

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER D EN GARE SNCF DE ÉVRY Courcouronnes

Décembre 2017

Septembre 2018





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



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER D EN GARE SNCF D'EVRY-COURCOURONNES – DECEMBRE 2017

Septembre 2018

« 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. Son objectif est de mieux connaître et d'améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

Dans ce cadre, une campagne de mesure a été réalisée du **04/12/2017 au 24/12/2017** en gare d'Evry-Courcouronnes (**RER D**, quai 1). 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 les quais du RER D en gare d'Evry-Courcouronnes au cours du mois de décembre 2017 étaient en moyenne de 80 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 337 µg/m³ (enregistré le matin entre 9 et 10h).

Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 33 µg/m³, pour un maximum horaire de 104 µg/m³ (maximum atteint le soir entre 20 et 21h).

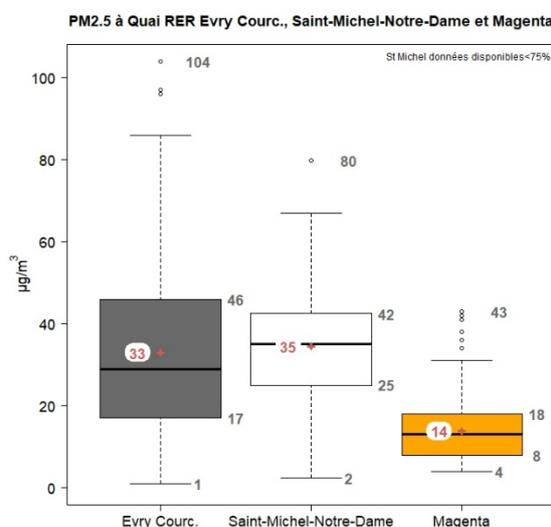
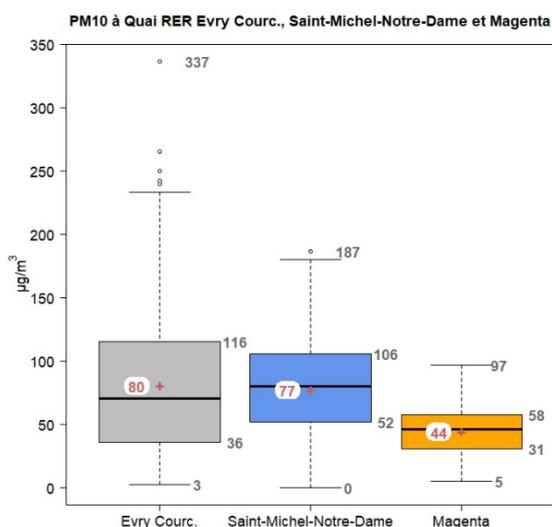


Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ?

Les niveaux moyens en PM₁₀ (80 µg/m³) sont similaires à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (77 µg/m³ enregistrés sur la même période) et près de 2 fois supérieurs à ceux de la station Magenta (44 µg/m³ enregistrés sur la même période). En revanche, les forts niveaux au-dessus du percentile 75 sont nettement supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} (le maximum est près de 2 fois plus élevé).

Les niveaux moyens en PM_{2,5} à Evry-Courcouronnes (33 µg/m³) sont similaires à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (35 µg/m³, mais seulement 46 % des données validées) et largement supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (14 µg/m³).

Ce résultat s'explique par le système de ventilation en place en gare de Magenta, paramètre favorisant l'évacuation de la pollution aux particules dans cette gare de référence, tandis que le système en place à Evry-Courcouronnes est une ventilation naturelle.

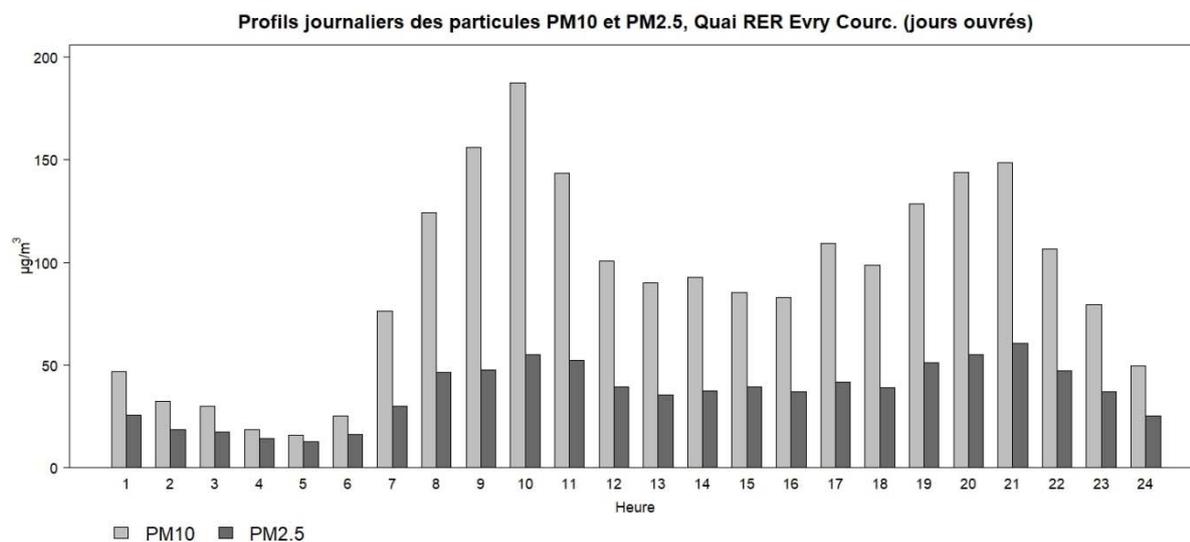
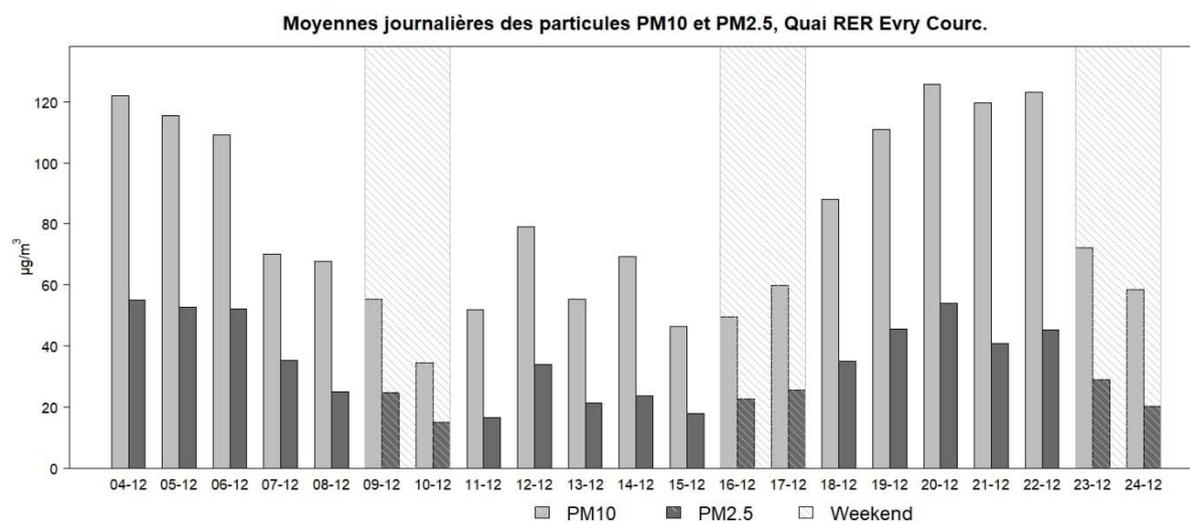


Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

Les relevés en particules PM₁₀ et PM_{2,5} à la gare d'Evry-Courcouronnes sont plus fluctuants qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, avec de très grandes variations au sein d'une même journée, même le weekend.

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

A l'échelle hebdomadaire à Evry-Courcouronnes, les profils montrent en moyenne des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM₁₀ (-39 %) et les PM_{2,5} (-38 %). 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).



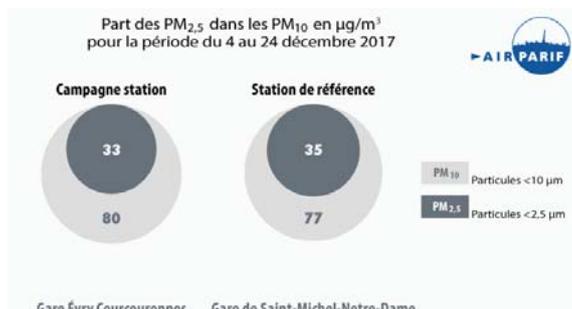
Sur une journée ouvrée moyenne, en gare d'Evry-Courcouronnes, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 22 µg/m³ en PM₁₀ et 15 µg/m³ en PM_{2,5}. Les concentrations sont maximales vers 9-10h le matin et 20-21h le soir. Les concentrations en PM₁₀ sont alors de 187 µg/m³ en moyenne entre 9 et 10h et 150 µg/m³ entre 20 et 21h. Concernant les PM_{2,5}, les concentrations moyennes sont respectivement de 55 et 60 µg/m³. Ces profils (variabilité temporelle) sont différents de ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM₁₀ avec un décalage d'heure de pointe plus tôt le matin et un maximum atteint entre 20 et 21h plutôt qu'entre 19 et 20h à Saint-Michel-Notre-Dame. Les niveaux de PM₁₀ en heures de pointe (7-11h et 17-21h) sont en moyenne de 30 % plus élevés à Evry-Courcouronnes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (heures de pointe entre 8-12h et 18-22h). Pour les PM_{2,5}, trop peu de données

sont disponibles sur la station de Saint-Michel-Notre-Dame pour pouvoir comparer, suite à une panne de l'analyseur.

Les différences de niveaux entre gares s'expliquent en partie par le nombre de trains et de voyageurs mais aussi et surtout par le système de ventilation et le volume de la gare.

Ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$: quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ en gare d'Evry-Courcouronnes est en moyenne de 0,46, supérieur à celui enregistré à Magenta (0,36). Le ratio en gare de Saint-Michel-Notre-Dame n'a pas pu être calculé, dû au manque de données. Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée. Les pics ponctuels au-dessus 0,6 s'observent la nuit entre 2 et 6h 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 ?

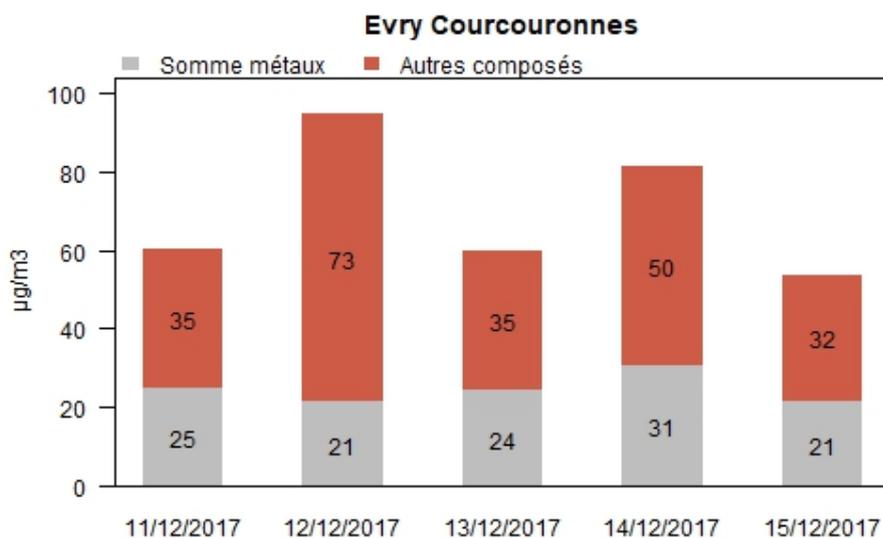
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM_{10} varie de 23 à 41 % sur la semaine de mesure (11 au 15/12/2017) en gare d'Evry-Courcouronnes, part relativement haute par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame (35 %). Peu de fluctuations sont observées sur la semaine de mesure. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame varie entre 33 et 39 %.

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 95 % des métaux mesurés, aussi bien à Evry-Courcouronnes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (94 %). Suivent ensuite le **Zinc** (1,7 % à Evry-Courcouronnes), l'**Aluminium** (1,3 %), le **Manganèse** (0,7 %), le **Cuivre** (0,5 %) et le **Chrome** (0,4 %). Les proportions en Arsenic, Antimoine, Cadmium, Nickel et Plomb sont négligeables par rapport aux métaux précédemment évoqués. Ces résultats sont très proches de ceux enregistrés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (seule la proportion en Cuivre est plus forte, à 2,8 %).

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

Les relevés journaliers ont varié du lundi au vendredi sur la semaine de prélèvement sur les deux sites de mesure : le maximum a été atteint le mardi à Evry-Courcouronnes, le jeudi à Saint-Michel-Notre-Dame, en lien en partie avec l'augmentation des teneurs en PM_{10} .



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	12
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	12
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	14
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	18
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	19
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	22
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	22
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	23
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	25
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2,5}	27
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	27
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	27
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES	28
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	30
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	30
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	31
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	33
4. CONCLUSION	36

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 collègues 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.**

GLOSSAIRE

µg/m³ micro gramme par mètre cube

ng/m³ nano gramme par mètre cube

Percentile un centile est chacune des 99 valeurs qui divisent les données triées en 100 parts égales, de sorte que chaque partie représente 1/100 de l'échantillon de population

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.

Les résultats présentés dans ce rapport sont à l'heure locale. La mesure de l'heure H représente la teneur observée entre H-1 et H.

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 les 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. Dans chaque gare 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.

