, permettant de visualiser le maximum horaire relevé à Saint-Michel-Notre-Dame : 1199 µg/m³ la nuit du 27/1 à 2h. Ce maximum correspond à des travaux de maintenance nocturne dans la station. Un second pic de 1109 µg/m³ a été observé la nuit du 26/1 à 4h, également lors de travaux de maintenance. Sans tenir compte de ces deux phases de travaux, la moyenne à Saint-Michel-Notre-Dame pendant la période de mesure serait de 107 µg/m³, soit 10 µg/m³ de moins.



³ Répartition équilibrée : la taille des moustaches (différence entre valeur minimale et percentile 25, et entre percentile 75 et valeur maximale hors valeur(s) aberrante(s)) présente un ordre de grandeur cohérent par rapport à la « boîte » (différence entre percentile 25 et percentile 75), ou encore la moyenne et la médiane sont présentes dans la boîte.

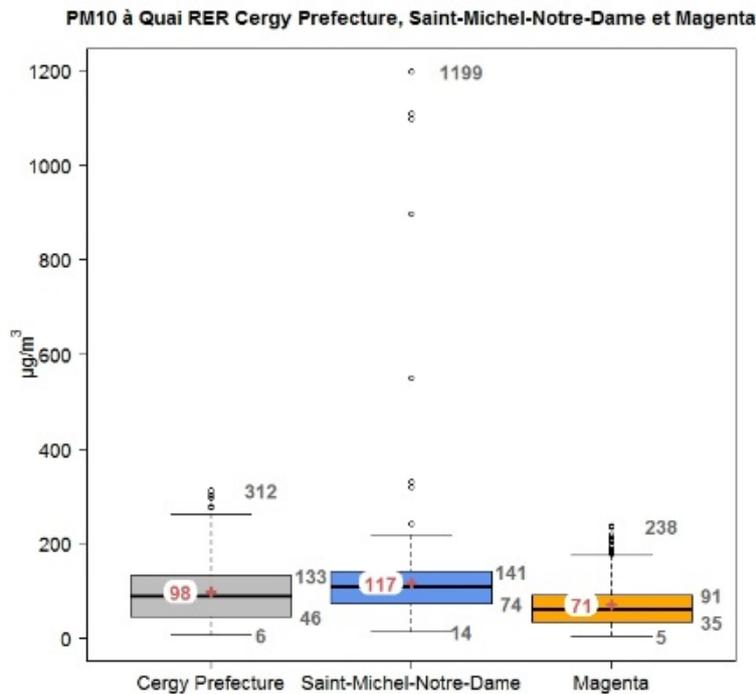


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 09/01/2017 au 29/01/2017.

Les concentrations en PM₁₀ à la gare de Cergy-Préfecture sont légèrement inférieures à celles de la gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (minima, moyennes, médianes, maxima), et supérieures à celles de la gare de Magenta (sauf pour les minima). Ces paramètres statistiques mettent en avant une dispersion un peu plus grande des concentrations sur le site de Cergy-Préfecture que sur les deux autres sites : à Cergy-Préfecture, 50 % des données se trouvent dans une fourchette de 46 – 133 µg/m³, pour une fourchette de 74 – 141 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame, et de 35 – 91 µg/m³ à Magenta.

La plus faible variabilité des mesures en gare de Magenta peut s'expliquer en partie par le système de ventilation contrôlée, plus performant et plus récent (1999) que dans les deux autres gares. La gare de Magenta est également plus grande (volume de mélange plus important).

Ces paramètres semblent plus influents que le nombre de trains en circulation : le nombre de trains circulant en gare de Cergy-Préfecture est de 3 à 4 fois moins important qu'à Magenta et à Saint-Michel-Notre-Dame.

C'est également vrai pour le nombre de voyageurs: 20 500 voyageurs par jour montant en gare de Cergy-Préfecture, contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78 212 à Magenta (source interne SNCF : carte des montants 2016).

2.1.2. PARTICULES PM_{2.5}

La boîte à moustaches des concentrations de PM_{2.5} relevées à la gare de Cergy-Préfecture est présentée Figure 4, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame.

La boîte à moustaches montre une moyenne supérieure à celle de Saint-Michel-Notre-Dame (58 µg/m³ en gare de Cergy-Préfecture, 48 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame), et double de celle de Magenta (29 µg/m³). La dispersion des données est également plus grande en gare de Cergy-Préfecture que dans les deux gares de référence, avec 50 % des données horaires comprises entre 29 et 82 µg/m³ à Cergy-Préfecture, contre une fourchette de 33 à 60 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame, et de 14 à 42 µg/m³ à Magenta.

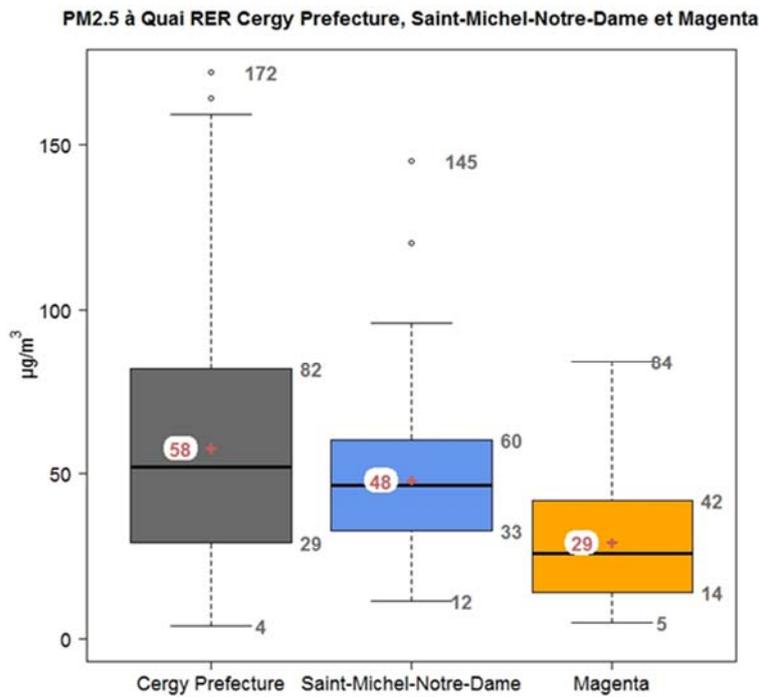


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ à la Gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 09/01/2017 au 29/01/2017.

Contrairement aux PM₁₀, les teneurs en PM_{2.5} en gare de Cergy-Préfecture dépassent celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare de Cergy-Préfecture est de 98 µg/m³ en particules PM₁₀ pendant la campagne et 58 µg/m³ pour les particules PM_{2.5}.

Les niveaux moyens en particules PM₁₀ en gare de Cergy-Préfecture sont inférieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (117 µg/m³ enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la **station Magenta** (71 µg/m³ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules PM_{2.5} en gare de Cergy-Préfecture sont supérieurs à ceux des deux stations de référence (48 µg/m³ enregistrés sur la même période à Saint-Michel-Notre-Dame et 29 µg/m³ enregistrés à Magenta).

Pour les PM₁₀, les maxima ont été enregistrés sur le quai de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, (331 µg/m³ hors travaux nocturnes de maintenance, 1199 µg/m³ pendant les travaux). En revanche pour les PM_{2.5}, les maxima ont été enregistrés à Cergy-Préfecture.

2.2 VARIABILITE TEMPORELLE

2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE

2.2.1.1. PARTICULES PM₁₀

Les relevés horaires des trois stations sont présentés à la Figure 5, avec deux échelles différentes (afin de voir d'une part les maxima, d'autre part pour pouvoir visualiser les fluctuations). Les fluctuations des niveaux observés à l'échelle horaire sont importantes entre la journée et la nuit. Cela s'explique par la fréquentation de la gare, aussi bien en termes de trains que de voyageurs : en journée, la circulation des trains engendre des émissions de particules et de la remise en suspension, phénomène non présent la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée.

Ainsi, à Cergy-Préfecture, les teneurs dépassent couramment 100 µg/m³ en journée, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de µg/m³, hors périodes éventuelles de travaux nocturnes ou d'épisodes de pollution.

La relation entre les niveaux observés et le nombre de trains en circulation est présenté au paragraphe 3.3 (paramètres techniques, trafic de la gare).

L'évolution temporelle des teneurs présente des profils globalement similaires dans les trois gares. Les teneurs maximales en gare de Cergy-préfecture sont enregistrées lors des pics de fréquentation, dépassant alors les niveaux enregistrés à Saint-Michel-Notre-Dame. Les week-ends, les concentrations sont plus élevées à Saint-Michel-Notre-Dame, car la gare est située dans le centre historique de Paris.

Des pics de PM₁₀ ont été enregistrés à Saint-Michel-Notre-Dame les nuits des 26 et 27 janvier, en lien avec de travaux nocturnes de maintenance. Ceci a influencé la moyenne sur la période totale de mesure à la station Saint-Michel-Notre-Dame.

Les 27, 28 et 29 janvier (vendredi, samedi, dimanche), les concentrations ont été très élevées à Magenta. Cette hausse peut avoir plusieurs origines, notamment un dysfonctionnement dans le système de ventilation de confort.

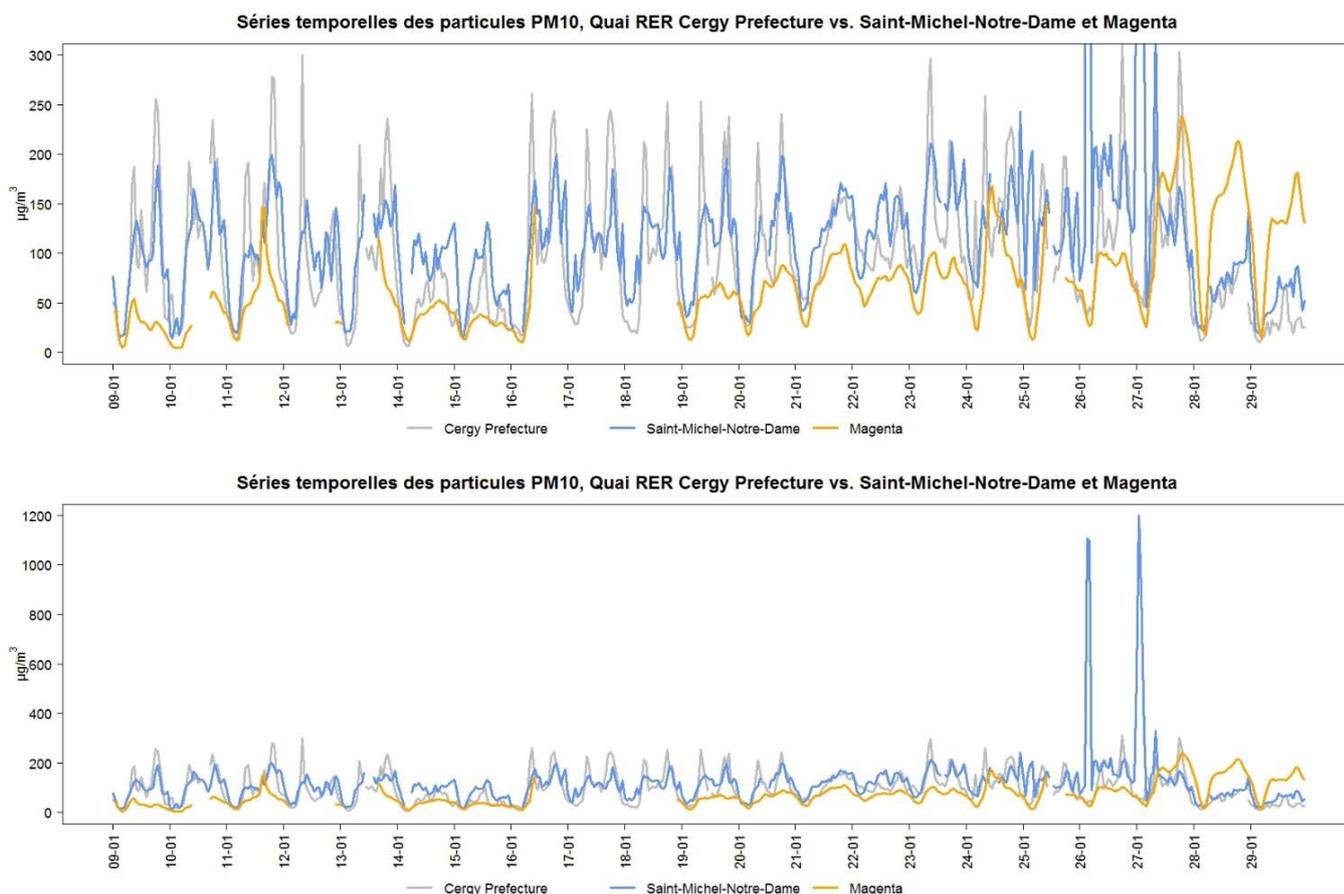


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare de Cergy-Préfecture et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 09/01/2017 au 29/01/2017. (Echelle maximale à 300 µg/m³ en haut, à 1200 µg/m³ en bas)