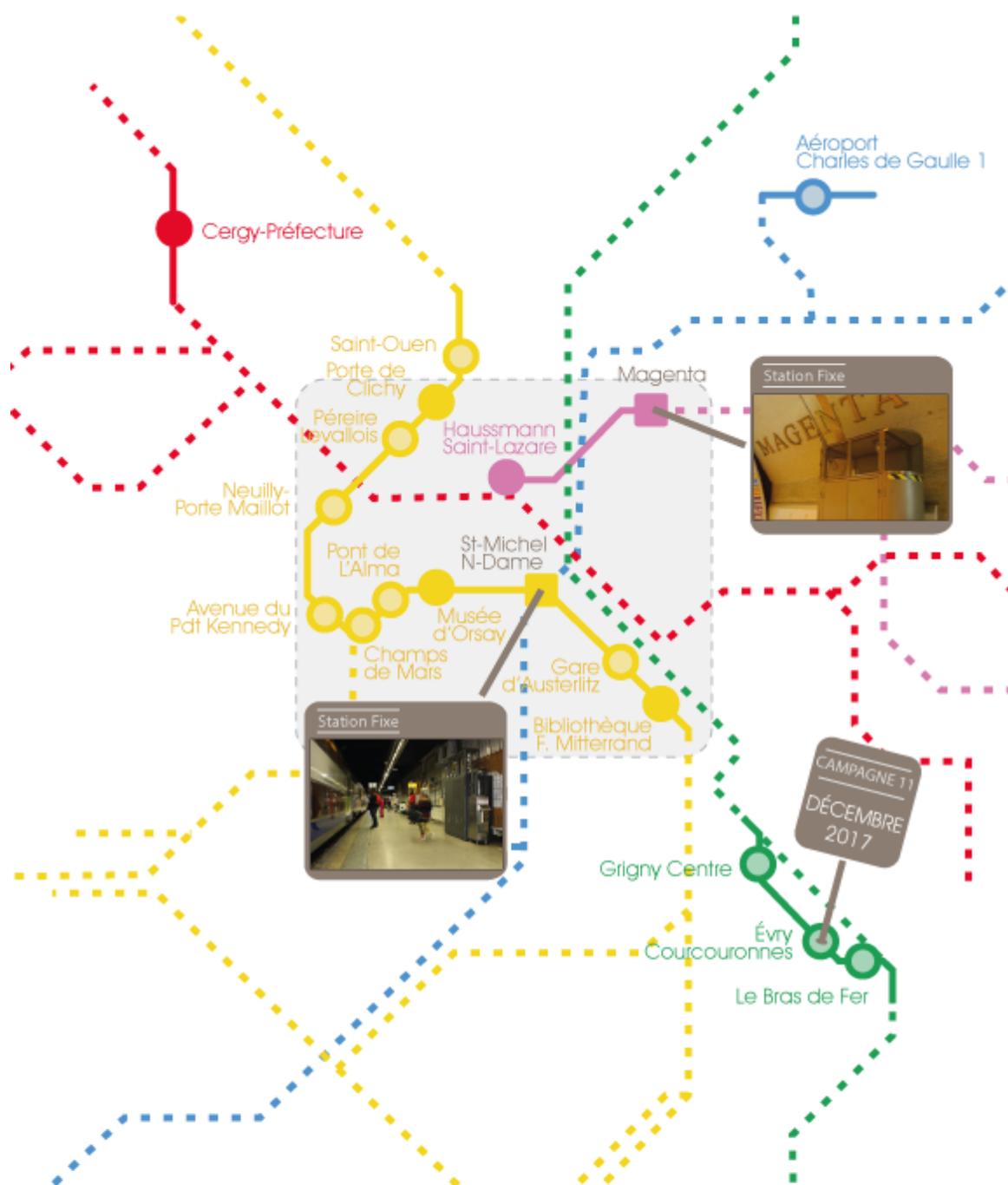
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules 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 d'Evry-Courcouronnes en décembre 2017, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Evry-Courcouronnes), 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 d'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 d'Evry-Courcouronnes, sur le RER D (Malesherbes/Melun au Sud – Creil au Nord), est concernée par le programme de partenariat. Elle est située Place de la gare, à Evry (91000).

Cette gare RER est souterraine (couverture totale de la gare), de faible profondeur (les quais sont au niveau -1 par rapport au hall de la gare mais leurs extrémités donnent sur l'extérieur). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle). Elle comprend deux voies centrales et deux quais latéraux.

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

Le nombre de voyageurs montant en gare d'Evry-Courcouronnes (RER D) est de 17750 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare d'Evry-Courcouronnes (2 sens confondus) est de 195 les jours ouvrés (jours JOB), 149 les samedis et 125 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

La station de mesure a été installée au milieu du quai 1, en direction du Sud.

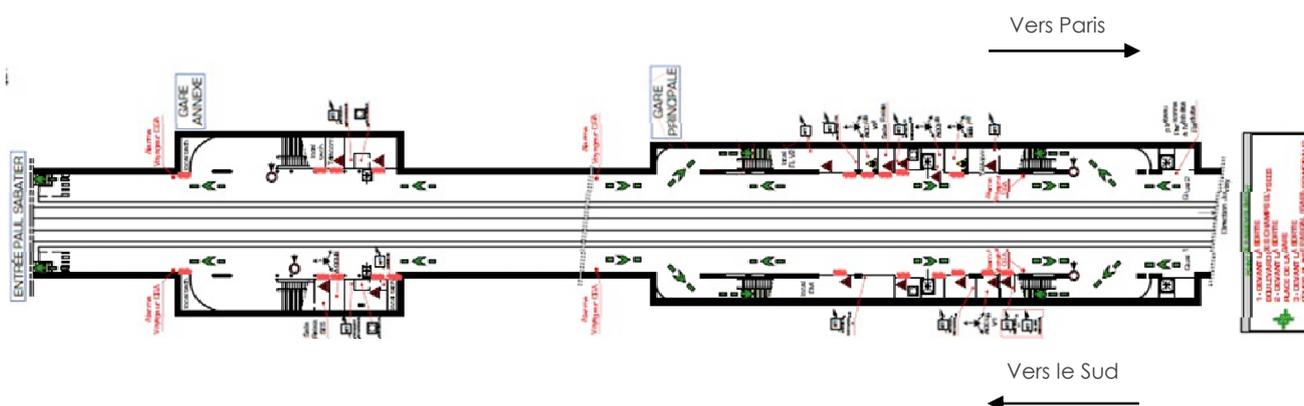
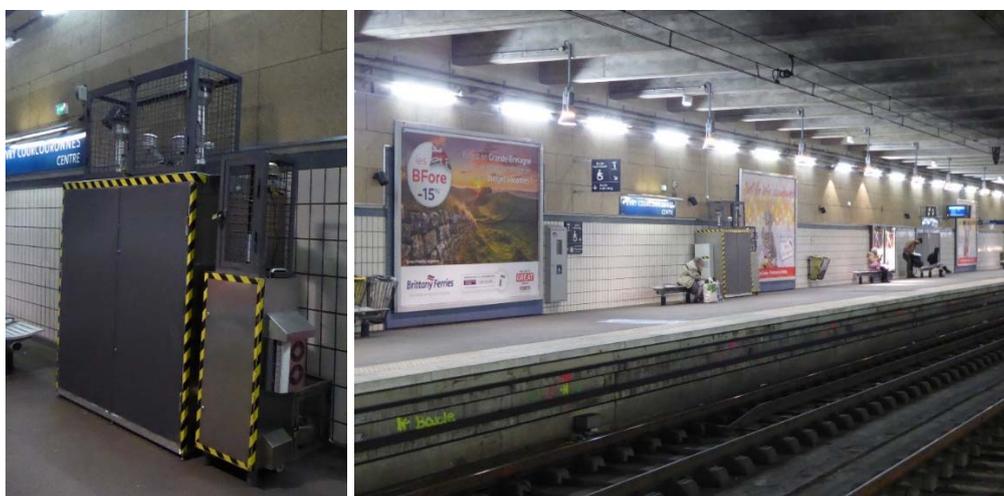


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare d'Evry-Courcouronnes, ligne RER D, quai 1), photo de la station de mesure (quai) et photo du quai 1.

Les détails sur les indicateurs de pollution retenus et les appareils de mesure mis en œuvre sont présentés en ANNEXE 2.

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 d'Evry-Courcouronnes ont été réalisées pendant 3 semaines, du 04/12/2017 au 24/12/2017. 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.

2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE

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

Les niveaux observés sur le quai dans la gare d'Evry-Courcouronnes sont comparés aux observations sur les quais des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame), pendant la même période de mesure.

2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI

Les principaux résultats (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau suivant, pour la gare d'Evry-Courcouronnes 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 Evry- Courcouronnes	Saint- Michel- Notre- Dame	Magenta	Gare Evry- Courcouronnes	Saint- Michel- Notre- Dame	Magenta
Minimum horaire	3	0	5	1	2	4
Percentile 25 (P25)	36	52	31	17	25	8
Médiane ou Percentile 50	70	80	46	29	36	13
Moyenne	80	77	44	33	35	14
Percentile 75 (P75)	116	106	58	46	42	18
Maximum horaire	337	187	97	104	80	43
% de données horaires valides	99	98	98	98	46	98

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

Les niveaux moyens en PM₁₀ relevés en gare d'Evry-Courcouronnes sont similaires à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et près de 2 fois supérieurs à ceux de la gare de Magenta.

Les niveaux moyens en PM_{2,5} relevés en gare d'Evry-Courcouronnes sont similaires à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et plus de 2 fois supérieurs à ceux de la gare de Magenta. Cependant, seulement 46 % des données horaires sont disponibles pour la gare de Saint-Michel-Notre-Dame suite à une panne de l'analyseur, en milieu de campagne et à partir du 20/12/2017.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel et Magenta, est présentée 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. La boîte rectangulaire contient 50 % des données. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane (50 % des données y sont inférieures, les 50 % restantes y sont supérieures), et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La Figure 3 présente les boîtes à moustaches des résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en Gare RER D d'Evry-Courcouronnes, ainsi qu'à Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta.

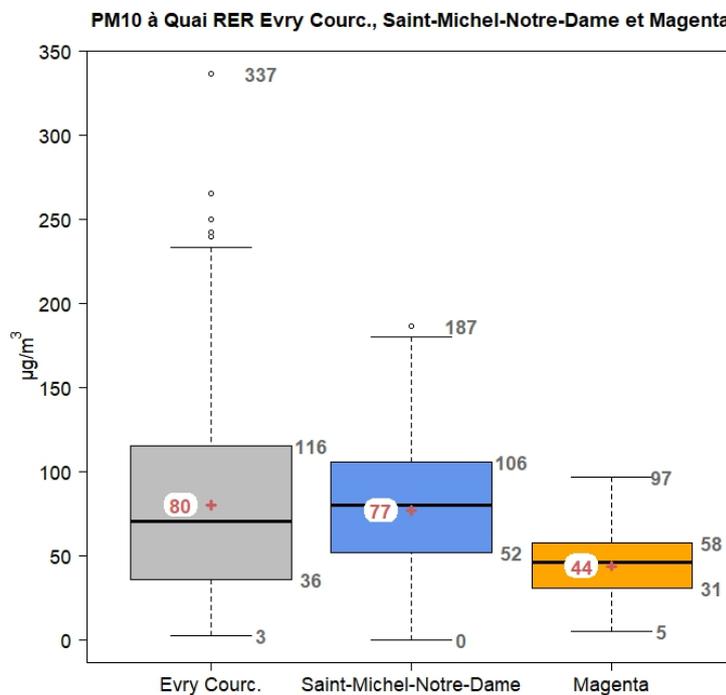


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

Elle montre une répartition très étendue des concentrations : 50 % des données horaires relevées à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes sont comprises entre 36 et 116 µg/m³, pour une moyenne de 80 µg/m³ et une médiane à 77 µg/m³. Le maximum atteint à Evry-Courcouronnes est de 337 µg/m³ (enregistré le jeudi 21 décembre entre 9 et 10h).

Les concentrations en PM₁₀ à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes sont nettement différentes de celles de la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame. Cette représentation des résultats met en avant une dispersion plus grande des concentrations sur le site d'Evry-Courcouronnes par rapport au site de Saint-Michel-Notre-Dame (où 50 % des données se trouvent dans la fourchette de 52 – 106 µg/m³). Les 25 % des concentrations les plus hautes, supérieures au percentile 75, sont aussi plus dispersées à Evry-Courcouronnes (entre 116 et 337 µg/m³) alors qu'elles se situent entre 106 et 187 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles d'Evry-Courcouronnes, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules PM₁₀ est de 44 µg/m³ à Magenta, contre 80 µg/m³ à Evry-Courcouronnes.

La différence de niveaux entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame, Evry-Courcouronnes et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare d'Evry-Courcouronnes et de Saint-Michel-Notre-Dame, mécanique à Magenta. La gare de Magenta est également plus grande (d'où un volume de mélange plus important). Cependant, la gare d'Evry-Courcouronnes est aussi plus aérée que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, avec une ouverture sur l'extérieur en direction de Paris. Ce paramètre influence habituellement les niveaux de particules à la baisse, d'autres paramètres entrent donc en jeu pour les niveaux d'Evry-Courcouronnes.

Le nombre de trains circulant en gare d'Evry-Courcouronnes est de 2,2 à 3,3 fois moins important qu'en gare de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame, aussi, les différences de teneurs ne sont pas expliquées par le nombre de trains en circulation.

Il existe également une différence du nombre de voyageurs entre ces gares, mais cette variable n'est pas non plus corrélée avec les concentrations : 17750 voyageurs par jour montant en gare d'Evry-Courcouronnes, contre 59483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78212 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 RER D d'Evry-Courcouronnes est présentée Figure 4, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame (seulement 46 % des données disponibles sur la période de mesures).

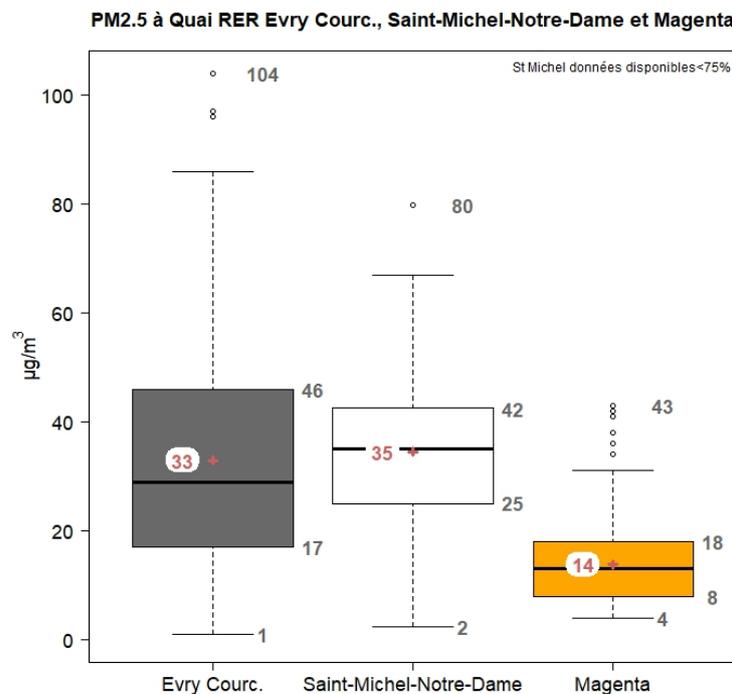


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2,5}, en µg/m³ à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

La boîte à moustaches montre la même répartition que pour les PM_{10} , c'est-à-dire très dispersée : 50 % des données horaires relevées à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes sont comprises entre 17 et $46 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour une moyenne de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et une médiane à $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le maximum atteint à Evry-Courcouronnes est de $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (enregistré le jeudi 14 décembre entre 20 et 21h).

Comparées à Saint-Michel-Notre-Dame, les concentrations de $PM_{2,5}$ sont aussi plus dispersées au-dessus du percentile 75, entre 46 et $104 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Evry-Courcouronnes alors qu'elles se situent entre 42 et $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations en $PM_{2,5}$ en gare d'Evry-Courcouronnes sont largement supérieures à celles de Magenta. A titre de comparaison, la moyenne des particules $PM_{2,5}$ à Magenta est de $14 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER D d'Evry-Courcouronnes pendant la campagne est de $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM_{10} et de $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $PM_{2,5}$.

Les niveaux moyens en particules PM_{10} en gare d'Evry-Courcouronnes sont similaires à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame ($77 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de la station Magenta ($44 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules $PM_{2,5}$ en gare d'Evry-Courcouronnes sont de même similaires à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame ($35 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période, mais seulement 46 % des données disponibles) et largement supérieurs à ceux de Magenta ($14 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les niveaux sont cependant particulièrement dispersés en gare d'Evry-Courcouronnes pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$: les pics de particules en gare d'Evry-Courcouronnes, lors des heures de pointe par exemple, sont nettement plus forts à Evry-Courcouronnes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, alors que les niveaux en période creuse sont plus faibles.

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 en PM₁₀ des trois stations sont présentés à la Figure 5.

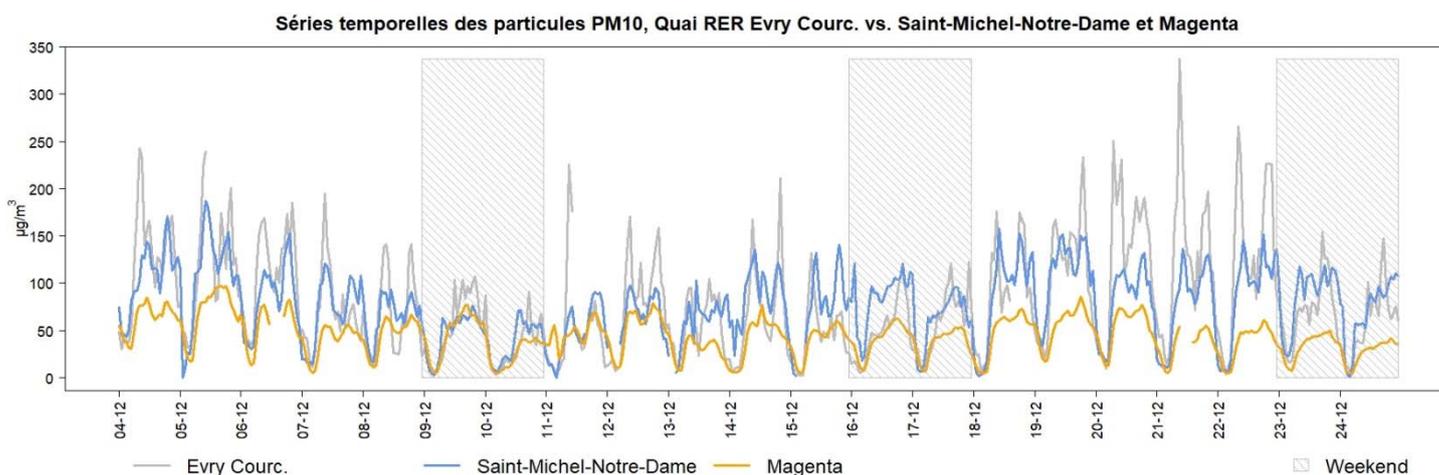


Figure 5 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare RER D d'Evry-Courcouronnes et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 04/12/2017 au 24/12/2017)

En gare d'Evry-Courcouronnes, les différences de 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 leur remise en suspension, phénomènes absents la nuit lorsque toute activité dans la gare a cessé. Cette différence entre la journée et la nuit est constante dans les différentes gares investiguées et peut être constatée sur les courbes de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. Toutefois, à Evry-Courcouronnes, les niveaux sont nettement plus fluctuants que dans les deux autres gares.

A Evry-Courcouronnes, les moyennes horaires dépassent fréquemment 200 µg/m³ en journée, et 300 µg/m³ ponctuellement, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de µg/m³.

Les maxima journaliers sont mesurés la plupart du temps lors des heures de pointe respectives des gares, et les niveaux constatés lors de ces heures de pointe de fréquentation sont souvent nettement plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Le maximum horaire a été enregistré à Evry-Courcouronnes le jeudi 21 décembre entre 9 et 10h (337 µg/m³, contre 187 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame le mardi 5 décembre entre 10 et 11h).

En revanche, les concentrations de nuit retombent au même niveau qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, voire qu'à Magenta.

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

Les relevés horaires des PM_{2,5} sont présentés en Figure 6. Seules 46 % des données à la station de Saint-Michel-Notre-Dame sont disponibles. Les comparaisons directes avec cette gare ne peuvent donc être faites qu'en partie.

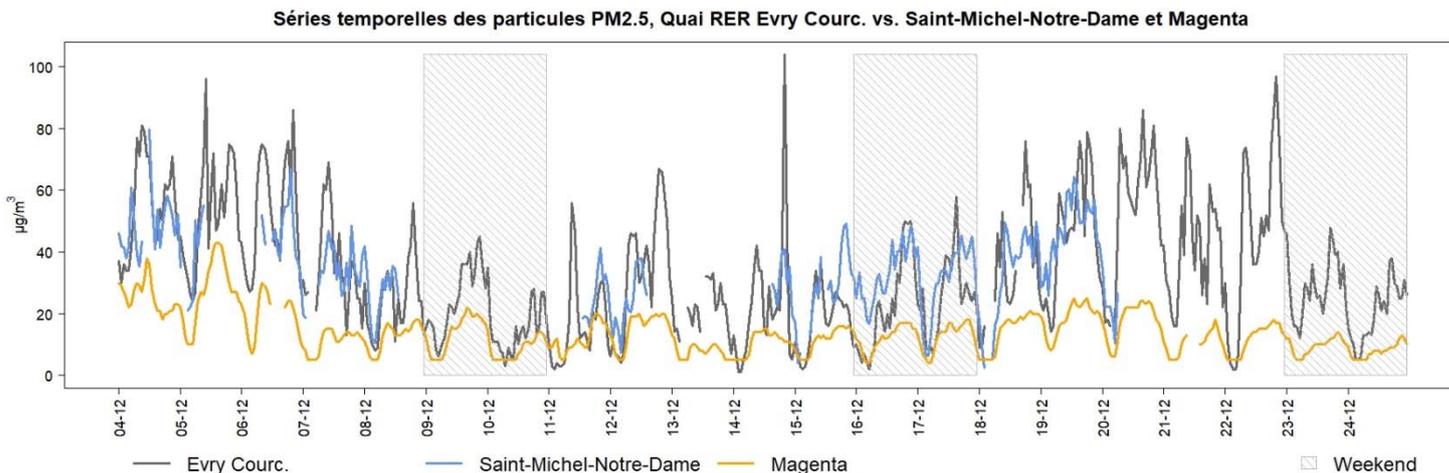


Figure 6 : Evolution des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ (gare RER D d'Evry-Courcouronnes et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 04/12/2017 au 24/12/2017)

Ces relevés montrent, comme pour les PM₁₀, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit, en lien de même avec la fréquentation de la gare (trains et voyageurs). Ainsi, en journée, les teneurs en PM_{2.5} atteignent 80 µg/m³ voire 100 µg/m³, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m³. Les fluctuations suivent la même tendance que pour les PM₁₀.

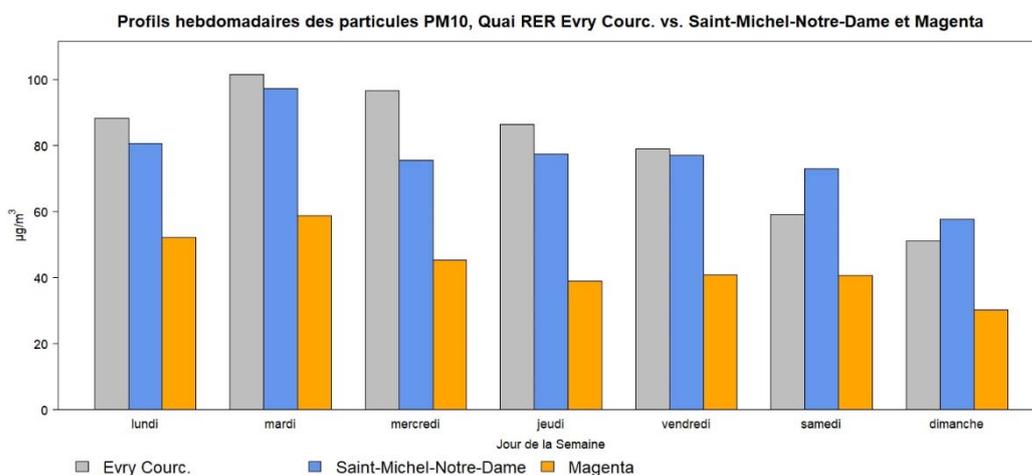
La comparaison des teneurs à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes avec les relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre à nouveau des fluctuations plus marquées à Evry-Courcouronnes.

La variabilité des niveaux mesurés en gare de Magenta est bien plus faible, dans l'ordre de grandeur des niveaux de nuit des deux autres gares.

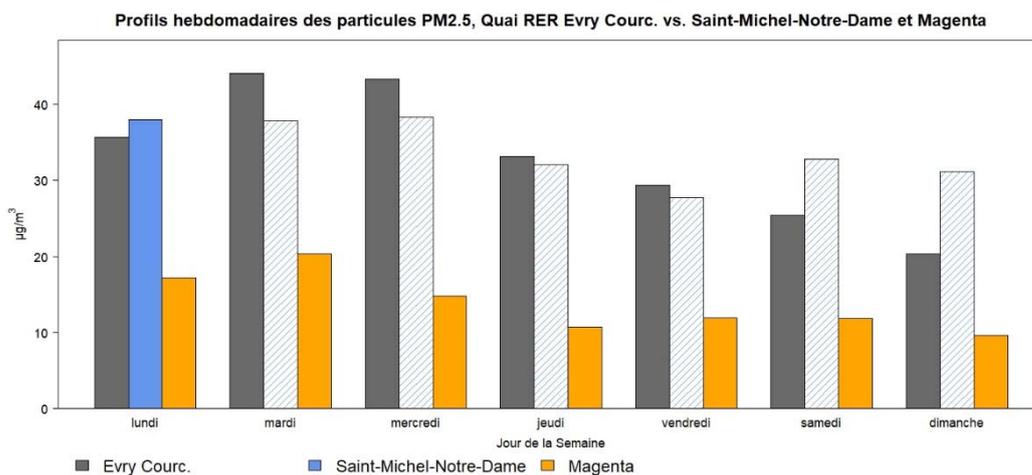
En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à Evry-Courcouronnes (104 µg/m³ le jeudi 14 décembre entre 20 et 21h, contre 80 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame le 4 décembre entre 12 et 13h).

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare d'Evry-Courcouronnes 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 d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2,5} (b) à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75 %

A Evry-Courcouronnes, les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés (autour de 90 µg/m³ en moyenne sur une journée pour les PM₁₀, 35 µg/m³ en moyenne pour les PM_{2,5}).

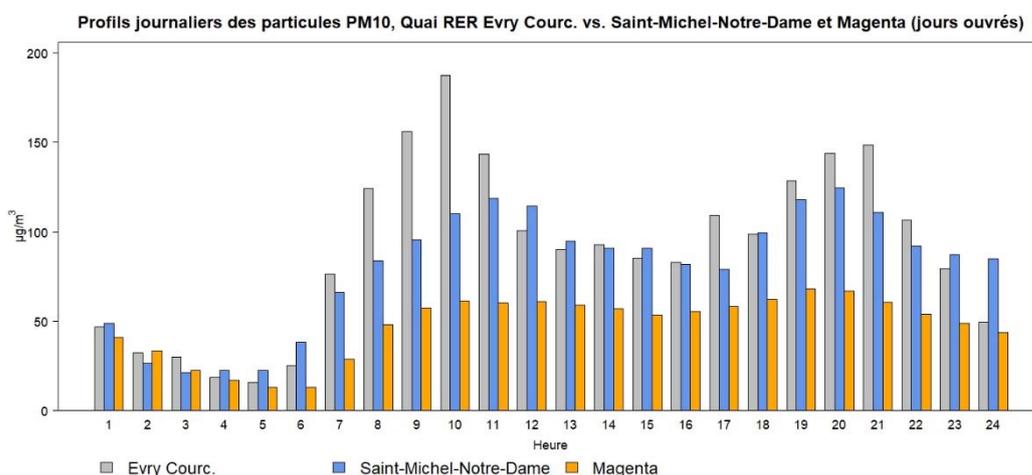
Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 39 % par rapport aux jours ouvrés pour les PM₁₀ et de 38 % pour les PM_{2,5}. Ces diminutions sont plus importantes que celles observées à Saint-Michel-Notre-Dame pour la même période (-20 % pour les PM₁₀).

En définitive, en semaine, les niveaux de PM₁₀ en gare d'Evry-Courcouronnes sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, en moyenne sur les journées, tandis que le contraire est observé le weekend. Les forts niveaux mis en relief au chapitre précédent en gare d'Evry-Courcouronnes sont « contrebalancés » par des niveaux fréquemment faibles entre 10 et 14h et souvent plus faibles la nuit. Le chapitre suivant le montre de façon explicite.

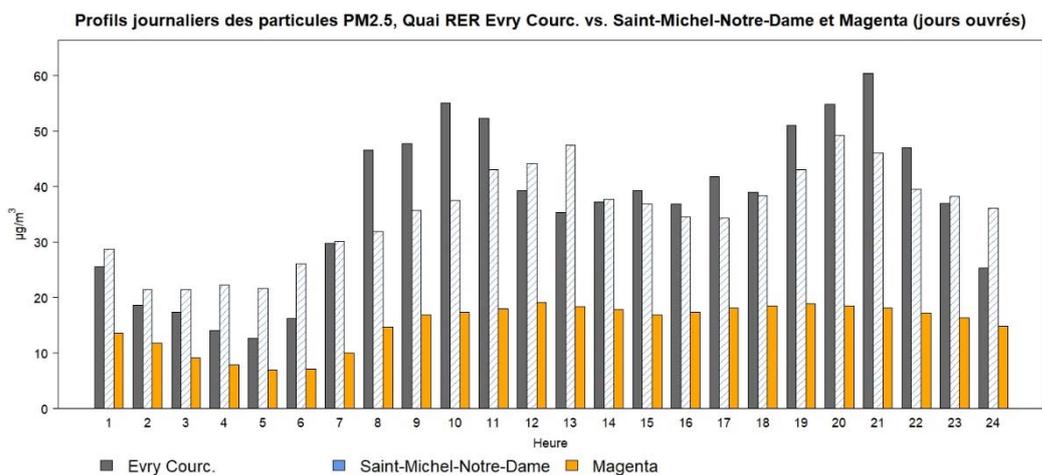
La différence semaine/weekend est par ailleurs ici légèrement plus importante pour les PM₁₀ que pour les PM_{2,5} en gare d'Evry-Courcouronnes, en lien avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end, facteur ayant davantage d'influence sur les PM₁₀ que sur les PM_{2,5} (cf. 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

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**.