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

Les relevés horaires, présentés en Figure 6, montrent des fluctuations importantes entre la journée et la nuit, en lien, comme pour les PM₁₀, avec la fréquentation de la gare (trains et voyageurs, cf. paragraphe 3.3). Ainsi, en gare de Cergy-Préfecture en journée, les teneurs en PM_{2,5} peuvent avoisiner 100 µg/m³ aux heures de pointe, alors que la nuit, les niveaux sont 2 à 3 fois plus faibles.

L'évolution temporelle des teneurs présente des profils globalement similaires dans les trois gares, avec de plus forts niveaux aux heures de pointe à Cergy-Préfecture. Comme pour les PM₁₀, les niveaux de PM_{2,5} ont été plus élevés à Magenta que dans les deux autres gares le 27 janvier et tout le week-end du 28 et 29 janvier.

En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à Cergy-Préfecture (172 µg/m³ (le 23 janvier) contre 145 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame et 84 µg/m³ à Magenta (le 27 janvier)).

L'épisode de pollution du 21 au 26 janvier semble impacter davantage les niveaux de PM_{2,5} que les niveaux de PM₁₀ (Cf. § 3.1. Influence de la qualité de l'air extérieur).

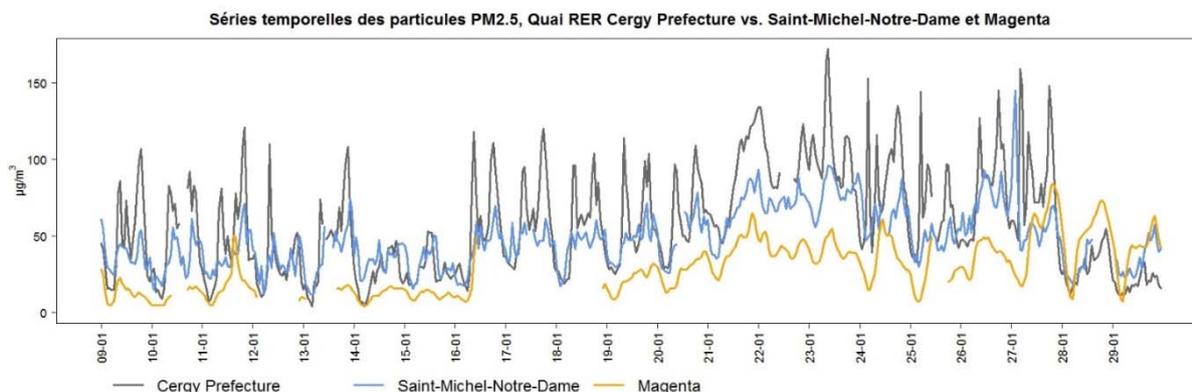
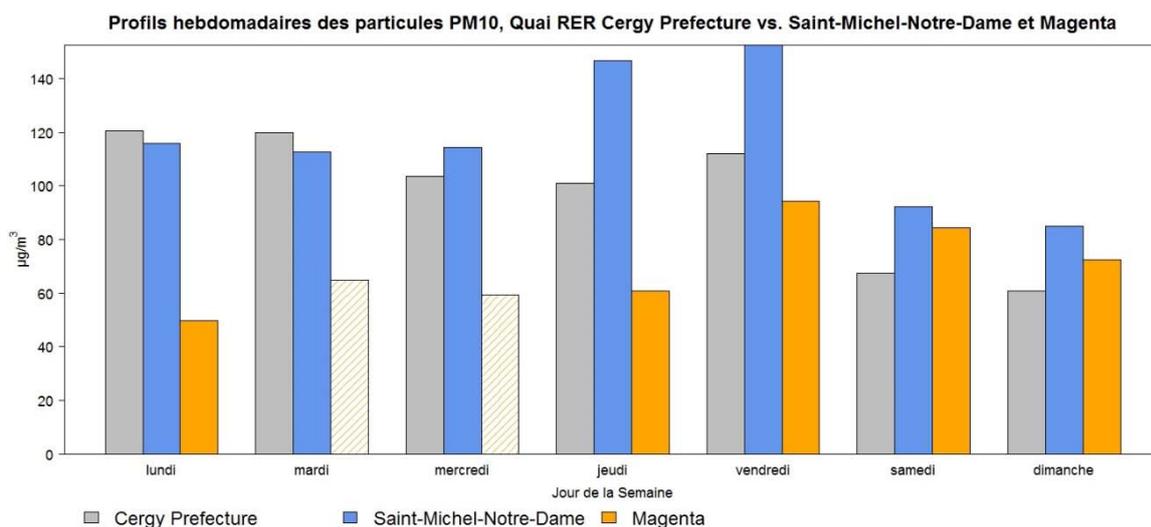


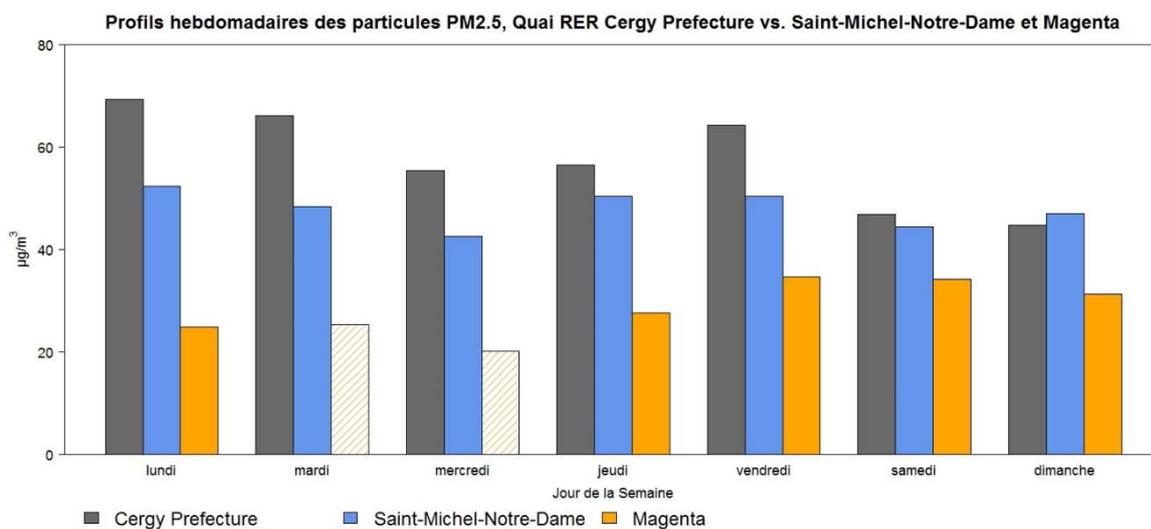
Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ (gare de Cergy-Préfecture et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 09 au 29/01/2017.

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Cergy-Préfecture sont présentés à la Figure 7 pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09 au 29/01/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

Les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés en gare de Cergy-Préfecture (autour de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une journée pour les PM_{10} , $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne pour les $\text{PM}_{2.5}$). Ils diminuent les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés, de l'ordre de 42 % pour les PM_{10} et de 26 % pour les $\text{PM}_{2.5}$.

Ces résultats sont en lien direct avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end, facteur ayant davantage d'influence sur les PM_{10} que sur les $\text{PM}_{2.5}$.

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

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

NB : Les données en gare de Magenta sont en nombre insuffisant pour fournir certaines moyennes horaires représentatives pour un profil journalier moyen (valeurs hachurées sur les graphiques).

Les particules PM_{10} et les particules $\text{PM}_{2.5}$ ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés pour les deux types de particules le matin (8-10h) et le soir (17h - 21h), ce qui est un peu plus précoce qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, où les heures de pointe ont lieu entre 10 et 11h le matin, et entre 18 et 20h le soir.

En heure de pointe, les niveaux en gare de Cergy-Préfecture sont en moyenne de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} et $94 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2.5}$. Sur ces périodes, les concentrations moyennes horaires enregistrées en gare de Cergy-Préfecture dépassent celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

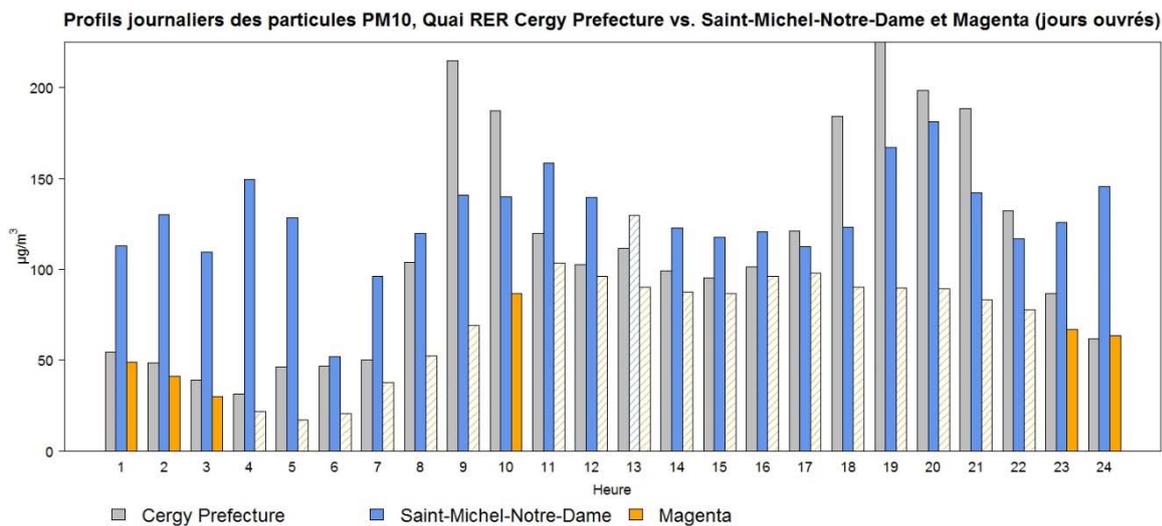
En moyenne sur les périodes 8h-11h et 17h-21h, les teneurs à Cergy Préfecture dépassent celles de Saint-Michel-Notre-Dame de 25 % pour les PM_{10} et 65% pour les $\text{PM}_{2.5}$. Il faut retenir que les niveaux de $\text{PM}_{2.5}$ sont particulièrement élevés à Cergy-Préfecture aux heures de pointe. Ils peuvent être dus au trafic routier de surface (en partie sous dalle), par exemple si le système de ventilation en place aspire l'air frais à l'extérieur. Une influence liée aux caractéristiques des rames de la ligne L semble moins probable, le trafic ferroviaire étant plutôt générateur de PM_{10} quel que soit le type de rame.

Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 6h), lors de la fermeture de la gare au public ($45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne pour les PM_{10} , et environ $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2.5}$ à Cergy-Préfecture), contrairement à ce qui est observé à Saint-Michel-Notre-Dame, où le profil nocturne est élevé en lien avec les travaux de nuit réalisés pendant cette période.

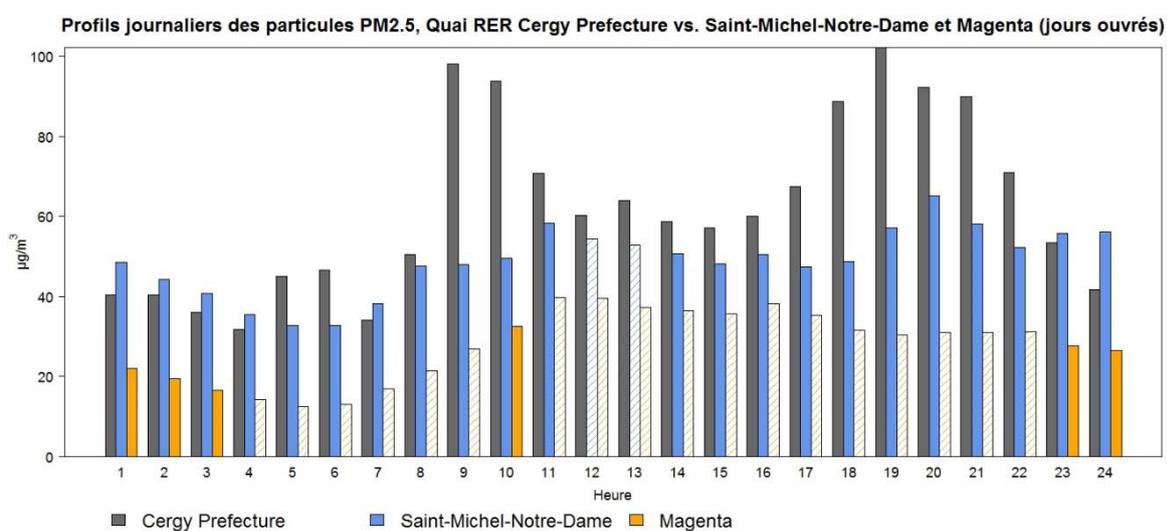
Ces profils journaliers en particules (PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$) fluctuent en fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire est également maximale (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE)

Ce constat, observable à la gare de Cergy-Préfecture, l'est également aux gares de référence (Saint-Michel-Notre-Dame en particulier, le profil de Magenta n'étant pas représentatif, faute de données suffisantes).

Le profil journalier en $\text{PM}_{2.5}$ présente des variations horaires moindres (en valeur absolue) que celui des PM_{10} , différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent la fraction la plus grossière des particules. Cela peut également s'expliquer en partie par un temps de déposition différent entre les particules (temps plus court pour les plus grosses particules, plus lourdes).



(a)



(b)

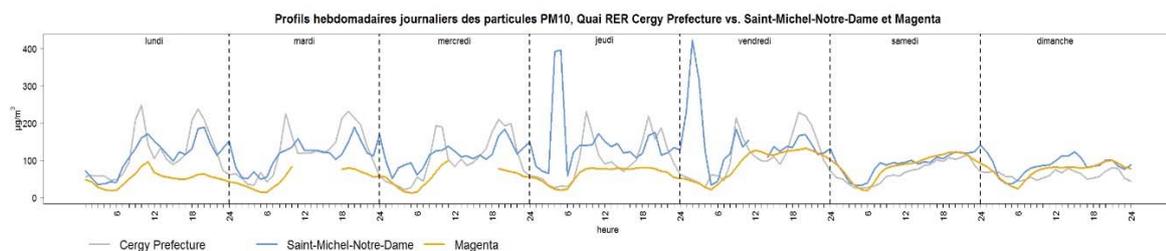
Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09 au 29/01/2019 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

2.2.3.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

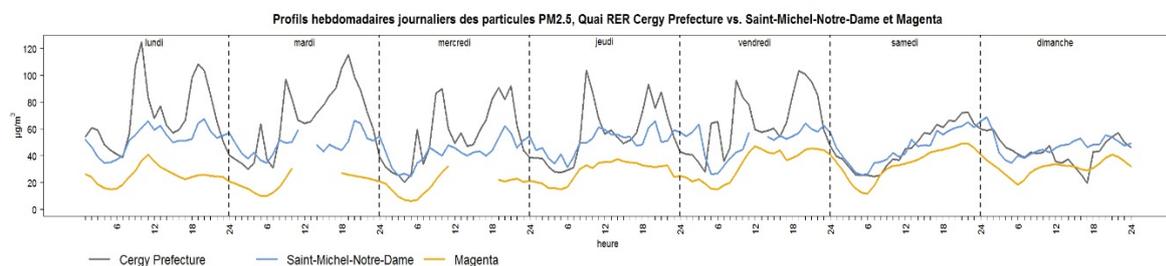
Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne sur les trois semaines de la campagne) est présenté en Figure 9. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM₁₀ et les PM_{2.5}, aussi en bien en gare de Cergy-Préfecture qu'aux stations de référence. Les variations montrent d'une part les fluctuations les jours ouvrés (niveaux les plus faibles la nuit, puis hausse des teneurs en journée avec les maxima aux heures de pointe) et les niveaux plus faibles les samedis et dimanches, avec une atténuation des niveaux habituellement observés aux heures de pointe des jours ouvrés.

Comme mentionné précédemment, les niveaux moyens plus élevés à Saint-Michel-Notre-Dame les nuits des jeudi et vendredi sont dus à des travaux nocturnes les 26 et 27 janvier.

Les niveaux de PM_{2.5} sont particulièrement élevés à Cergy-Préfecture, sauf le week-end où ils sont globalement voisins de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM_{10} (a) et $PM_{2.5}$ (b) à la gare de Cergy-Préfecture, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 29/01/2017.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine. A Cergy-Préfecture, la diminution est de 42 % pour les PM_{10} et de 26 % pour les $PM_{2.5}$, en lien avec la baisse de fréquentation le week-end.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 6h) sont les plus faibles, avec en moyenne, à Cergy-Préfecture, $45 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} et $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2.5}$. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale, entre 8h et 10h le matin et entre 17h et 21h le soir. Les concentrations sur le quai de Cergy-Préfecture atteignent un maximum horaire de $225 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} et $102 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $PM_{2.5}$. Il apparaît que les relevés en PM_{10} et $PM_{2.5}$ lors des périodes de pointe en gare de Cergy-Préfecture sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame : de l'ordre de 25 % pour les PM_{10} et 65 % pour les $PM_{2.5}$.

Les niveaux de $PM_{2.5}$ à Cergy-Préfecture sont plus élevés que ceux relevés dans les deux gares de référence. Cela pourrait être lié aux émissions du trafic routier en surface (présence d'une gare routière en partie sous dalle à Cergy-Préfecture, mais également des voies de circulation à fort trafic, elles-mêmes en partie sous dalle).

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes ferroviaires souterraines, notamment des systèmes de freinage⁴, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de Cergy-Préfecture chaque jour ouvré pendant une semaine (du 9 au 13 janvier). Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h. Des mesures à la station de Saint-Michel-Notre-Dame ont été réalisées en parallèle, selon le même protocole.

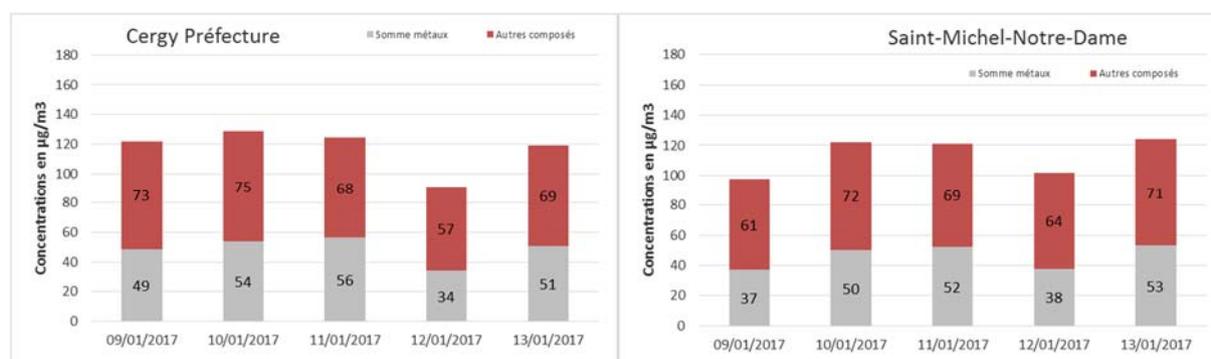
Dix métaux ont été étudiés : Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature⁴.

2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Le graphique suivant (Figure 10) montre la part de métaux enregistrée dans les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure, en gare de Cergy-Préfecture et de Saint-Michel-Notre-Dame.

En gare de Cergy-Préfecture, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 34 µg/m³ (le 12/01/17) à 56 µg/m³ (le 11/01/17). En comparaison avec la concentration en particules PM₁₀ enregistrée les mêmes journées, la part des métaux varie de 37 % à 45 %.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la somme des métaux a varié dans les mêmes proportions qu'à la gare de Cergy-Préfecture, entre 37 µg/m³ (le 09/01/17) et 53 µg/m³ (le 13/01/17). La part de métaux a varié de 37% (le 12/01/17) à 43% (le 13/01/17).



⁴ Pollution chimique de l'air dans les enceintes de transports ferroviaires souterrains et risques sanitaires associés chez les travailleurs, Avis de l'Anses, Rapport d'expertise collective – Septembre 2015, Edition scientifique.