(a)



(b)

Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75 %

Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} ont des profils journaliers identiques, mais en partie différents de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. Les maxima horaires sont enregistrés lors des 2 périodes de pointe de trafic ferroviaire et de fréquentation de voyageurs pour les deux types de particules : le matin (8-11h) et le soir (17h-21h). Sur ces périodes, les niveaux sont en moyenne, de 138 µg/m³ pour les PM₁₀ et 49 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare d'Evry-Courcouronnes. Aux heures de pointe respectives d'Evry-Courcouronnes et de Saint-Michel-Notre-Dame, les concentrations de particules à Evry-Courcouronnes sont en moyenne supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame de 23 % pour les PM₁₀.

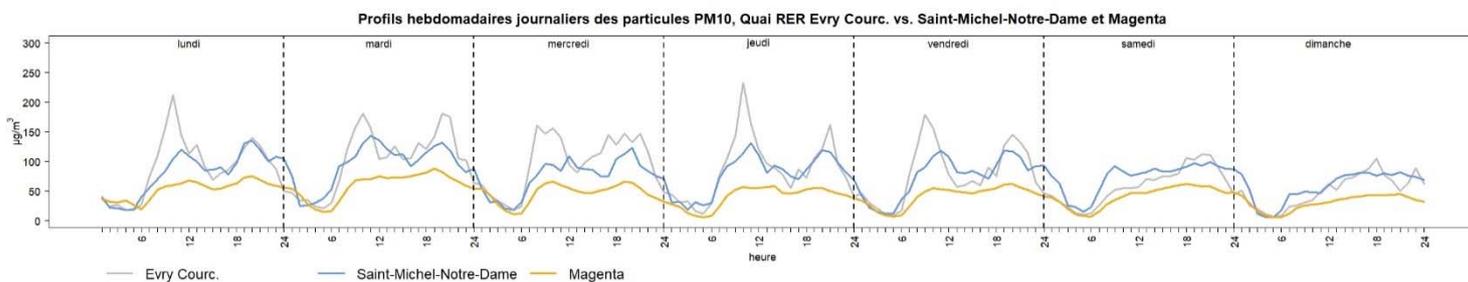
Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 24 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et environ 16 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Ces niveaux de nuit sont particulièrement faibles, similaires à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame et supérieurs à ceux de Magenta.

Ces profils journaliers en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) fluctuent, fonction de la circulation ferroviaire, les concentrations maximales étant enregistrées lorsque la circulation ferroviaire et la fréquentation de voyageurs sont également maximales (cf. paragraphe 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE). Ce constat, observable à la gare d'Evry-Courcouronnes, l'est également aux gares de référence.

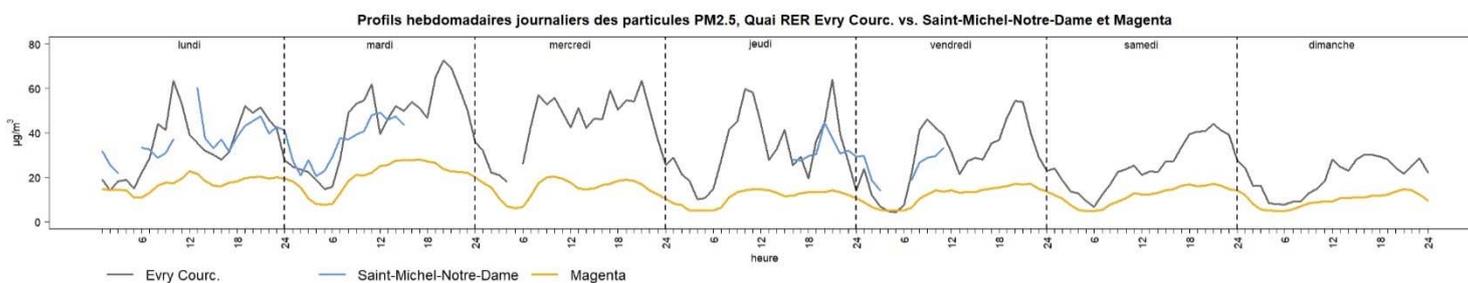
Le profil journalier en PM_{2.5} présente des variations horaires moindres (écart type de 11 µg/m³ lors de l'ouverture de la gare) que celui de PM₁₀ (écart type de 40 µg/m³), différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent la fraction la plus grossière 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).

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 des PM_{2.5}, aussi bien en gare d'Evry-Courcouronnes qu'aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

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 atténuation des niveaux aux heures de pointe.

Les jours ouvrés, les niveaux mesurés en PM₁₀ à Evry-Courcouronnes sont plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame lors des heures de pointe. Les week-ends, les niveaux mesurés dans ces deux gares sont similaires. Les niveaux nocturnes, au moment où la gare est fermée, tendent à rejoindre ceux, bien plus faibles, de Magenta. Concernant les PM_{2.5}, les comparaisons ne sont pas possibles avec la gare de Saint-Michel-Notre-Dame en raison du trop faible nombre de données.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}), sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains), bien que ce ne soit pas les seuls paramètres explicatifs (configuration des gares).

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles en moyenne les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, pour les PM₁₀ (-39 %) et pour les PM_{2.5} (-38 %). Par ailleurs, les concentrations moyennes journalières à Evry-Courcouronnes sur une semaine type sont similaires voire inférieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame car les faibles concentrations la nuit et entre 10 et 14h compensent celles du reste de la journée.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec 24 µg/m³ en PM₁₀ et 16 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales aux heures de pointe de la gare (8-11h et 17-21h). Sur ces périodes, les concentrations sur le quai atteignent des niveaux particulièrement élevés comparés à d'autres gares, 138 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 49 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Il apparaît ainsi que les relevés en PM₁₀ et PM_{2.5} lors des heures de pointes en gare d'Evry-Courcouronnes sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (de l'ordre de 23 % pour les PM₁₀).

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments : 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 souterraines, notamment des systèmes de freinage³, 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 d'Evry-Courcouronnes chaque jour ouvré pendant une semaine (du 11 au 15 décembre). 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.

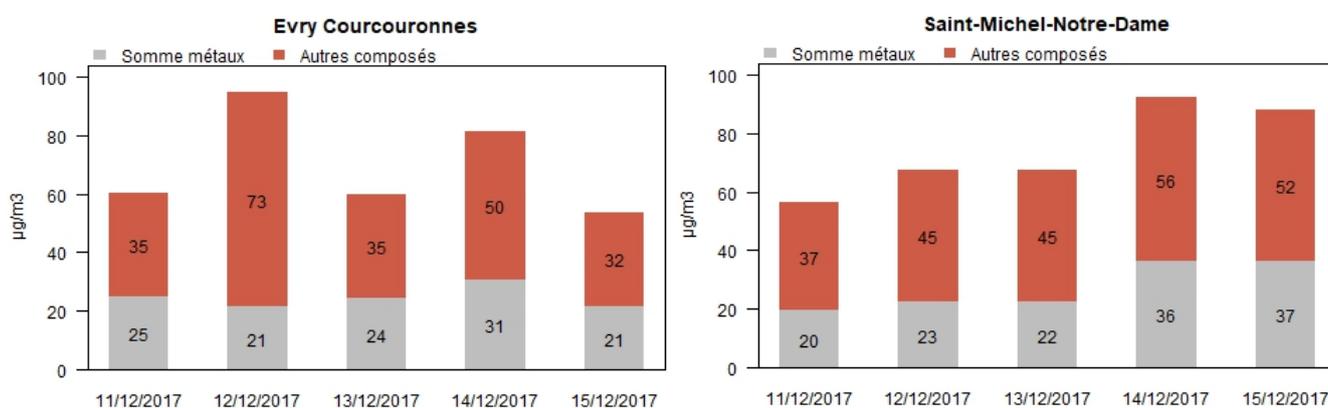
Les onze métaux suivants ont été étudiés : Fer, Aluminium, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature³.

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 gares d'Evry-Courcouronnes et de Saint-Michel-Notre-Dame.

En gare d'Evry-Courcouronnes, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 21 µg/m³ (les 12 et 15/12/17) à 31 µg/m³ (le 14/12/17). La part des métaux a varié de 23 % (le 12/12/17) à 41 % (les 11 et 13/12/17).

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la concentration des métaux a varié entre 20 µg/m³ (le 11/12/17) et 37 µg/m³ (le 15/12/17). La part de métaux a varié de 33 % (les 12 et 13/12/17) à 41 % (le 15/12/17).



³ 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.

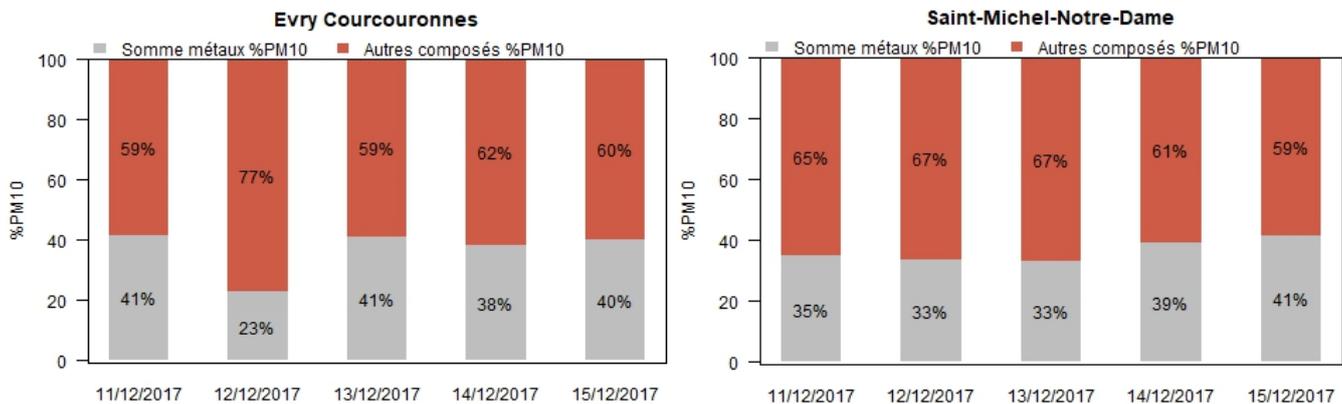


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement (en concentration et en % de particules PM₁₀), à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11/12/2017 au 15/12/2017.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 11 et le 15/12/2017, aussi bien en gare d'Evry-Courcouronnes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

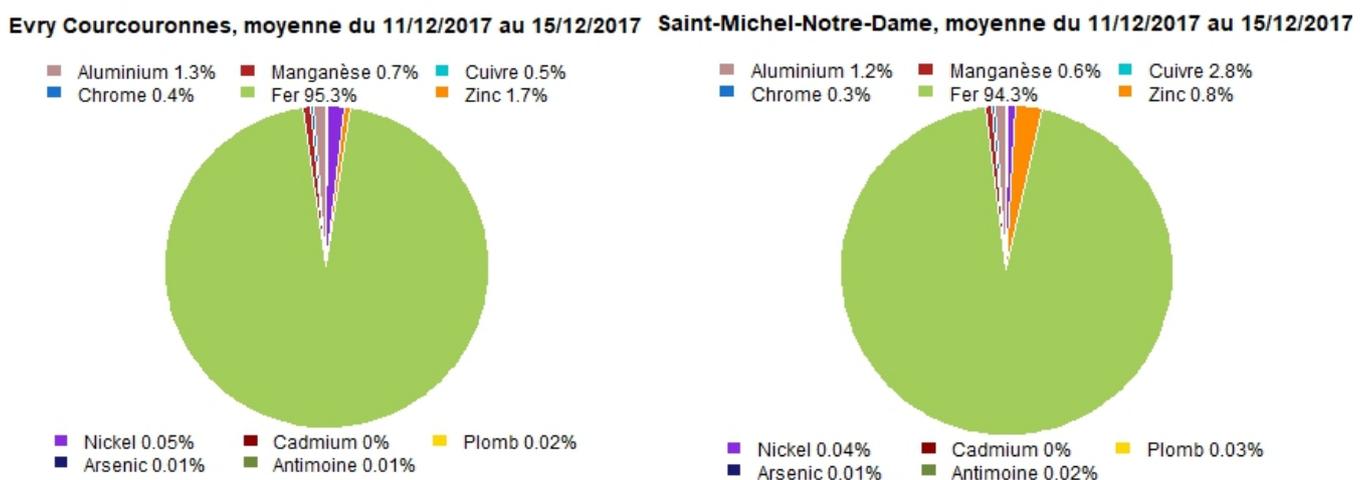


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en métaux, en moyenne sur les mesures du 11/12 au 15/12/2017, en gare d'Evry-Courcouronnes et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

La contribution moyenne de chaque métal est proche à Evry-Courcouronnes et Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre (2,8 % à Saint-Michel-Notre-Dame contre 0,5 % à Evry-Courcouronnes) et le Zinc (0,8 % à Saint-Michel-Notre-Dame contre 1,7 % à Evry-Courcouronnes). Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure (ANNEXE 4).

Parmi les onze métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 95 % des métaux mesurés à Evry-Courcouronnes et 94 % à Saint-Michel-Notre-Dame. Ce résultat est similaire aux mesures des campagnes précédentes.

En dehors du fer, les métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont l'Aluminium, le Zinc, le Manganèse, le Cuivre et le Chrome, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1,7 % pour le **Zinc** (0,8 % à Saint-Michel-Notre-Dame), 0,7 % pour le **Manganèse** (0,6 % à Saint-Michel-Notre-Dame), 0,4 % pour le **Chrome** (0,4 % à Saint-Michel-Notre-Dame), 0,5 % pour le

Cuivre (2,8 % à Saint-Michel-Notre-Dame) et 1,3 % pour l'**Aluminium** (1,2 % à Saint-Michel-Notre-Dame).

Les proportions en **Arsenic, Nickel, Cadmium, Antimoine et Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Evry-Courcouronnes 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 d'Evry-Courcouronnes et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium.

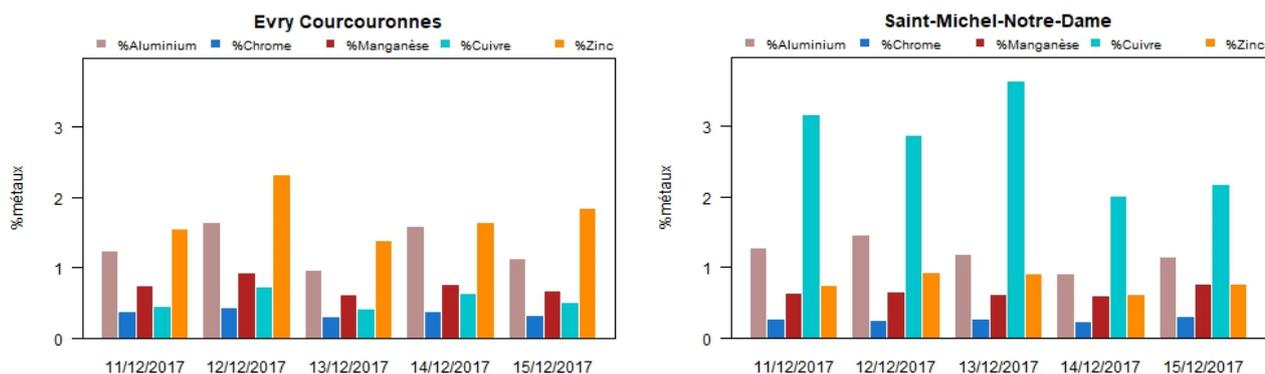


Figure 12 – Part journalière de l'Aluminium, Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11/12/2017 au 15/12/2017.

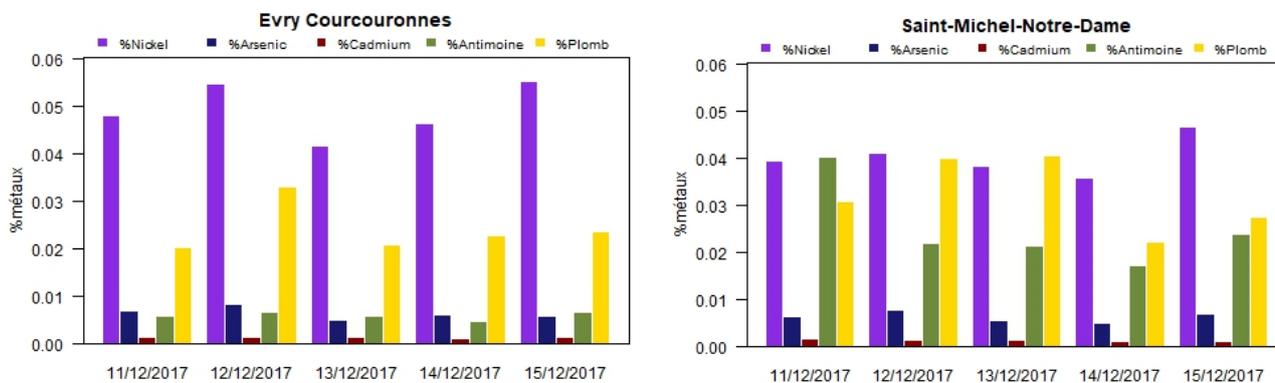


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11/12/2017 au 15/12/2017.

Ces graphiques mettent en valeur le profil inversé des parts de Cuivre et de Zinc entre Evry-Courcouronnes et Saint-Michel-Notre-Dame, ainsi que le profil très différent de l'Antimoine entre les deux gares (plus élevé pour Saint-Michel-Notre-Dame que pour Evry-Courcouronnes)).

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, Aluminium en quantité négligeable, 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 souterraines ferroviaires 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 souterraines ferroviaires, il est 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 concentrations des métaux présents sont cohérentes avec 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 (non mesuré), le Nickel et le Chrome. Ainsi les observations sur le réseau francilien sont cohérentes avec les résultats dans des environnements similaires.

Les différences observées entre les deux gares peuvent s'expliquer par des lignes de RER différentes : la ligne de RER D à Evry-Courcouronnes et la ligne RER C à Saint-Michel-Notre-Dame peuvent se distinguer en termes de câbles d'alimentation, de matériel roulant et par conséquent de composition des semelles de freinage ou encore de composition des rails. La similarité des résultats (part des métaux dans les PM₁₀ et part de chaque métal dans l'ensemble des métaux) entre la gare du Bras-de-Fer et la gare d'Evry-Courcouronnes confirme cette hypothèse (lien vers le rapport de la campagne en gare de Bras-de-Fer). En effet, les gares du Bras de Fer et d'Evry-Courcouronnes se situent sur la même branche du RER D et sont placées l'une à la suite de l'autre. Elles partagent les mêmes caractéristiques de réseau (voie et alimentation électrique) et de matériel roulant.

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 d'Evry-Courcouronnes et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame.

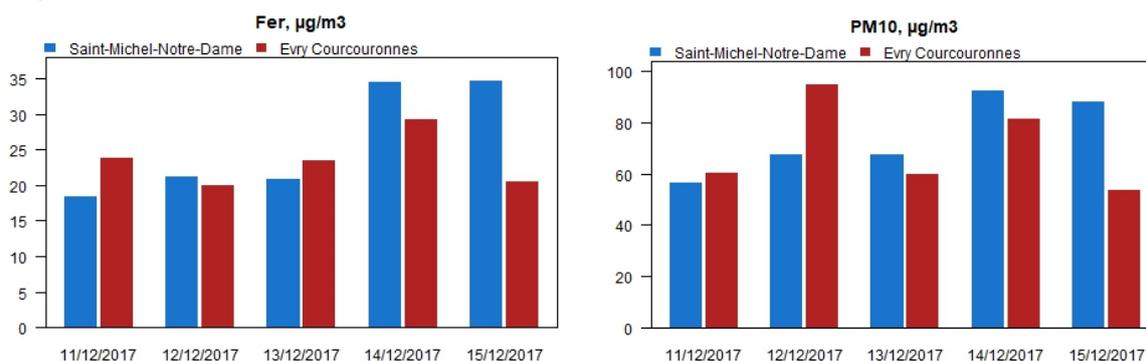


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer et en PM₁₀ à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11/12/2017 au 15/12/2017.

Les concentrations en Fer sont un peu plus élevées à Saint-Michel-Notre-Dame qu'à Evry-Courcouronnes : les moyennes journalières ont varié entre 20 µg/m³ (les 12 et 15/12/2017) et 29 µg/m³ (le 14/12/2017) en gare d'Evry-Courcouronnes (moyenne 23 µg/m³) et entre 18 et 35 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne 26 µg/m³).

Cinq métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m³ à un millier de ng/m³. Il s'agit du **Chrome, de l'Aluminium, du Manganèse, du Cuivre, et du Zinc** pour la gare Evry-Courcouronnes. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 100 à 192 ng/m³, contre une moyenne de 714 ng/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame. Cela s'explique a priori, comme pour les métaux détaillés ci-après, par des lignes de RER différentes émettant des métaux selon une répartition différente (voir les résultats en gare de Bras-de-Fer sur la même ligne qu'Evry-Courcouronnes). Les résultats à la station de référence pour cette campagne sont similaires aux relevés des campagnes précédentes.

Les teneurs journalières en **Zinc** à Evry-Courcouronnes (335 à 500 ng/m³) sont 2 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne 208 ng/m³).

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 143 et 232 ng/m³ (1,4 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame).

Les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 90 et 11 ng/m³, soit des niveaux supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.

Enfin, les concentrations journalières en **Aluminium** étaient comprises entre 232 et 486 ng/m³, soit des niveaux équivalents à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les teneurs de tous les métaux ont été relativement stables sur les cinq jours étudiés.

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers à Evry-Courcouronnes varient :

- Entre 1 et 2 ng/m³ pour l'**Antimoine**;
- Entre 1 et 2 ng/m³ pour l'**Arsenic** ;
- Pour le **Cadmium et le Plomb**, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m³ (limite de quantification).

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare d'Evry-Courcouronnes varie de 23 à 41% sur la semaine de mesure. A Saint-Michel-Notre-Dame, la part des métaux dans les particules PM₁₀ varie entre 33 % et 41 %.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 95 % des métaux mesurés, aussi bien à Evry-Courcouronnes qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (94 %). Viennent ensuite le **l'Aluminium** (1.3 %), le **Zinc** (1,7 %), le **Manganèse** (0,7 %), le **Cuivre** (0,5 %) et le **Chrome** (0,4 %). Les proportions en Arsenic, Nickel, Cadmium, Antimoine et Plomb sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La part des différents composés varie peu pendant la semaine de mesure.

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf essentiellement pour le Cuivre (0,5 % à Evry-Courcouronnes et 2,8 % à Saint-Michel-Notre-Dame) et le Zinc (1,7 % à Evry-Courcouronnes et 0,8 % à Saint-Michel-Notre-Dame), ce qui s'explique par des différences structurelles entre les lignes RER C et D.

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.

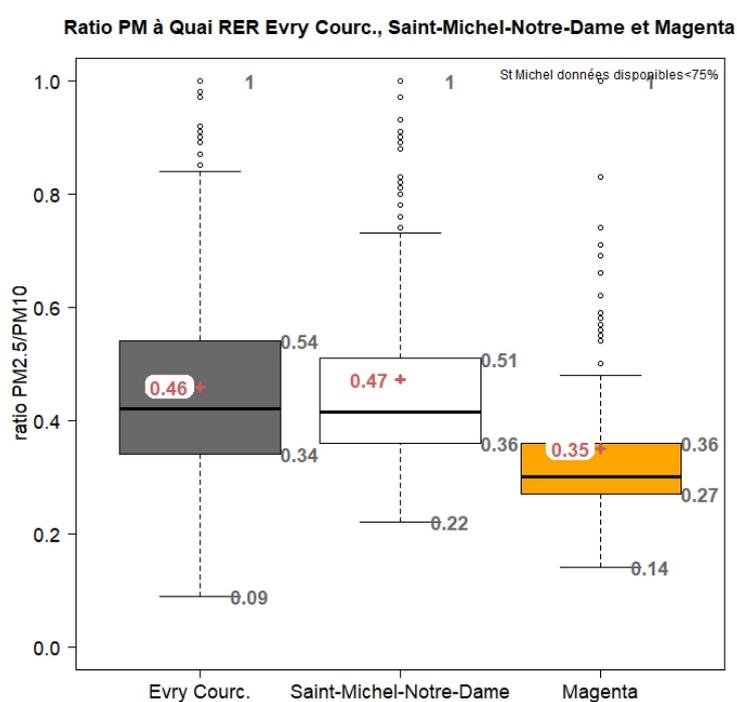


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en $PM_{2,5}/PM_{10}$, à la Gare RER D d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

En moyenne, en gare d'Evry-Courcouronnes, le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ est de 0,46, égal à celui de Saint-Michel-Notre-Dame (0,47). En comparaison, il est de 0,35 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. La dispersion du ratio est plus grande à Evry-Courcouronnes que dans les autres gares.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de $PM_{2,5}/PM_{10}$ sont présentées à la Figure 16.

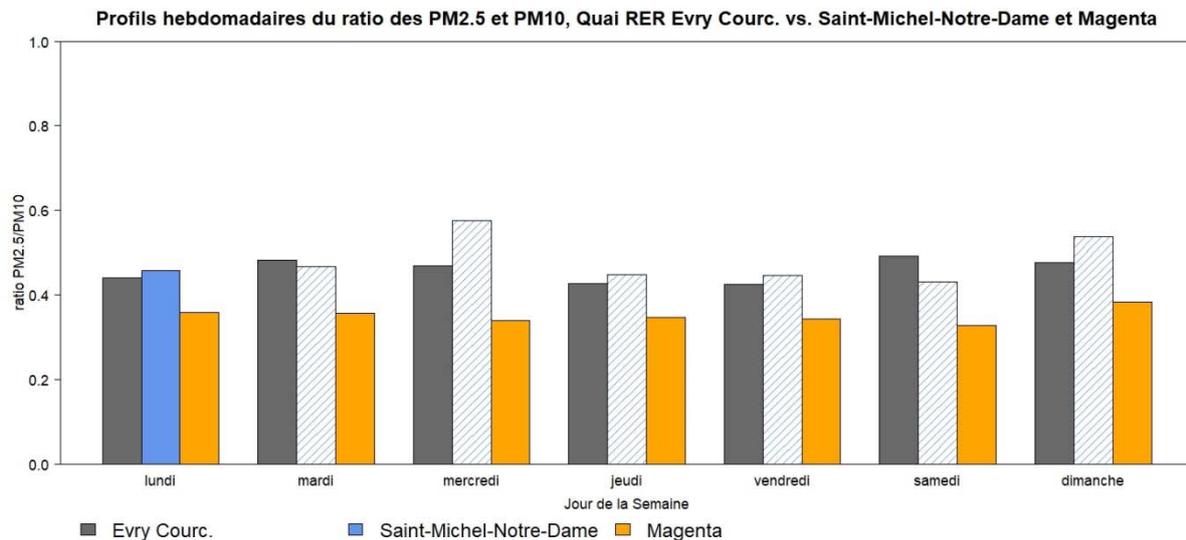


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 04/12/2017 au 24/12/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

Ces ratios sont globalement stables tout le long de la semaine, oscillant entre 0,42 et 0,49 à Evry-Courcouronnes. Cela s'explique par une compensation entre ratios élevés (nuit, période creuse au milieu de la journée) et ratios faibles (heures de pointe) tout le long de la semaine – cf. paragraphe ci-dessous. Le ratio est stable aussi à Saint-Michel-Notre-Dame.

2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17.