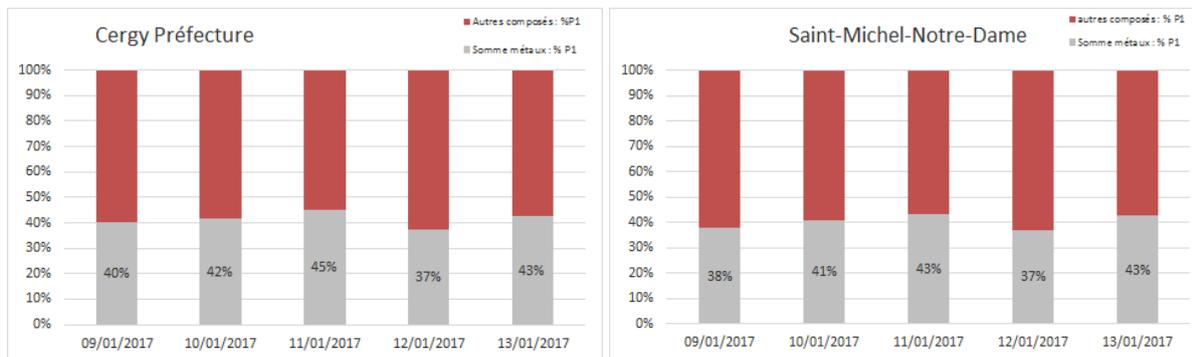


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement (en concentration et en % de particules PM₁₀), à la gare de Cergy-Préfecture et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 13/01/2017.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 09 et le 13/01/2017, aussi bien en gare de Cergy-Préfecture qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

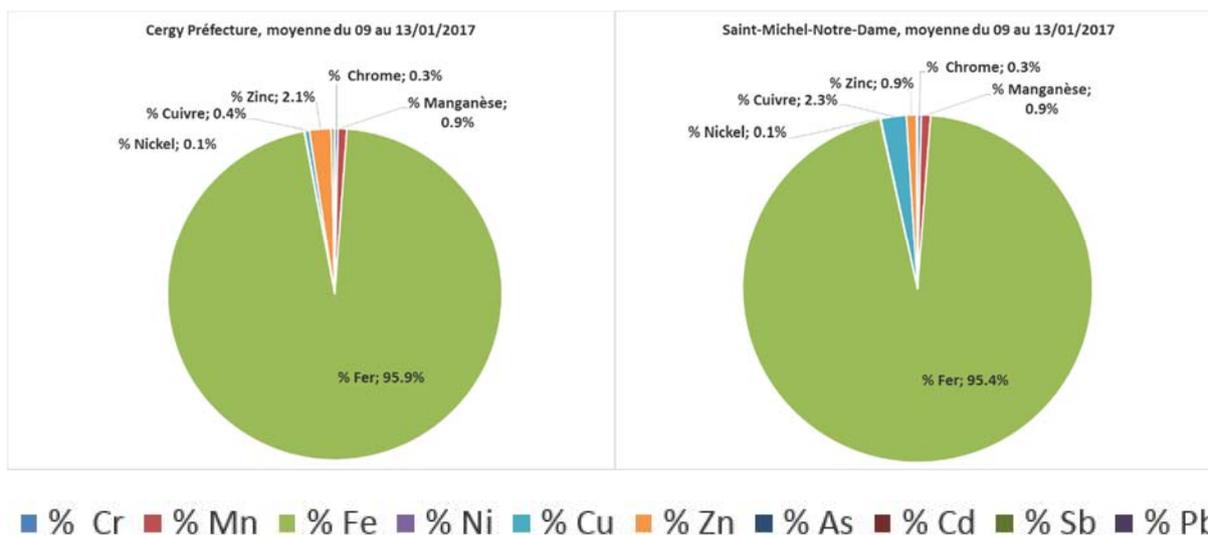


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 09 au 13/01/2017, en gare de Cergy-Préfecture et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

La contribution moyenne de chaque métal diffère peu entre Cergy-Préfecture et Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente 96 % des métaux mesurés à Cergy-Préfecture, et 95 % à Saint-Michel-Notre-Dame (chiffre stable par rapport aux mesures réalisées dans les gares précédentes).

En dehors du fer, les métaux dont les parts sont les plus importantes sont le **Zinc** à Cergy-Préfecture (2.1 % pour 0.9 % à Saint-Michel-Notre-Dame), et le **Cuivre** à Saint-Michel-Notre-Dame (2.3 % pour 0.4 % à Cergy-Préfecture). Le **Manganèse**, le **Chrome** et le **Nickel** représentent respectivement 0.9 %, 0.3 % et 0.1 % des métaux dans les deux gares. La part de Zinc à Cergy-Préfecture est 2 à 3 fois plus élevée qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, et inversement, la part de Cuivre à Saint-Michel-Notre-Dame est 5 à 6 fois plus élevée qu'à Cergy-Préfecture.

Les proportions en **Arsenic**, **Cadmium**, **Antimoine** et **Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Cergy-Préfecture ou à Saint-Michel-Notre-Dame.

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Cergy-Préfecture et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure.

La part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure, excepté pour les métaux suivants :

- le Zinc à Cergy-Préfecture, avec un écart maximal à la moyenne de 38 % le 12 janvier ;
- le Cuivre à Saint-Michel-Notre-Dame, avec un écart maximal à la moyenne de 43 % le 9 janvier.

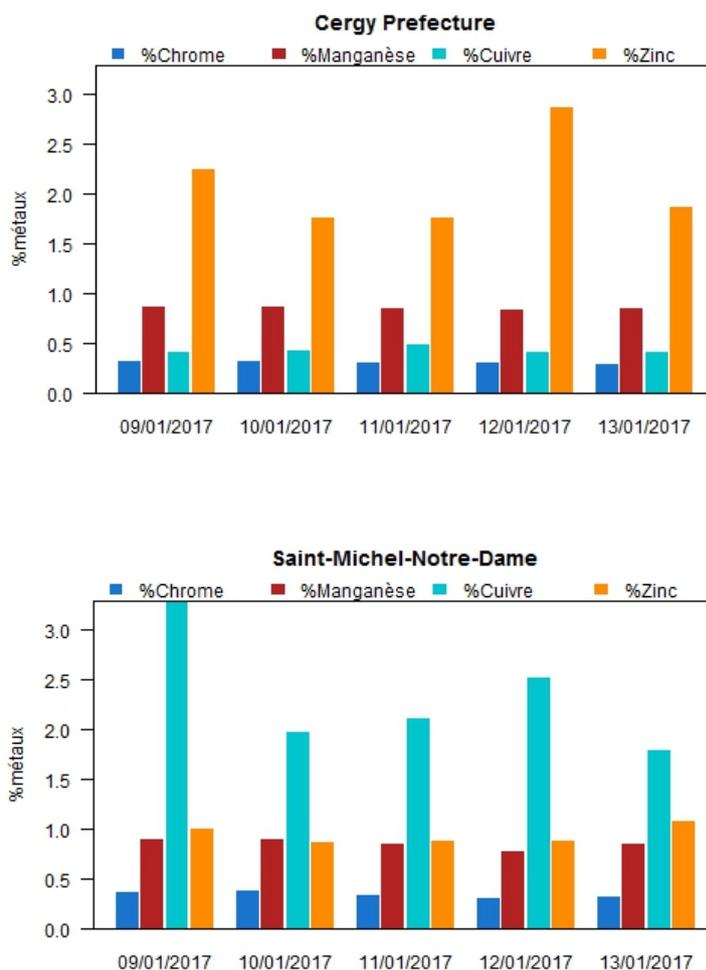


Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare de Cergy-Préfecture et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 13/01/2017.

La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium. Bien qu'en très faible concentration, il apparaît que la part d'Antimoine est plus élevée à Cergy-Préfecture qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.



Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare de Cergy-Préfecture et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 13/01/2017.

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, Aluminium, Silicium, Chrome, Plomb, Cuivre, Nickel, Antimoine) peuvent être présents dans les semelles de frein.
- Les émissions lors du roulage. Les principaux composés des rails ou encore des roues sont le Fer, le Chrome, le Nickel ou encore le Manganèse.

La principale source de Fer dans les enceintes ferroviaires souterraines est l'usure des rails par friction (lors du freinage, mais également lors de la circulation des trains). Le Fer peut également être présent dans les semelles de frein.

Le Cuivre peut être présent dans les câbles d'alimentation. Dans les enceintes ferroviaires souterraines, il est alors émis lors du contact entre les pantographes et les caténaires (système

d'alimentation). Il peut également être présent dans les semelles de frein et par conséquent il peut être émis lors du freinage.

Les métaux présents sont cohérents avec les sources identifiées et les résultats de la littérature. L'analyse bibliographique dans les réseaux ferroviaires français (hors réseau francilien) met en avant le Fer comme élément dominant, suivi du Cuivre, du Zinc, de l'Antimoine et du Manganèse.

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

2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 14) présente les concentrations observées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Cergy-Préfecture et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame.

Les teneurs en **Fer** sont très proches entre les deux sites de mesure : les moyennes journalières ont varié entre 32 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (12/01/2017) et 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11/01/2017) en gare de Cergy-Préfecture, soit une moyenne sur la période de mesure de 47 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Elles ont varié entre 35 et 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame, soit une moyenne sur la période de mesure de 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ces niveaux sont essentiellement liés aux concentrations de particules PM_{10} observées sur les deux sites, car la part des métaux dans les PM_{10} est plutôt stable sur la période de mesure.

Les teneurs, en Fer et en particules PM_{10} , ont été un peu plus faibles à Cergy-Préfecture et à Saint-Michel-Notre-Dame le 12 janvier.

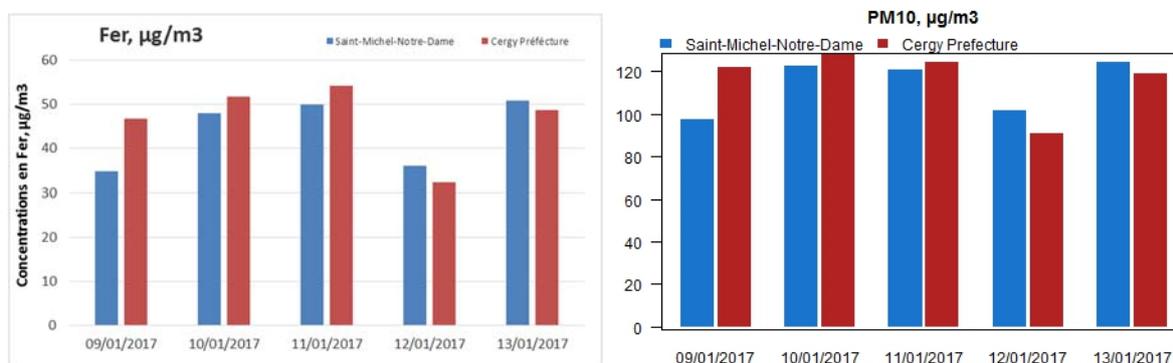


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer à la gare de Cergy-Préfecture et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 13/01/2017.

Quatre métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m^3 à un millier de ng/m^3 . Il s'agit du **Chrome**, du **Manganèse**, du **Cuivre** et du **Zinc**. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 142 à 273 ng/m^3 à Cergy-Préfecture, et de 947 à 1222 ng/m^3 à Saint-Michel-Notre-Dame, soit environ 5 fois plus.

Les teneurs journalières en **Zinc** ont varié de 947 à 1097 ng/m^3 à Cergy-Préfecture, et de 331 à 571 ng/m^3 à Saint-Michel-Notre-Dame, soit environ 2 fois moins.

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié de 282 à 478 ng/m^3 à Cergy-Préfecture, et de 296 à 452 ng/m^3 à Saint-Michel-Notre-Dame, elles sont relativement proches.

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 101 et 189 ng/m^3 , les teneurs étant proches entre les deux gares.

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers varient :

- Entre 25 et 41 ng/m³ pour le Nickel,
- Entre 18 et 28 ng/m³ pour le Plomb.
- Entre 72 et 208 ng/m³ pour l'Antimoine,
- Entre 3 et 5 ng/m³ pour l'Arsenic,
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m³.

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare de Cergy-Préfecture varie de 37 à 45 % sur la semaine de mesure.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 95 % des métaux mesurés à Cergy-Préfecture, comme à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame.

Viennent ensuite le **Zinc** (2.1 % à Cergy-Préfecture), le **Manganèse** (0.9%), le **Cuivre** (0.4 %), le **Chrome** (0.3 %), et le **Nickel** (0.1%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La part de Cuivre est plus importante à Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Cergy-Préfecture, et inversement les parts de Zinc et d'Antimoine sont plus élevées à Cergy-Préfecture qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Cela provient vraisemblablement de la constitution des éléments métalliques, fixes ou mobiles, présents dans ces deux gares.

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

La part relative des $PM_{2.5}$ et des PM_{10} peut servir à identifier des sources de particules différentes.

2.4.1. NIVEAUX MOYENS

Les particules émises par le trafic ferroviaire (passage des trains, freinage, remise en suspension) sont de grosse taille.

Le ratio entre particules très fines ($PM_{2.5}$) et particules fines (PM_{10}) est présenté à la Figure 15. En moyenne, en gare de Cergy-Préfecture, le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est de 0,66. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,50 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,45 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ en gare de Cergy-préfecture est ainsi plus proche de celui de l'air extérieur que de celui des deux stations de référence. Cela s'explique par des concentrations en particules $PM_{2.5}$ relativement plus élevées dans la gare de Cergy-Préfecture que dans les stations de référence (Cf. Figure 4), en lien avec une influence plus importante de l'air extérieur dans cette gare.

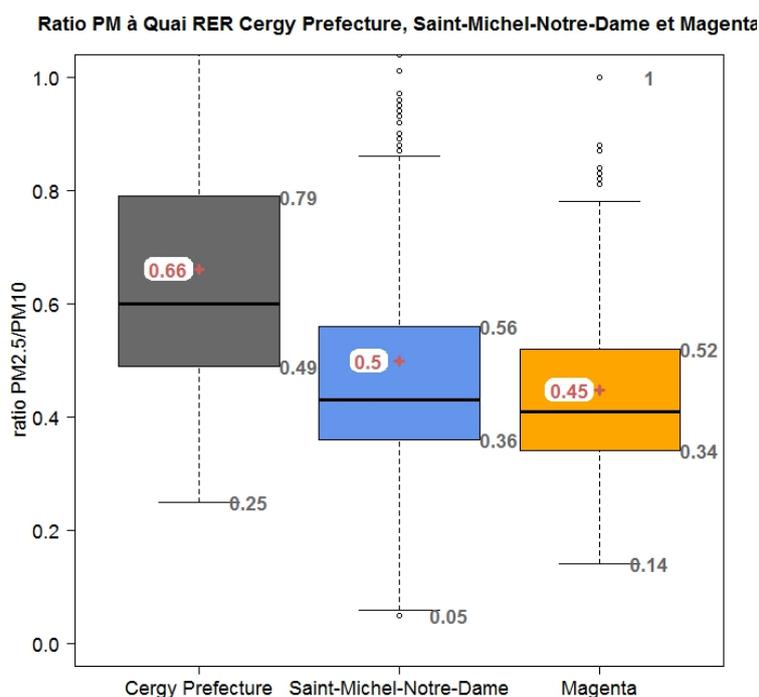


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en $PM_{2.5}/PM_{10}$, à la Gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 29/01/2017.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires des ratios horaires de $PM_{2.5}/PM_{10}$ sont présentés à la Figure 16. Ils sont plus élevés à Cergy-Préfecture, en raison des niveaux de $PM_{2.5}$ plus élevés dans cette gare.

Ils montrent par ailleurs une certaine stabilité des ratios en semaine, et une légère augmentation le samedi, puis le dimanche : à Cergy-Préfecture, ils varient de 0,6 à 0,7 en semaine, et de 0,7 à 0,8 le week-end ; à Saint-Michel-Notre-Dame, ils varient de 0,4 à 0,6 en semaine, et de 0,5 à 0,6 le week-end. Cela marque des sources stables en $PM_{2.5}$ et PM_{10} , en semaine.

L'augmentation des ratios le week-end est liée à la baisse de fréquentation des gares, ce qui entraîne une diminution des particules, mais plus importante pour les plus grosses PM_{10} par rapport aux plus fines particules ($PM_{2.5}$), d'où un ratio plus élevé.

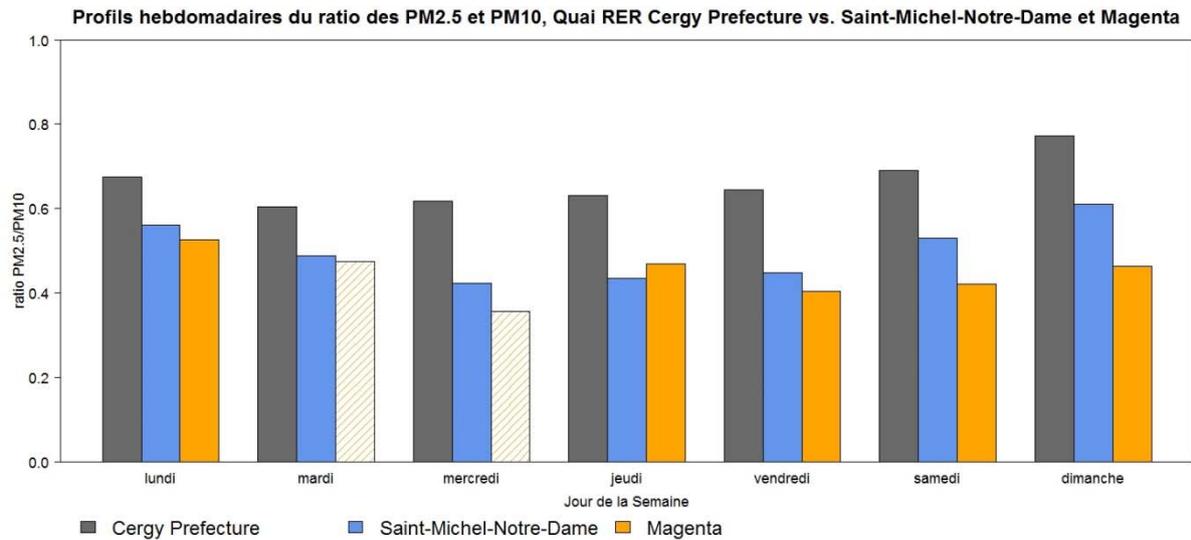


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 09 au 21/01/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les profils hebdomadaires du ratio horaire $PM_{2.5}/PM_{10}$ (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentés à la Figure 17. Les profils sont proches à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta. Ils sont un peu supérieurs à Cergy-Préfecture, en raison des concentrations de $PM_{2.5}$ plus élevées dans cette gare.

En termes de variation, les profils des ratios sont stables en journée, ils augmentent la nuit dans les trois gares, lorsque l'activité de la gare est nulle (trains, voyageurs) : les particules PM_{10} se déposent au sol et les concentrations en PM_{10} diminuent fortement pour se rapprocher de celles de $PM_{2.5}$. Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules PM_{10} et les $PM_{2.5}$, peut également expliquer en partie ces différences.

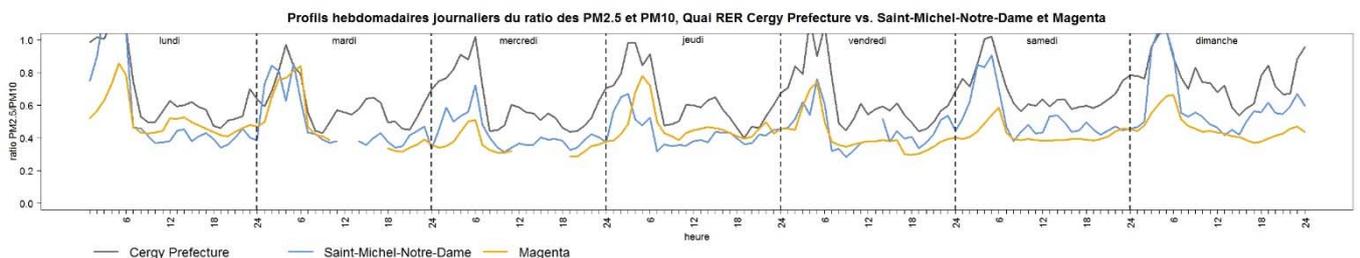


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence, période du 09 au 29/01/2017.

Les profils moyens journaliers sont présentés à la Figure 18. Une légère diminution des ratios est observée aux heures de pointe (7h – 10h ; 17h – 21h), en raison de la hausse de particules PM_{10} liée à la plus forte fréquence de trains et au plus grand nombre d'usagers : environ 0.5 aux heures de pointe, pour 0.6 en journée. La nuit (entre 0h et 6h, lors de la fermeture au public), les ratios augmentent progressivement, pour atteindre 1 à Cergy-Préfecture. Dans cette gare, les ratios augmentent aux heures creuses beaucoup plus que dans les gares de référence, ce qui indique une influence plus importante de l'air extérieur.

Profils journaliers du ratio des PM2.5 et PM10, Quai RER Cergy Prefecture vs. Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta (jours ouvrés)

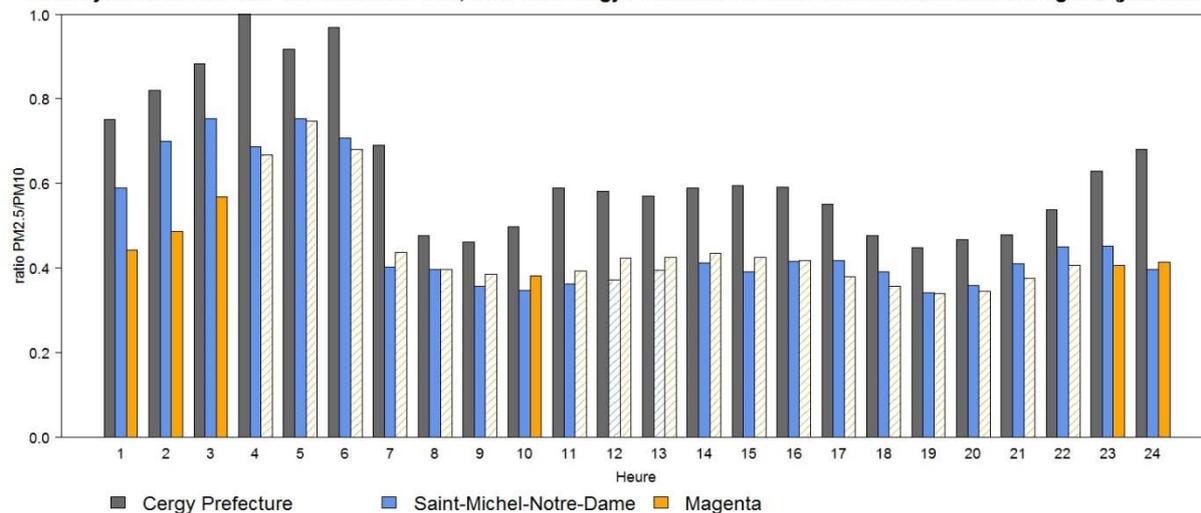


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare de Cergy-Préfecture et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 09 au 29/01/2017 – jours ouvrés.
En hachuré, données disponibles < 75%

Le ratio moyen $PM_{2.5}/PM_{10}$ atteint 0,66 à Cergy-Préfecture, contre 0,50 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0.45 à Magenta.

Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ est relativement stable à l'échelle hebdomadaire sur les trois gares, avec une tendance légère à la hausse les week-ends.

A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio entre 0,4 et 0,5 en journée, qui augmente la nuit, jusqu'à 1 à Cergy-Préfecture, lorsque les particules PM_{10} se déposent au sol et que leurs concentrations diminuent fortement, du fait de l'arrêt de l'activité dans la gare, pour se rapprocher de celles de $PM_{2.5}$.

3. FACTEURS D'INFLUENCE

3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR

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

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

Pendant cette campagne de mesure, les paramètres météorologiques enregistrés ont été globalement conformes à ceux observés habituellement au cours d'un mois de janvier. Les conditions météorologiques étaient de type dépressionnaire du 9 au 15 janvier, puis de type anticyclonique du 16 au 27 : flux d'est peu dispersif (vents très faibles, inversions de température et faible hauteur de mélange), températures négatives, ensoleillement jusqu'au 24, hautes pressions (jusqu'à 1040 hPa). C'est au cours de cette période anticyclonique qu'a eu lieu l'épisode de pollution aux particules sur la région Ile de France, du 21 au 26 janvier.