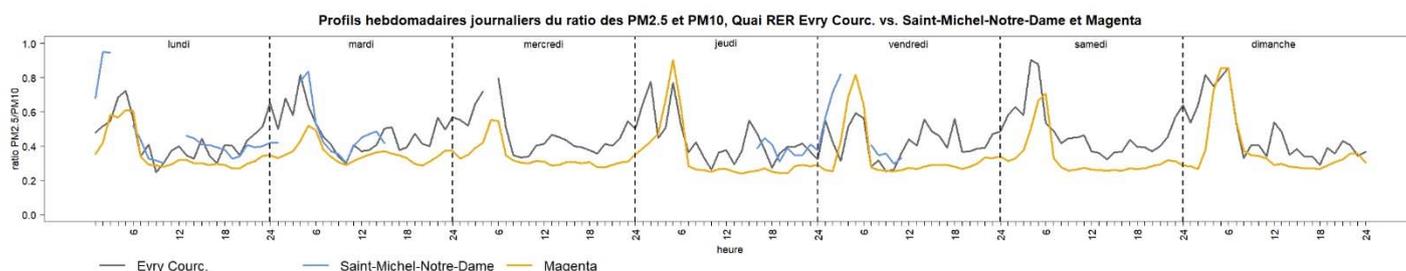


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

Le profil horaire des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à Evry-Courcouronnes est très fluctuant. Lors des jours ouvrés en période d'ouverture de la gare, le ratio varie beaucoup et se situe au-dessus de celui de Magenta. Le weekend, la nuit (horaires de fermeture de 1 à 5h) et en début de journée, le ratio est nettement plus élevé, jusqu'à 0,8. A ce moment-là, il y a beaucoup moins de remise en suspension ou d'émission de plus grosses particules (>2,5 µm).

En termes de variation, les profils sont proches les uns des autres : les ratios sont stables en journée, ils augmentent la nuit lorsque l'activité de la gare est nulle (trains, voyageurs) : les particules PM₁₀ se déposent au sol, les concentrations en PM₁₀ diminuent fortement pour se rapprocher de celles de PM_{2.5}. Un pic quotidien des ratios est observé en début d'ouverture de la gare.

Les profils moyens journaliers sont présentés à la Figure 18.

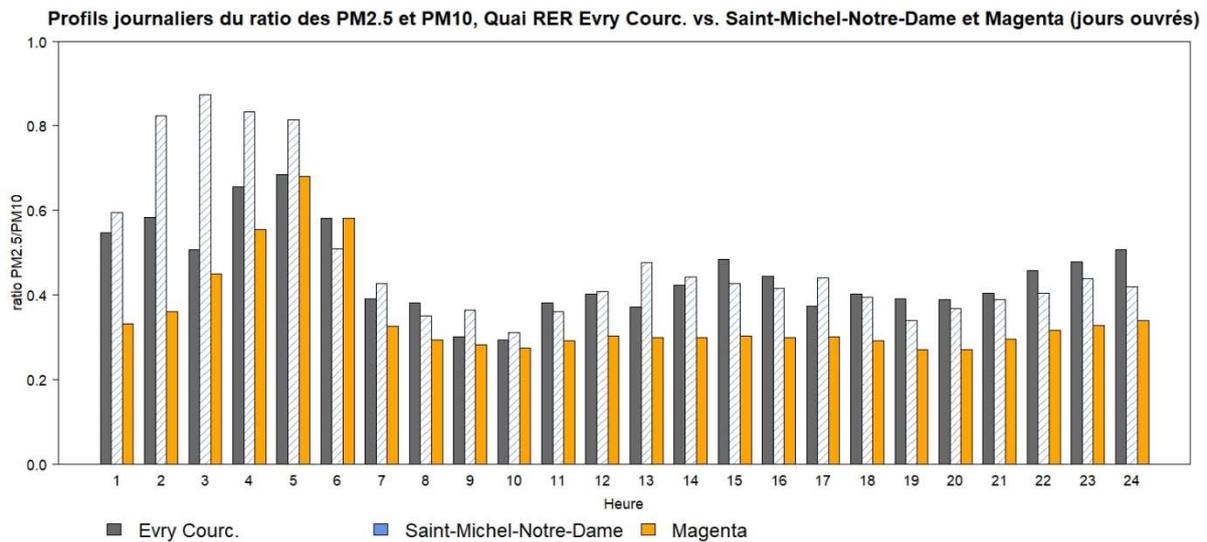


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 04/12/2017 au 24/12/2017 – [jours ouvrés](#). En hachuré, données disponibles < 75 %

Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 7h à 24h) en gare de Magenta (0.35) (0.40 à Saint-Michel-Notre-Dame, mais seulement sur 46 % des données). La différence à Evry-Courcouronnes est l'augmentation du ratio plus tôt, à partir de 21h, ainsi qu'une nette augmentation du ratio lors de la période creuse entre 11 et 15h (diminution rapide des niveaux de PM₁₀ à ce moment-là).

Entre 6 et 22h, le ratio est en moyenne de 0,40. La nuit (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public), les ratios augmentent jusqu'à 0,6, se rapprochant du ratio « classique » en air extérieur (i.e. non influencé par des sources ferroviaires spécifiques comme des travaux), ce qui est logique par rapport à la situation semi-enterrée de la gare : sans activité des trains ou d'autres sources, la composition de l'air à l'intérieur de la gare tend vers celle de l'air l'extérieur. Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules PM₁₀ et les PM_{2.5}, peut également expliquer en partie ces évolutions.

Les particules PM₁₀ mesurées en gare d'Evry-Courcouronnes sont composées à un peu moins de la moitié de particules PM_{2.5}. Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ atteint 0,46 à Evry-Courcouronnes, supérieur à celui de Magenta (0.35).

Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ est relativement stable à **l'échelle hebdomadaire** à Evry-Courcouronnes, Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, augmentant légèrement les weekends.

A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,40 en journée, qui augmente la nuit, jusqu'à 0,6 à partir de 22h à Evry-Courcouronnes (harmonisation avec l'air extérieur) et de 1h pour les autres gares. Cela se produit lorsque les concentrations en PM₁₀ diminuent fortement pour se rapprocher de celles de PM_{2.5} (hors période de fréquentation).

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, les conditions météorologiques et les imports de polluants (essentiellement pour les particules). 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.

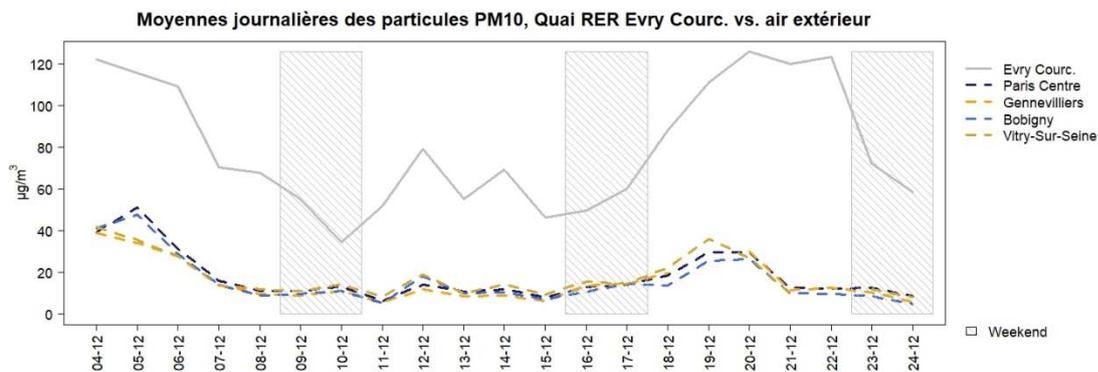
Pendant cette campagne de mesure, les paramètres météorologiques enregistrés ont été globalement conformes à ceux observés habituellement au cours du mois de décembre, avec des températures légèrement supérieures à la normale. Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁴, variant de 0 « très faible » à > 100 « Très élevé ») faible pendant plus de la moitié de la campagne de mesure (15 jours, soit 71 % du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 4 jours (19 % du temps) et l'indice « Très faible » et « Elevé » pendant 1 jour.



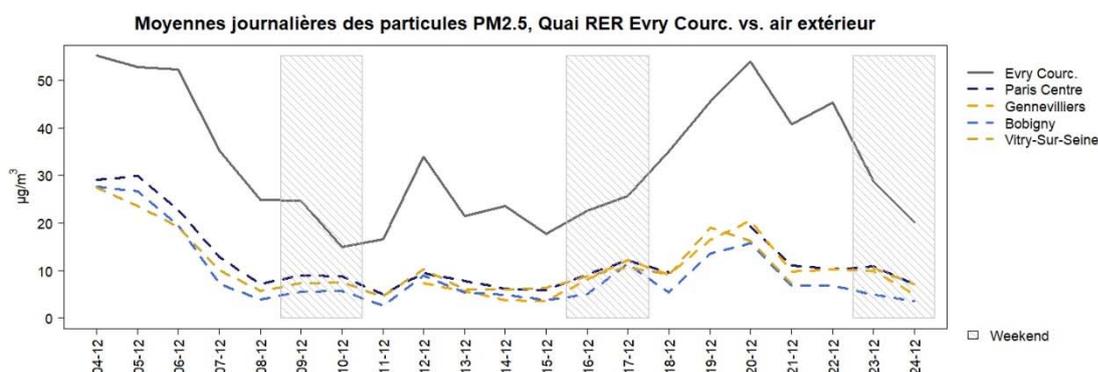
Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour le mois de décembre 2017.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare d'Evry-Courcouronnes avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée Figure 20, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5}.

⁴ 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.



(a)



(b)

Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM₁₀ (a) et en PM_{2,5} (b) en gare d'Evry-Courcouronnes et en air extérieur (situation de fond et proximité au trafic routier), période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

La faible profondeur du quai et son ouverture sur l'extérieur permet à l'air extérieur de descendre jusqu'aux quais : les particules produites par les activités locales (trafic, travaux) sont susceptibles d'atteindre les quais. Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Evry-Courcouronnes ne semblent pas liées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif (il n'y a pas de station Airparif mesurant les particules fines à Evry). Les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires d'Evry-Courcouronnes et des stations extérieures du réseau Airparif vont de 0,37 à 0,54, pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}.

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été suivi via les teneurs en CO₂, qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources de CO₂ (combustion, respiration humaine, source extérieure). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les relevés horaires sont présentés à la Figure 21.

Séries temporelles de la température, de l'humidité et du CO₂, Quai RER Evry Courc.

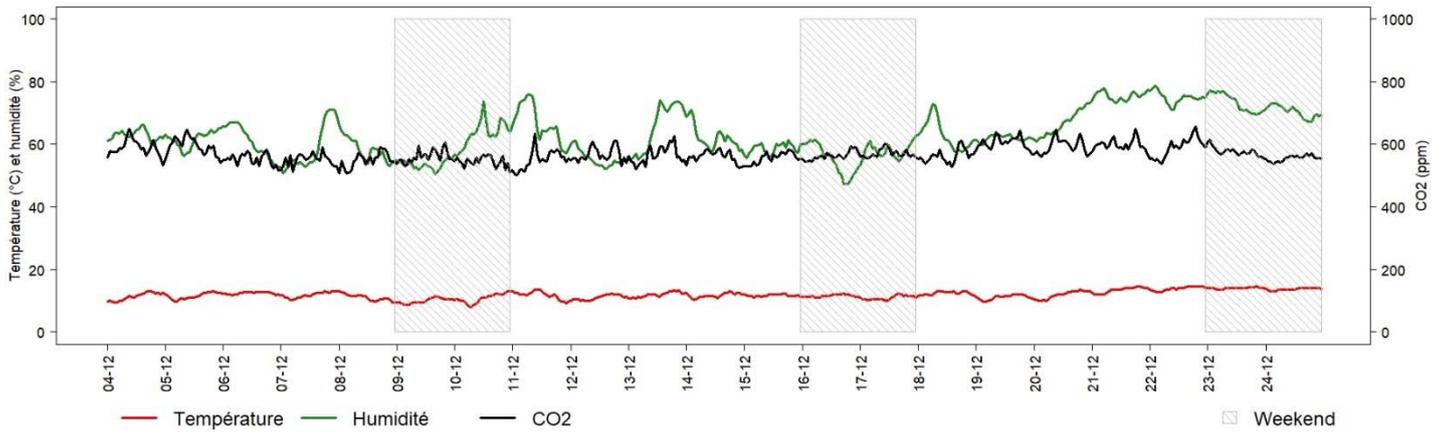


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

La température moyenne en gare d'Evry-Courcouronnes est de 12°C, les relevés horaires ayant varié entre 8 et 15°C (moyenne de 15°C à Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare d'Evry-Courcouronnes est de 63 %, les relevés horaires ayant varié de 48 % à 79 % ce qui est très fluctuant et sans doute lié à l'ouverture sur l'extérieur.

Les relevés horaires en CO₂ sont fluctuants (mais moins qu'à Saint-Michel-Notre-Dame), ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 569 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 503 ppm et 657 ppm (heures de pointe). Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm (sauf 1 h en gare de Saint-Michel-Notre-Dame), seuil à respecter dans des conditions normales d'occupation d'un bâtiment non résidentiel⁵.

Les variations des concentrations de CO₂ sont en moyenne faibles dans la gare d'Evry-Courcouronnes (cf. Figure 22).

Profils journaliers des particules PM₁₀ et du CO₂, Quai RER Evry Courc. (jours ouvrés)

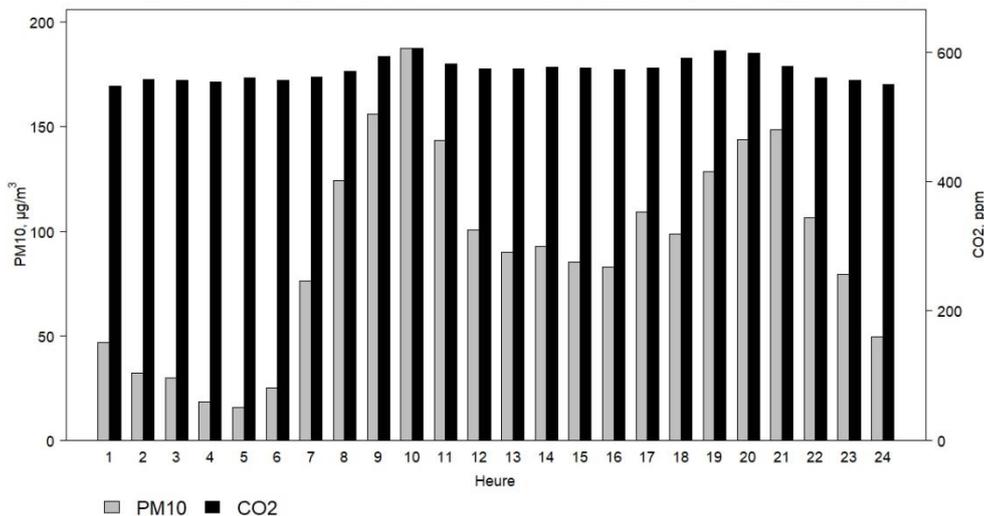


Figure 22 : Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017 – jours ouvrés.

La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés montre que les teneurs maximales en particules ne sont pas observées en même temps pour le CO₂. Le confinement est faible puisque la gare est ouverte sur l'extérieur, il est donc logique qu'il n'y ait pas

⁵ Concentrations de CO₂ dans l'air intérieur et effets sur la santé, Avis de l'Anses, rapport d'expertise collective, juillet 2013, Edition scientifique.

d'accumulation du CO₂ en heures de pointe (sources différentes et comportement différent du CO₂ par rapport aux particules).