ZOOM SUR L'EPISODE DE POLLUTION

Les conditions météorologiques de cette période se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁵, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible du 9 au 16 janvier, moyen du 17 au 19, et élevé du 20 au 26, pour diminuer à partir du 27 (Cf. Figure 19).

L'épisode de pollution a donné lieu à 6 jours d'indice « élevé ». Cet épisode s'est traduit par des concentrations en particules PM₁₀ dans l'air ambiant extérieur plus importantes que la normale, au-delà du seuil d'information (les 24 et 26 janvier) et du seuil d'alerte (du 21 au 23 janvier).

La comparaison des moyennes pendant l'épisode de pollution par rapport aux moyennes hors épisode montre que les PM₁₀ ont augmenté de 30 et 40 % dans les gares de Cergy-Préfecture et Saint-Michel-Notre-Dame, pour 10 % seulement à Magenta. Cette dernière semble la moins influencée par l'air extérieur pendant l'épisode. Pour les PM_{2,5}, les niveaux en gare de Cergy-Préfecture ont été de près de 90 % supérieurs aux relevés hors épisode, pour 65 % à Saint-Michel-Notre-Dame, et 50 % à Magenta. Dans le même temps, les niveaux des stations de fond en air ambiant du réseau de mesure permanent ont été multipliés par un facteur 2 à 3.

⁵ http://www.airqualitynow.eu/fr/about_indices_definition.php : A travers une échelle de 5 couleurs allant du vert au rouge en passant par l'orange (5 classes et 5 qualificatifs, qualité de l'air " très faible " à " très élevée "), l'indice CITEAIR informe sur la qualité de l'air en situation de fond à travers un indice général. Les polluants pris en compte sont les polluants les plus problématiques, à savoir le NO₂, les PM₁₀ et l'ozone. Les données de CO, PM_{2,5} et SO₂ sont facultatives.



Période de mesure Episode de pollution

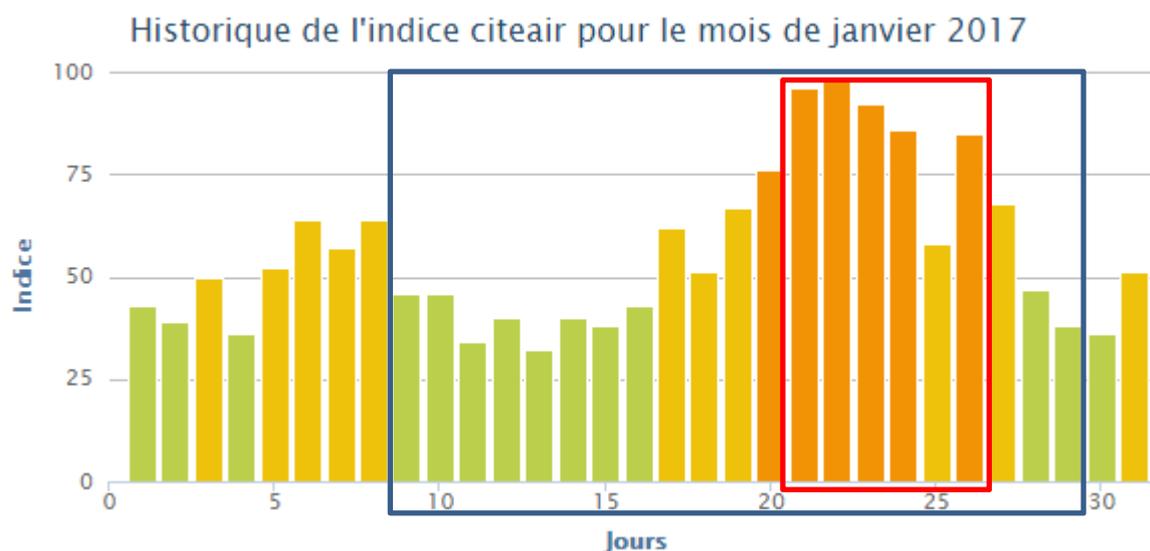
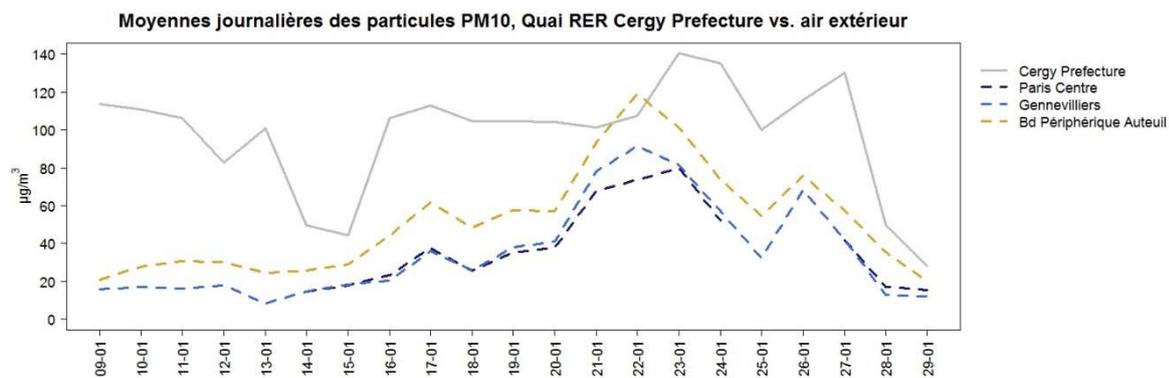
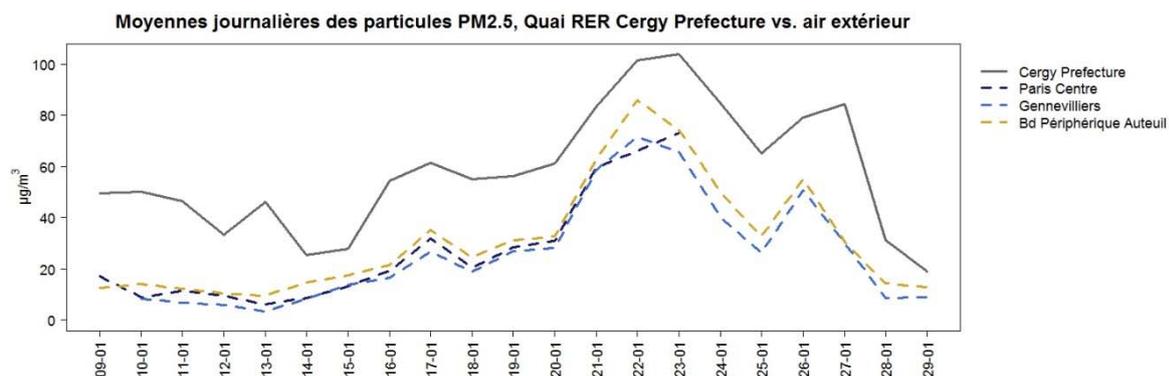


Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour le mois de janvier 2017.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Cergy-Préfecture avec les niveaux enregistrés en air extérieur (mesures à certaines stations du réseau permanent d'Airparif), est présentée à la Figure 20, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2.5}. Les teneurs moyennes en PM_{2.5} enregistrées sur le quai à Cergy-Préfecture sont liées aux niveaux enregistrés en air extérieur. Malgré l'absence d'un système de ventilation contrôlée, la faible profondeur du quai (situé au 1^{er} sous-sol) permet à l'air extérieur de descendre jusqu'aux quais via les entrées/sorties de la gare, et les conduits d'aération. Pour les PM₁₀, l'influence de l'air extérieur n'est pas perceptible, les niveaux mesurés sur le quai sont principalement liés aux sources spécifiques de la gare.



(a)



(b)

Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM₁₀ (a) et en PM_{2.5} (b) en gare de Cergy-Préfecture et en air extérieur (situation de fond), période du 09 au 29/01/2017.

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en CO₂, un indicateur du renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources (combustion, respiration humaine). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les relevés horaires sont présentés à la Figure 21. La température moyenne en gare de Cergy-Préfecture est de 10°C, les relevés horaires ayant varié entre 5 et 14°C (2°C de moins en moyenne qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, en raison de l'influence plus importante de l'air extérieur, et de la localisation en Grande Couronne de la gare de Cergy-Préfecture). L'humidité relative moyenne en gare de Cergy-Préfecture est de 51%, les relevés horaires ayant varié de 37% à 77%. Ces relevés sont proches de ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO₂ sont plus fluctuants que ceux de la température et de l'humidité. À Cergy-Préfecture, en moyenne de 515 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 409 ppm et 676 ppm. À Saint-Michel-Notre-Dame, ils varient de 404 à 717 ppm (moyenne : 486 ppm). Les variations des concentrations de CO₂ sont plus faibles dans la gare de Cergy-Préfecture, en revanche, les niveaux moyens sont de 6 % plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, où l'heure de pointe du soir est plus marquée. Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, seuil à respecter pour des conditions normales d'occupation d'un bâtiment non résidentiel⁶.

⁶ Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.

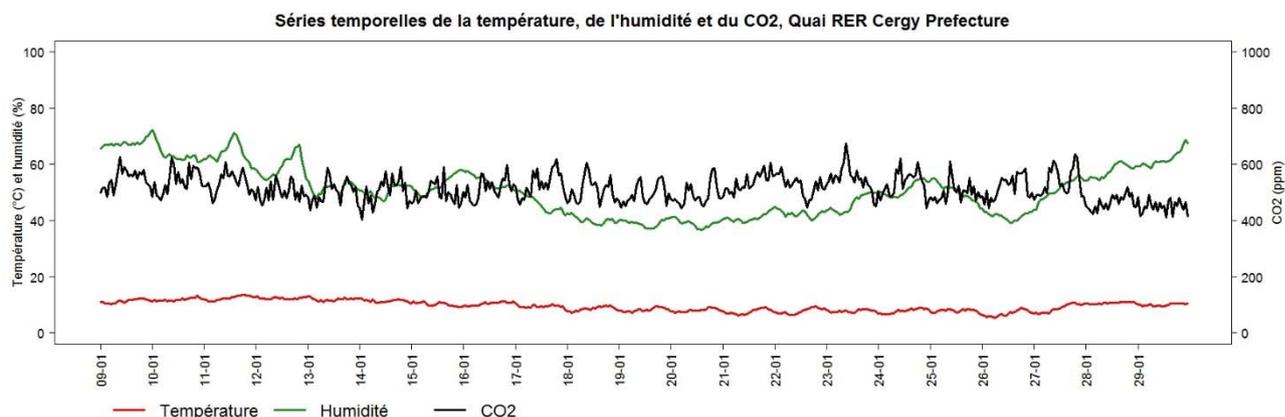


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09 au 29/01/2017.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés (cf. Figure 22) montre que, malgré un léger décalage, les teneurs maximales de ces deux paramètres sont observées aux heures de pointe.

Le coefficient de corrélation entre les niveaux horaires de PM₁₀ et de CO₂ est de 0.64.

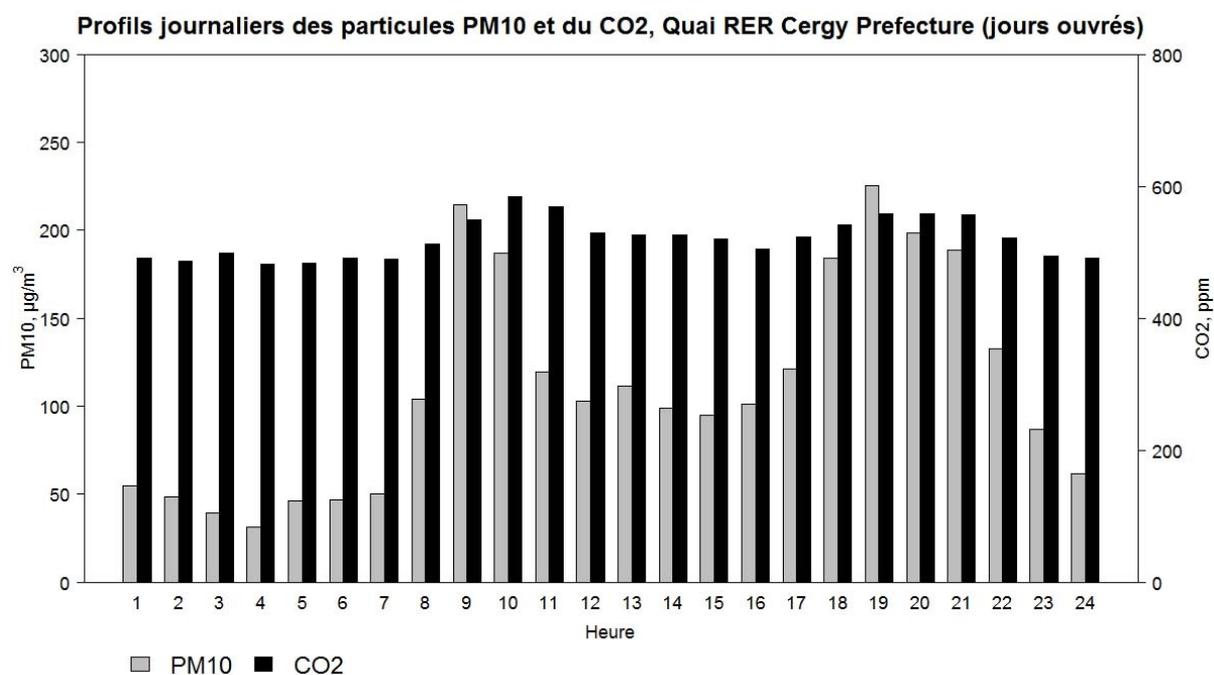


Figure 22 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare de Cergy-Préfecture période du 09 au 29/01/2017 - jours ouvrés.

3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

Certains paramètres techniques de la gare, tels que la fréquence des trains, la ventilation de la gare ou encore des perturbations du trafic, doivent être pris en compte en tant que potentiel explicatif des niveaux de particules.

La gare de Cergy-Préfecture, inaugurée en 1979, bénéficie d'une ventilation non contrôlée, moins performante que celle de la gare de Magenta, mise en service en 1999.

Le nombre théorique de trains circulant en gare de Cergy-Préfecture pendant la campagne de mesure (et aux stations de référence) a été transmis par SNCF Gares d'Ile-de-France, selon différentes périodes : JOB (jours ouvrés du mardi au jeudi), samedi et dimanche.

En moyenne, les jours ouvrés, 235 trains circulent en gare de Cergy-Préfecture (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 104 trains qui ont circulé en gare de Cergy Préfecture (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 104 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres pour la gare de Cergy Préfecture, par créneau horaire, sont présentés en Figure 23.

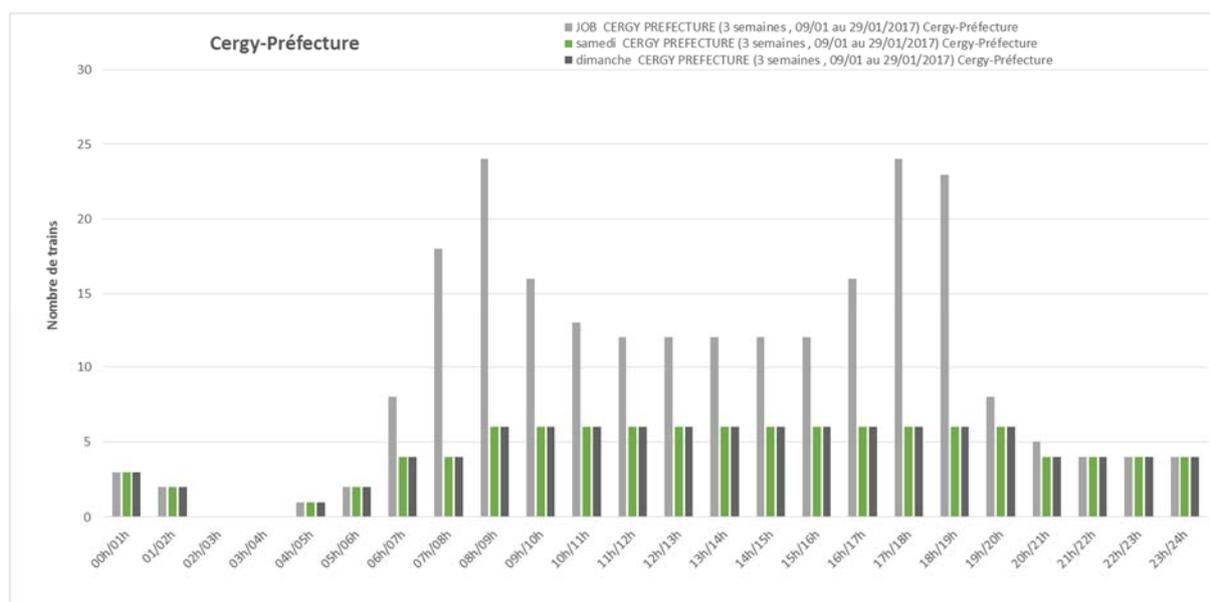


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09 au 29/01/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules PM_{10} à l'échelle journalière est présenté à la Figure 24, pour les jours ouvrés en gare de Cergy-Préfecture. Le profil des teneurs en particules PM_{10} est clairement corrélé au nombre de trains en circulation.

Un décalage d'une heure apparaît, qui peut s'expliquer par un effet de retard dans la dispersion des particules, et d'accumulation des concentrations au fil du temps.

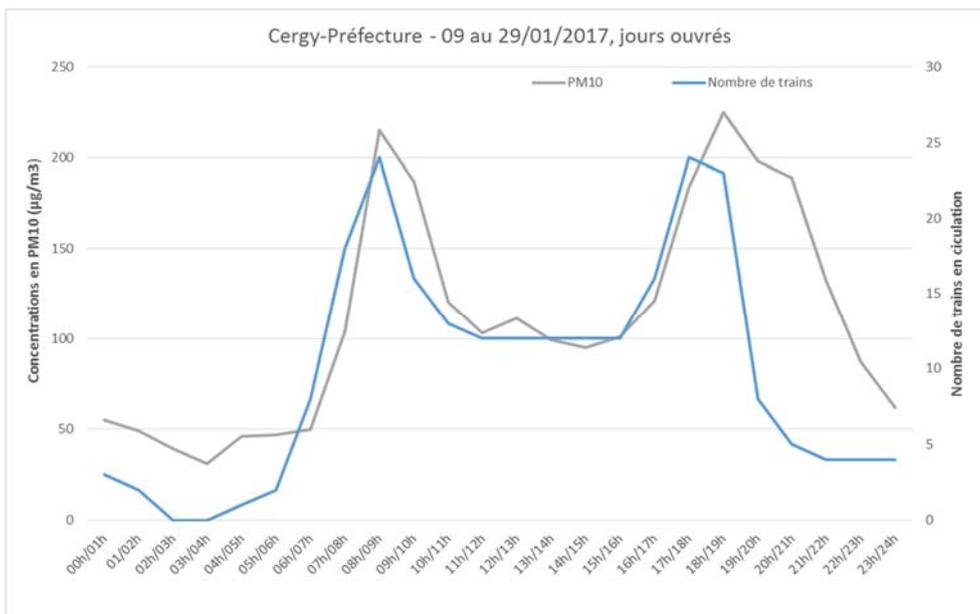


Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09 au 29/01/2017.

La relation entre le nombre de trains en circulation et les concentrations en particules PM₁₀ en fonction du jour de la semaine est présentée à la Figure 25.

En gare de Cergy-Préfecture, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit clairement par une baisse des teneurs en particules (comparaison jours ouvrés/dimanche notamment) : baisse du 56 % du nombre de trains et diminution de 42% des niveaux de PM₁₀.

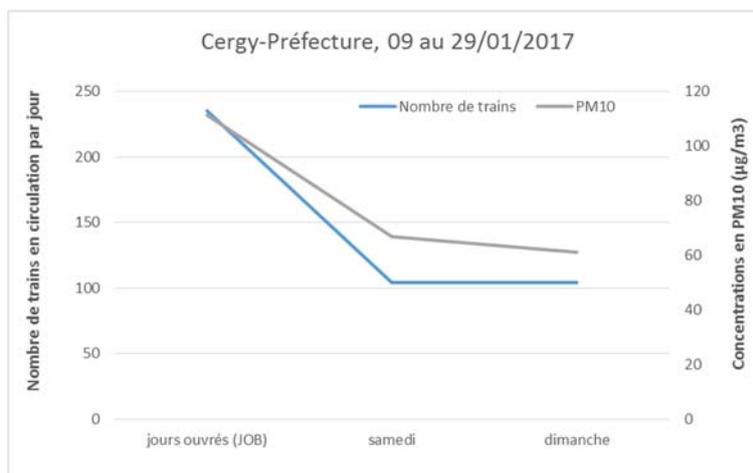


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare de Cergy-Préfecture, période du 09 au 29/01/2017.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, la ventilation ou encore les paramètres techniques de la gare de Cergy-Préfecture, a été étudiée. Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) sont fortement liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains), mais le système de ventilation de la gare est également un paramètre d'influence.

- Le nombre de trains en circulation influence directement les teneurs en particules sur le quai, d'où des maxima observables aux heures de pointe en semaine.
- Les niveaux en CO₂, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, sont assez bien corrélés avec les niveaux de particules en gare de Cergy-Préfecture (coefficient de corrélation = 0,64).
- Les teneurs en particules PM_{2.5} mesurées sur le quai de Cergy-Préfecture sont corrélées à celles mesurées en air extérieur. La faible profondeur de la gare du quai favorisent des échanges rapides avec l'air extérieur par les entrées/sorties de la gare. L'épisode de pollution (air extérieur) du 21 au 26 janvier a clairement influencé les teneurs de particules (PM_{2.5} et PM₁₀) sur le quai.

4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Cergy-Préfecture, pour les particules PM₁₀ et PM_{2.5} :

- Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais au cours du mois de janvier 2017 étaient en moyenne de 98 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 312 µg/m³ (atteint le 26 janvier à 19h, lors de l'épisode de pollution en air extérieur).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2.5} étaient de 58 µg/m³, pour un maximum horaire de 172 µg/m³ (atteint le 23 janvier à 10h, lors de l'épisode de pollution).

Les concentrations en particules PM₁₀ à la gare de Cergy-Préfecture sont un peu inférieures à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée), aussi bien en termes de niveaux que d'évolution temporelle.

En revanche, les concentrations de particules PM_{2.5} en gare de Cergy-Préfecture sont supérieures de 20 % en moyenne à celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame, et largement supérieures à celles de Magenta (RER E, station plus récente bénéficiant d'une ventilation contrôlée).

Les concentrations de PM_{2.5} en gare de Cergy-Préfecture sont corrélées avec celles de l'air extérieur. Aussi les teneurs ont clairement augmenté sur le quai de la gare de Cergy-Préfecture pendant l'épisode de pollution aux particules qui a touché la région Ile-de-France du 21 au 26/01/2017.