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 qu'éléments potentiellement explicatifs des niveaux de particules et de leurs variations.

La gare d'Evry-Courcouronnes ne bénéficie pas de système de ventilation mécanique, les entrées et sorties d'air sont « naturelles ». L'étude de l'influence des paramètres de ventilation sur les niveaux de particules dans la gare n'est donc pas possible.

La différence de niveaux entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame, Evry-Courcouronnes et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare d'Evry-Courcouronnes et de Saint-Michel-Notre-Dame, mécanique à Magenta. La gare de Magenta est également plus grande (d'où un volume de mélange plus important). Cependant, la gare d'Evry-Courcouronnes est aussi plus aérée que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, avec une ouverture sur l'extérieur en direction de Paris. Ce paramètre influence habituellement les niveaux de particules à la baisse, un autre paramètre entre donc en jeu pour les forts niveaux d'Evry-Courcouronnes.

Il existe également une différence du nombre de voyageurs entre ces gares, mais cette variable n'est pas corrélée avec les concentrations : 17750 voyageurs par jour montant en gare d'Evry-Courcouronnes, contre 59483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78212 à Magenta (source interne SNCF : carte des montants 2016).

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

En moyenne, les jours ouvrés, 195 trains circulent en gare d'Evry-Courcouronnes (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 149 trains qui circulent habituellement (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 125 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 23, par créneau horaire.

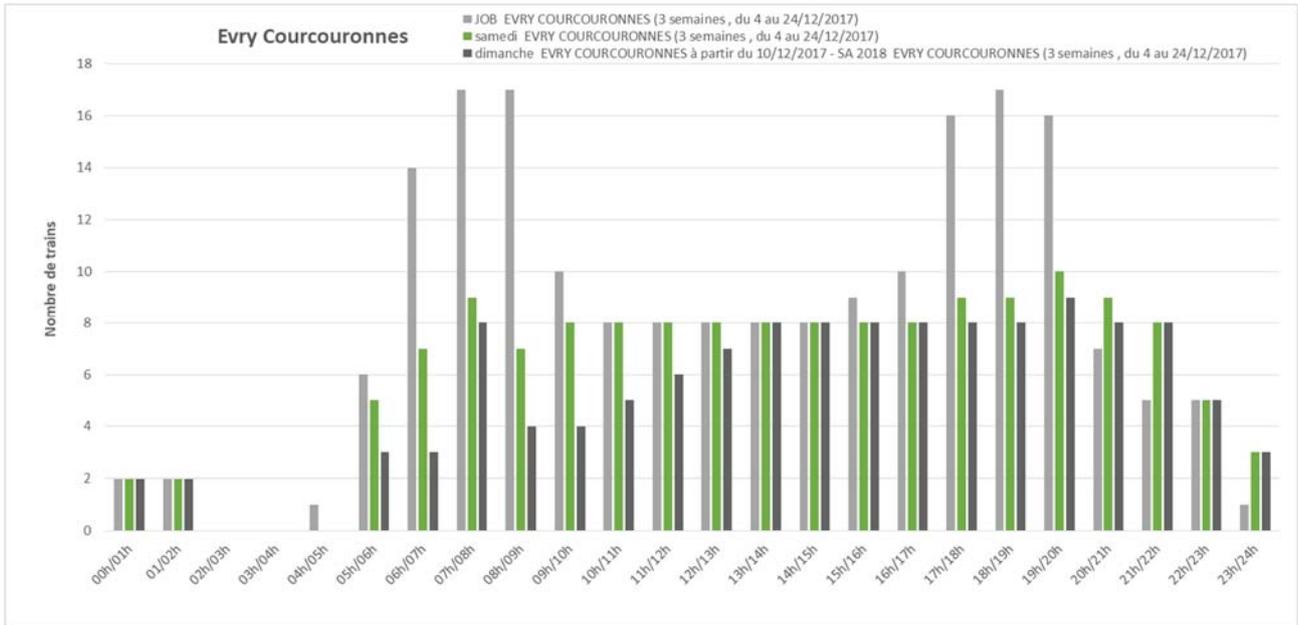


Figure 23 – Nombre théorique de trains enregistrés chaque heure à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 24, pour les jours ouvrés, en gare d'Evry-Courcouronnes.

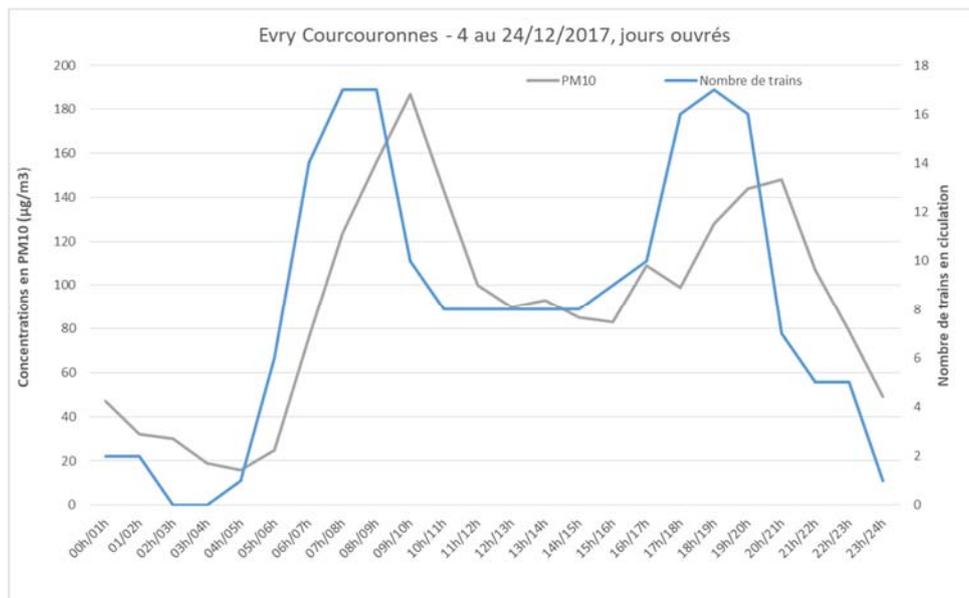


Figure 24 – Croisement entre les teneurs en particules PM₁₀ observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

Le profil des teneurs en particules PM₁₀ est clairement corrélé au nombre de trains en circulation avec cependant un léger décalage, dû à l'inertie des particules. On observe un effet retard sur les concentrations de particules.

Un croisement du nombre théorique de trains en circulation avec les relevés en particules en fonction du jour de la semaine est présenté à la Figure 25.

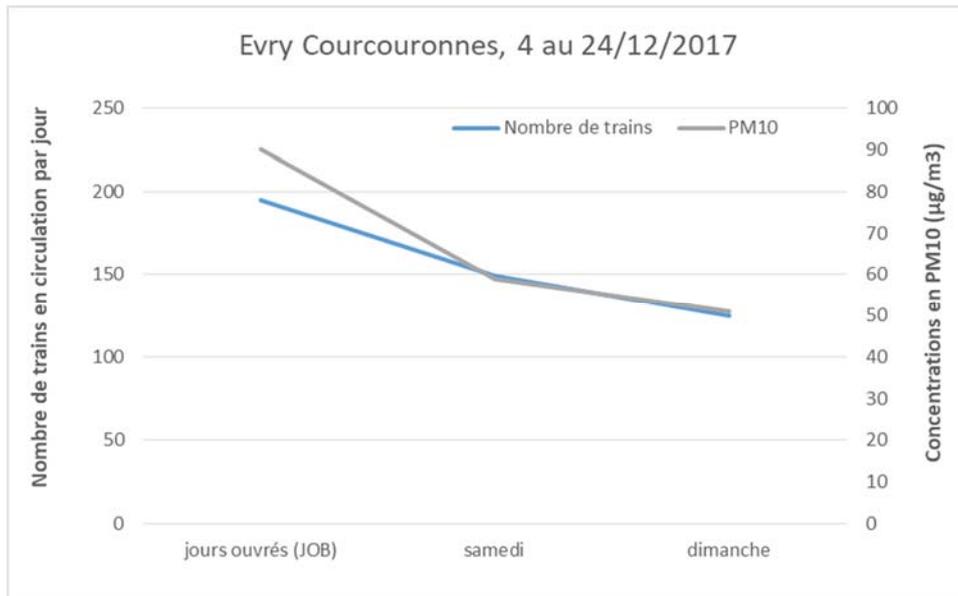


Figure 25 – Croisement entre les teneurs moyennes en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER D d'Evry-Courcouronnes, période du 04/12/2017 au 24/12/2017.

En gare d'Evry-Courcouronnes, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit par une baisse des teneurs en particules : baisse de 30 % du nombre de trains et diminution de 39 % des niveaux de PM₁₀.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, la ventilation ou encore les paramètres techniques de la gare d'Evry-Courcouronnes a été étudiée.

- 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, et la diminution du weekend.
- Les niveaux en CO₂, directement liés à la respiration humaine et par conséquent à la fréquentation de la gare, ne sont pas corrélés aux niveaux de particules en gare d'Evry-Courcouronnes, ceci étant dû à l'ouverture du quai sur l'extérieur (pas de confinement).
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai d'Evry-Courcouronnes ne sont pas corrélées à celles mesurées en air extérieur dans l'ambiance générale de fond. Cependant, une ou plusieurs sources locales extérieures, non mesurées par les stations du réseau Airparif, pourraient être sources de niveaux de particules plus élevés en gare d'Evry-Courcouronnes qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame

4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare d'Evry-Courcouronnes, pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5} :

- Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER D en gare d'Evry-Courcouronnes au cours du mois de décembre 2017 étaient en moyenne de 80 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 337 µg/m³ (enregistré lors de l'heure de pointe du matin).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 33 µg/m³, pour un maximum horaire de 104 µg/m³ (enregistré lors de l'heure de pointe du soir).

Les concentrations en particules PM₁₀ à la gare d'Evry-Courcouronnes sont similaires en moyenne à celles enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame, mais présentent des niveaux plus élevées (30 % en moyenne) sur les heures de pointe. Ces forts niveaux sont compensés en moyenne par des teneurs très faibles en heures creuses et la nuit, proches de celles de Magenta.

Les observations émises pour les concentrations en PM_{2,5} en gare d'Evry-Courcouronnes sont identiques à celles des PM₁₀.

Comme pour les autres gares étudiées jusqu'ici, l'analyse des teneurs en métaux des particules PM₁₀ confirme la présence majoritaire du Fer (environ 95 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Zinc (1,7 % des particules), l'Aluminium (1,3 %), le Manganèse (0,7 %), le Cuivre (0,5 %) et le Chrome (0,4 %). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre (2,8 %) et le Zinc (0,8 %).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation les jours ouvrés. Cependant, les différences de niveaux en particules entre gares s'expliquent surtout par le système de ventilation, le volume de la gare, et les activités environnantes, potentiellement émettrices de particules.

Ce rapport concerne les résultats de la 11^{ème} campagne de mesure Gare, après notamment celles réalisées en gare RER D de Grigny Centre et de Bras-de-fer. 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 des agents SNCF et dans les microenvironnements fréquentés.

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE D'EVRY-COURCOURONNES

Configuration de la gare :

Pas de portes palières, 2 voies, 2 quais, pas de correspondance

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 17750
(source : SNCF, carte des montants 2016)

Caractéristiques du matériel roulant (source : STIF / OMNIL) :

Matériel : type RER

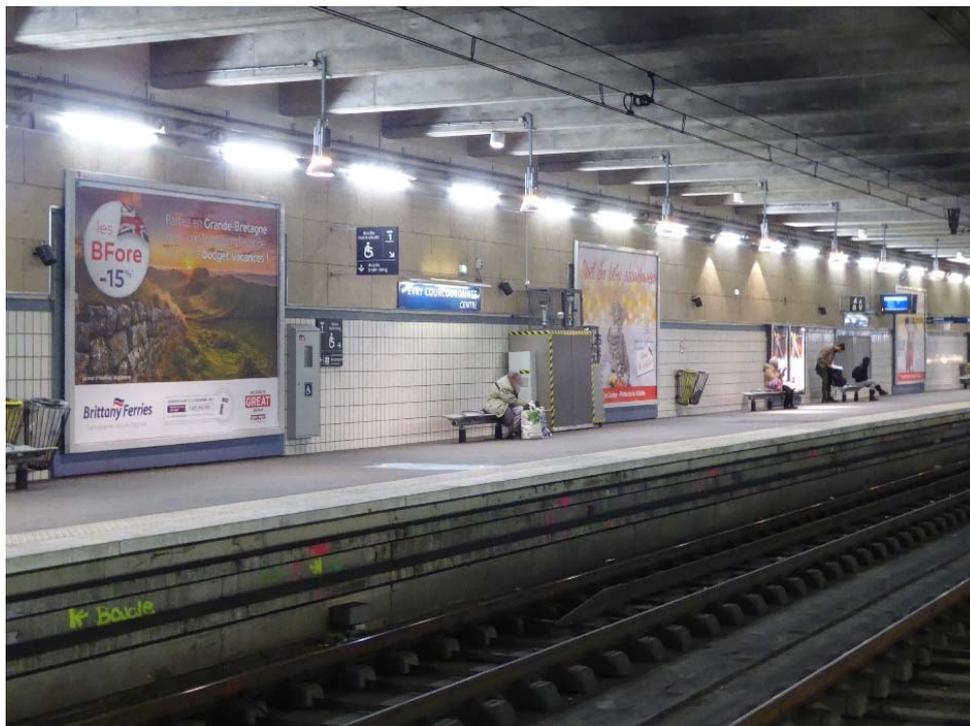
Modèle : automotrices Z5300, Z20500

Véhicules compartimentés (4 à 5 voitures par rame)

Véhicules à 1 ou 2 niveau(x), entre 794 et 1330 places totales par train.

Energie motrice : électrique (caténaire)

Type de roulement : fer



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, ont permis 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)⁶ 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 Micropolluant⁷.

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'ANSES³ dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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 satisfaisantes.

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.