L'analyse des teneurs en métaux dans les particules PM₁₀ confirme la présence majoritaire du Fer (95 à 96 % des métaux mesurés). Viennent ensuite le Zinc, le Manganèse et le Cuivre, dans des proportions nettement moins importantes, et différentes pour certains dans les deux gares : à Cergy-Préfecture, la part de Cuivre est 5 à 6 fois plus faible qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, en revanche celle de Zinc est 2 à 3 fois plus élevée. Bien que mesurés en faibles quantités, ces éléments peuvent traduire des différences de constitution des éléments métalliques du matériel ferroviaire, fixe ou roulant. Ils seront étudiés plus finement ultérieurement (rapport de comparaison de toutes les gares).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation. La performance des équipements de ventilation des gares représente également un paramètre influent sur les concentrations de particules : les gares équipées d'une ventilation contrôlée (gares les plus récentes du RER E telles que Magenta et Haussmann-Saint-Lazare) présentent des niveaux plus faibles qu'à Cergy-Préfecture où le système de ventilation n'est pas contrôlé.

Ce rapport concerne les résultats de la quatrième campagne de mesure Gare, après celles réalisées en gare RER C d'Austerlitz, RER E de Haussmann-Saint-Lazare, et RER D Bras-de-Fer - Evry. Ces résultats ont vocation à être complétés par la suite de l'étude.

En complément des mesures présentées dans ce rapport, des mesures spécifiques dans les microenvironnements de la gare ont été réalisées avec un appareil portable, afin de caractériser la variabilité des niveaux de particules au cours de la journée de travail et des microenvironnements fréquentés.

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE CERGY-PRÉFECTURE

Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation niveau quai : naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs montants /jour : 16290 sur la ligne A ; 4210 sur la ligne L (*source SNCF, carte des montants 2016*)

Caractéristiques du matériel roulant (*source : STIF /Observatoire de la Mobilité en IDF*):

Matériel :

- RER (ligne A) : automotrices M184 (4 voitures par rame, 1 niveau), M12N, M109 (5 voitures par rame, 2 niveaux)
- Transilien (ligne L) : automotrices Z6400 (4 voitures par rame, 1 niveau), Z20500 (4 voitures par rame, 2 niveaux)

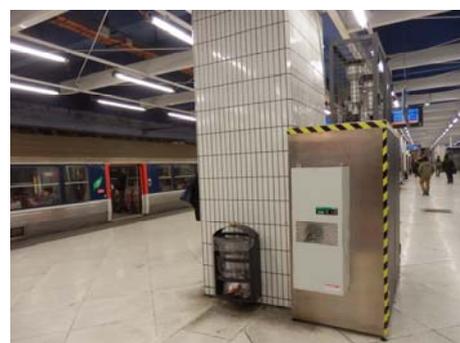
Selon leur composition, ces matériels peuvent transporter de 1600 à 2600 personnes.

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

Aucune perturbation (situation dégradée, mouvements sociaux, arrêts, travaux) signalée par la SNCF.



ANNEXE 2 :

DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

Indicateurs de la pollution retenus

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

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

Dans le cadre du partenariat, les particules fines PM₁₀ et très fines PM_{2.5} sont mesurées.

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

Enfin, les paramètres de confort (CO₂, Humidité relative et Température) ont été suivis.

Moyens techniques mis en œuvre

ANALYSEURS AUTOMATIQUES

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

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

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



Les concentrations en particules (PM₁₀)⁷ et particules fines (PM_{2,5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame.

PRELEVEMENTS MANUELS

Toutes les mesures ne peuvent pas être réalisées par analyseur automatique : c'est le cas des métaux. La mesure se réalise en deux temps : prélèvement sur filtre, puis analyse en différé dans un laboratoire spécifique.

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant⁸.

Afin d'être conforme aux pratiques existantes dans les enceintes souterraines, les prélèvements de métaux sont réalisés pendant 5 jours ouvrés (il a été choisi, conjointement avec SNCF Gares d'Ile-de-France, de réaliser les prélèvements au cours de la 1^{ère} semaine de mesure, du lundi au vendredi), entre le passage du 1^{er} train (environ 5h) et celui du dernier train (environ 1h).

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES⁴ dans les enceintes ferroviaires souterraines, à savoir :

Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Chrome (Cr).

Les prélèvements ont été réalisés sur les particules PM₁₀, sur des filtres en quartz selon la norme NF EN 14902 (mesure de la fraction PM₁₀ de la matière particulaire en suspension). Le débit est d'environ 2.3 m³/h.

L'analyse est réalisée par ICPMS (Analyse par spectrométrie de masse couplée à un plasma inductif) (analyse) selon norme NF EN 14902.



VALIDATION DES MESURES

Des opérations de vérifications, de maintenance et d'étalonnage sont réalisées régulièrement, permettant de s'assurer que les données recueillies sont d'une précision, d'une exactitude, d'une intégralité, d'une comparabilité et d'une représentativité satisfaisante.

Un processus de validation par du personnel qualifié comporte deux étapes obligatoires :

- une validation technique, réalisée quotidiennement,
- une validation environnementale, réalisée de manière hebdomadaire.

Une invalidation peut être due à un problème technique de l'analyseur, à un évènement extérieur (coupure électrique par exemple) rendant la donnée non représentative, etc.

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

⁷ Mesures des PM₁₀ et PM_{2,5} selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2,5} par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

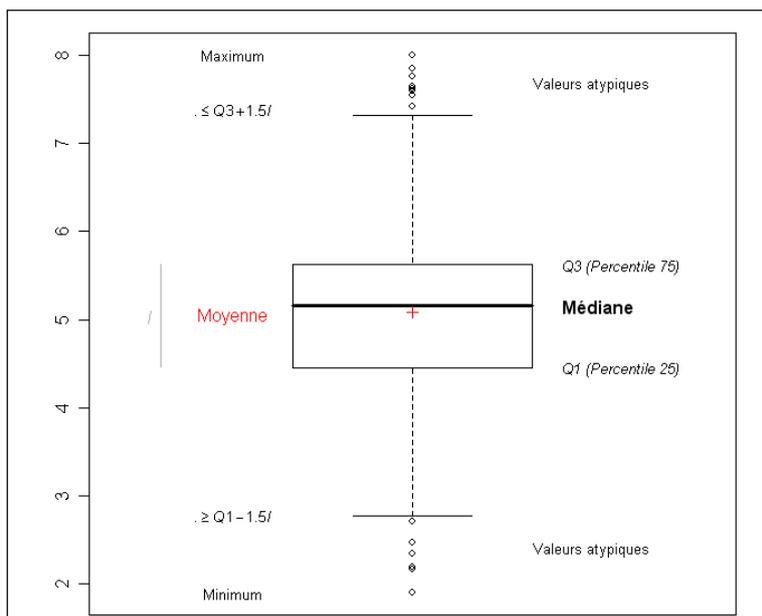
⁸ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 :

BOITE A MOUSTACHE

Définition statistique d'une « boîte à moustache » (box plot)

Une boîte à moustache (ou box plot) est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Pour ce faire, l'échantillon est séparé en 4 parties de même effectif, appelées quartiles. Un quartile est donc constitué de 25 % des données de l'ensemble de l'échantillon. Le deuxième quartile (percentile 50) est appelé plus couramment la médiane (50% des valeurs lui sont inférieures, 50% lui sont supérieures).



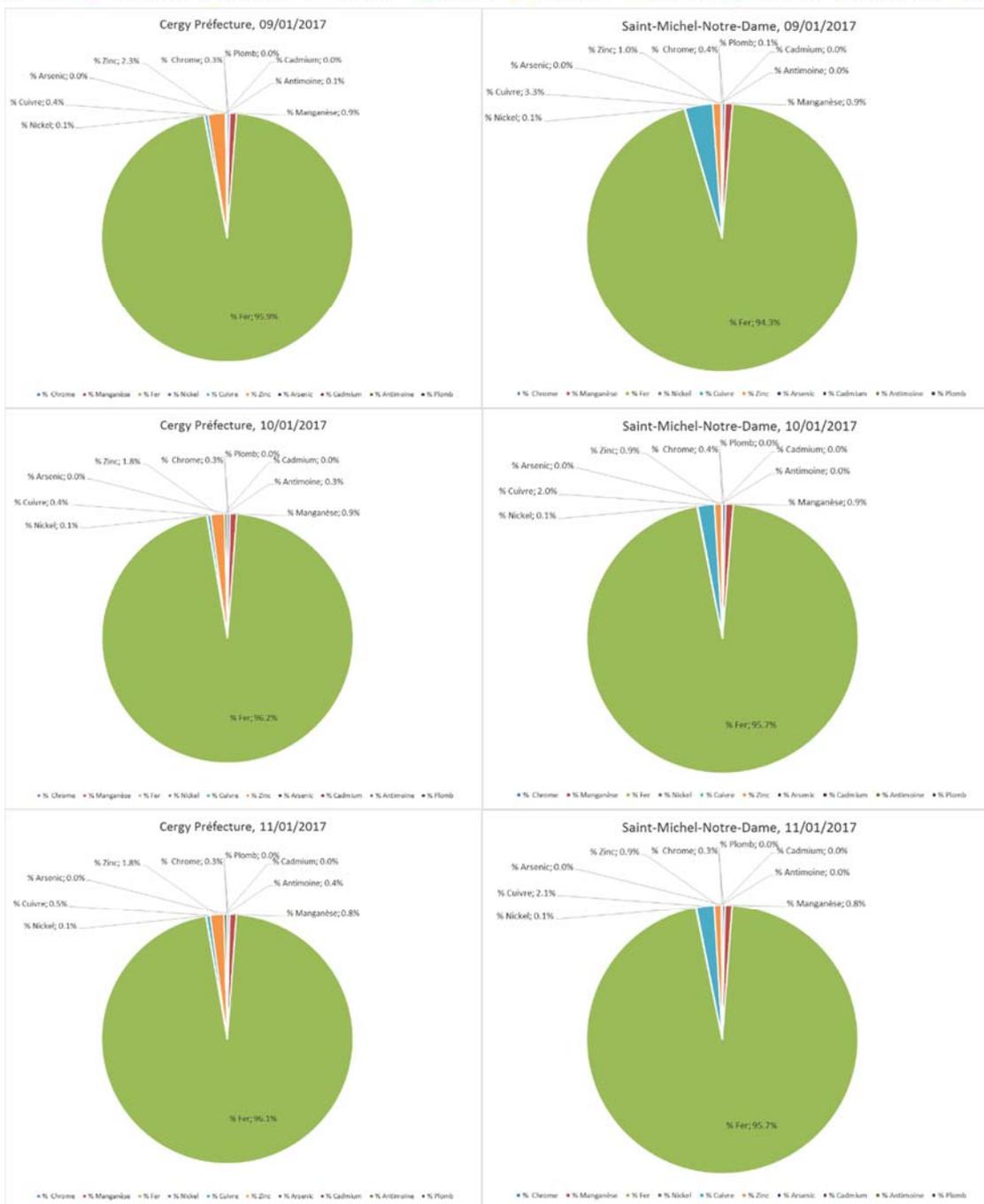
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur, $1.5 \cdot I$ (I étant l'écart inter quartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches. La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur $Q3+1.5I$ (3^{ème} quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE

■ % Cr ■ % Mn ■ % Fe ■ % Ni ■ % Cu ■ % Zn ■ % As ■ % Cd ■ % Sb ■ % Pb



■ % Cr ■ % Mn ■ % Fe ■ % Ni ■ % Cu ■ % Zn ■ % As ■ % Cd ■ % Sb ■ % Pb



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE DE CERGY-PREFECTURE ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 09 AU 29/01/2017.