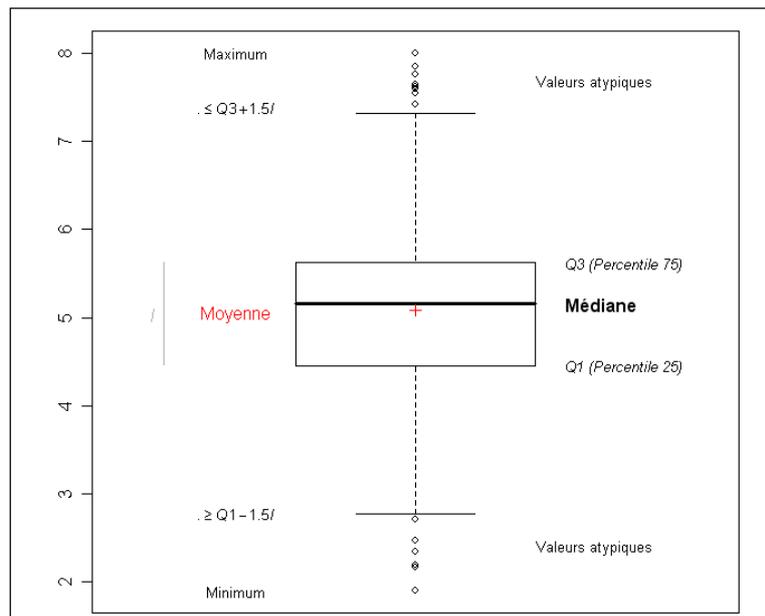
⁶ Mesures des PM₁₀ et PM_{2,5} selon la norme NF EN 12341 par FDMS (mesure par micro-balance, prise en compte de la fraction volatil des particules). A la station Magenta (mesures par AEF), mesure des PM₁₀ et des PM_{2,5} par micro-balance à l'aide des analyseurs automatiques de type RP1400 (R&P) appelés aussi TEOM, en prenant en compte la norme NF EN 12341.

⁷ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 : BOITE A MOUSTACHE

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

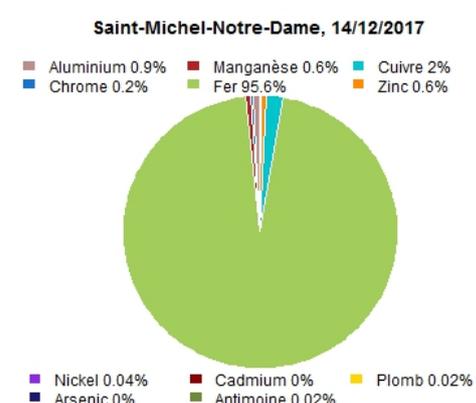
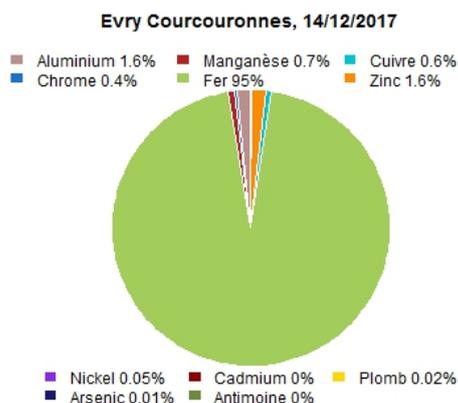
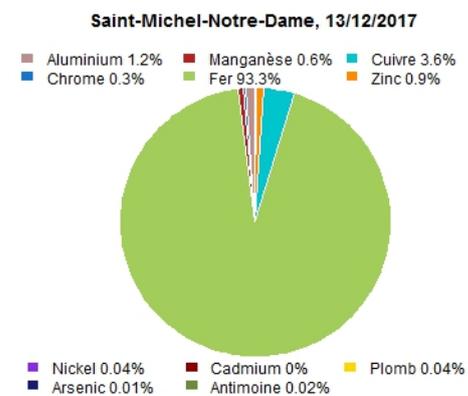
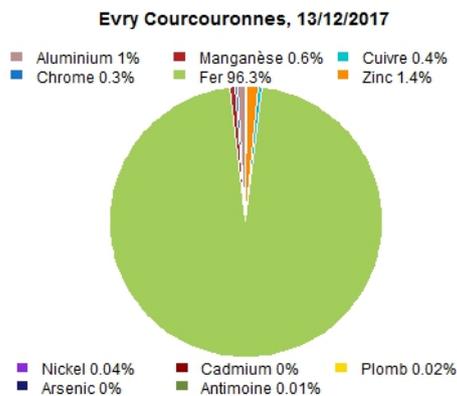
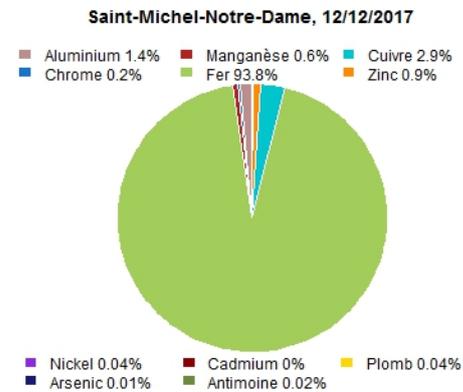
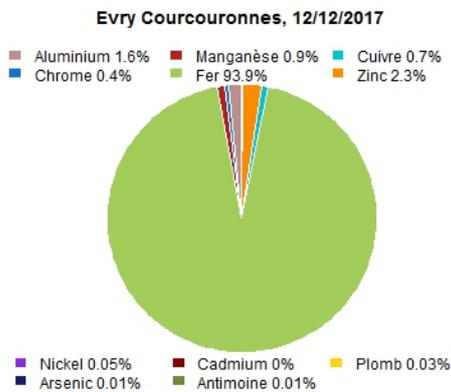
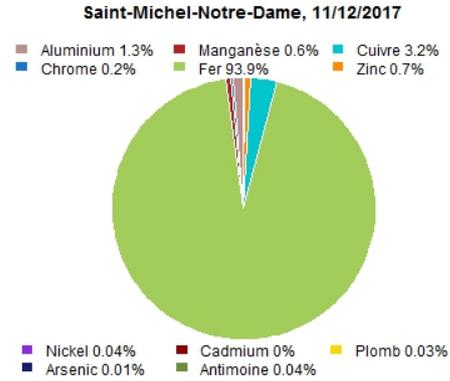
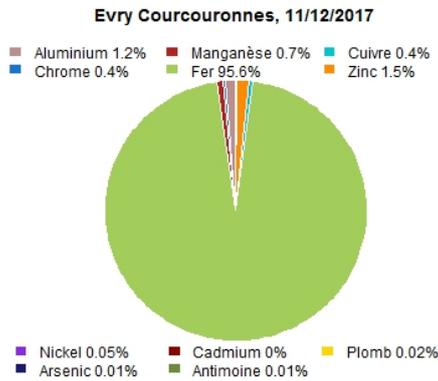
Une boîte à moustache (ou box plot) est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Pour ce faire, l'échantillon est séparé en 4 parties de même effectif, appelées quartiles. Un quartile est donc constitué de 25 % des données de l'ensemble de l'échantillon. Le deuxième quartile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



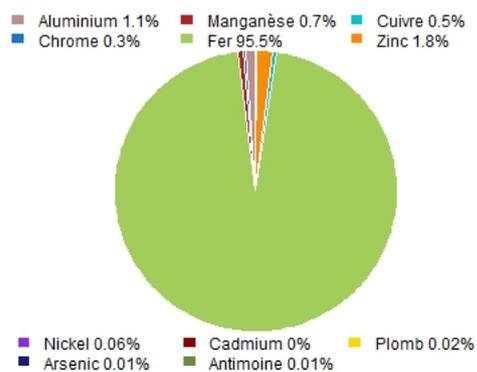
La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur, $1,5 * I$ (I étant l'écart interquartile, 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 $3Q + 1,5I$ (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).

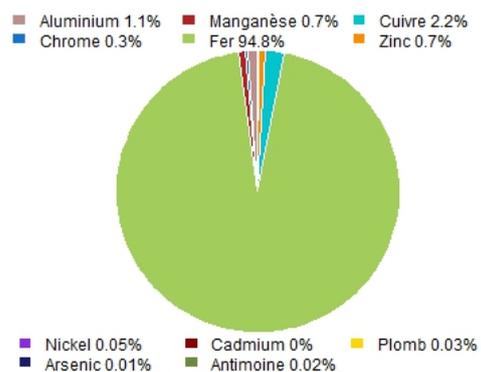
ANNEXE 4 : REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



Evry Courcouronnes, 15/12/2017

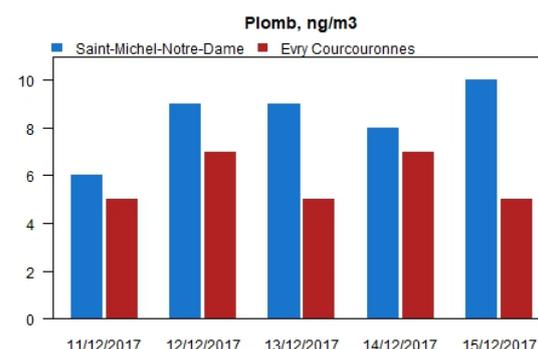
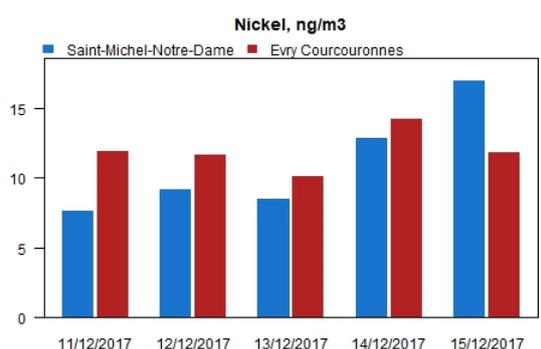
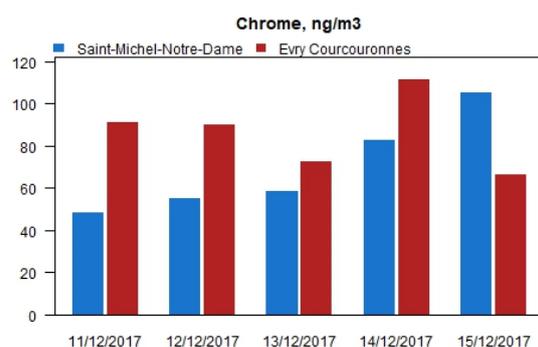
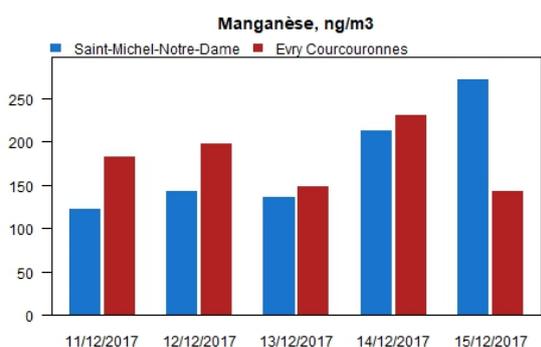
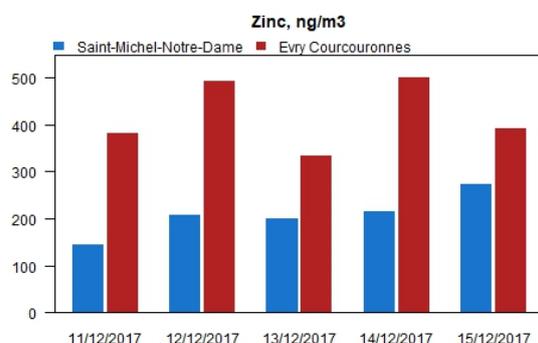
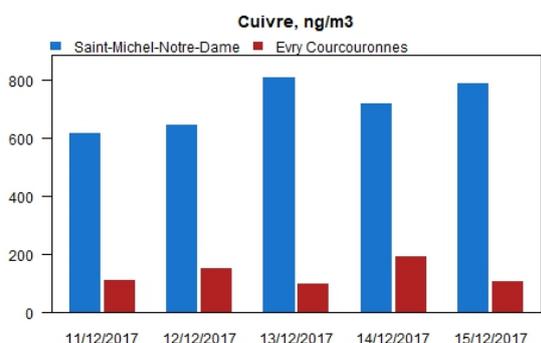


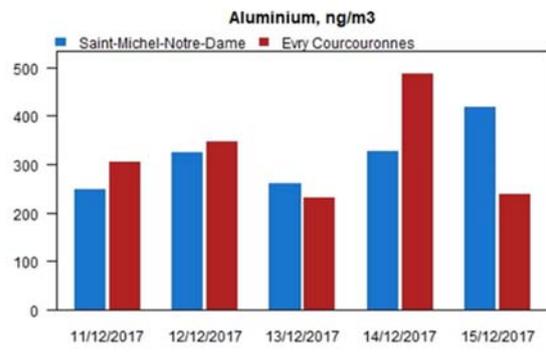
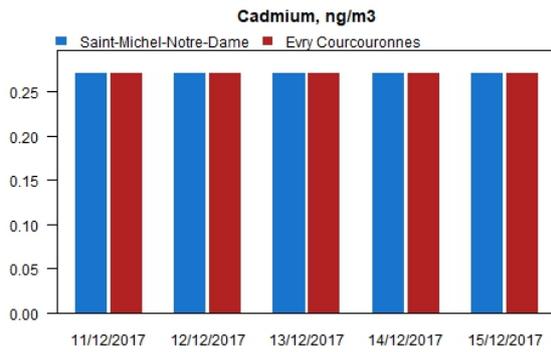
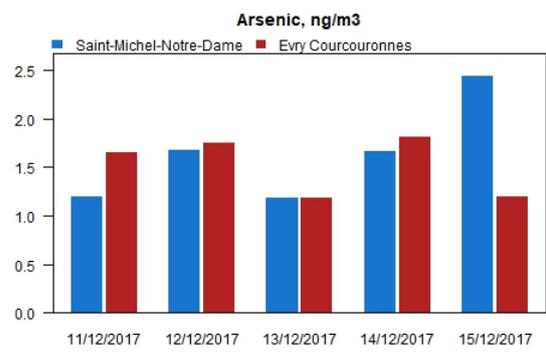
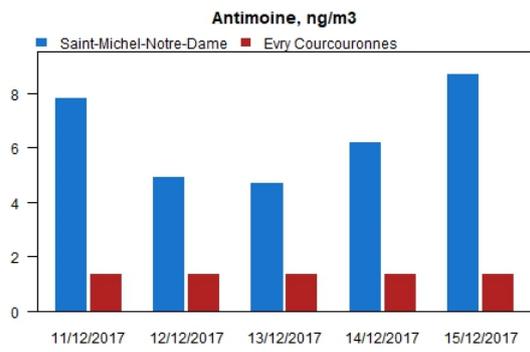
Saint-Michel-Notre-Dame, 15/12/2017



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE, CHROME, NICKEL, PLOMB, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET ALUMINIUM A LA GARE RER D D'EVRY-COURCOURONNES ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 11/12/2017 AU 15/12/2017.





Niveaux de Cadmium < limite de quantification (LQ)
 Attribution de la valeur LQ/2