

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

Juin/Juillet 2017

Décembre 2017





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 DE Grigny CENTRE – JUN / JUILLET 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. 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 **19/06/2017 au 09/07/2017** en gare de **Grigny Centre (RER D, quai 1)**. Les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2,5}) ont été suivies, ainsi que les métaux.



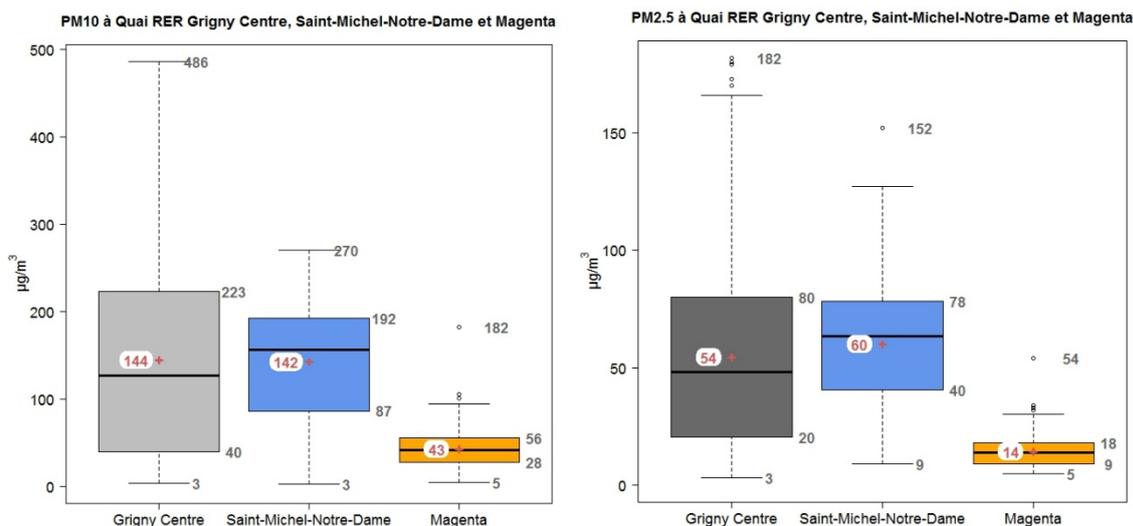
Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER D en gare de Grigny Centre au cours des mois de juin/juillet 2017 étaient en moyenne de 144 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 486 µg/m³ (enregistré le soir entre 18 et 19h).

Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 54 µg/m³, pour un maximum horaire de 182 µg/m³ (maximum atteint le matin entre 8 et 9h).

Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ? Les niveaux moyens en PM₁₀ sont similaires à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (142 µg/m³ enregistrés sur la même période) et plus de 3 fois supérieurs à ceux de la station Magenta (43 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 (le maximum est près de 2 fois plus élevé).

Les niveaux moyens en PM_{2,5} à Grigny Centre (54 µg/m³) sont similaires à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (60 µg/m³) 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 Grigny Centre est une ventilation naturelle.

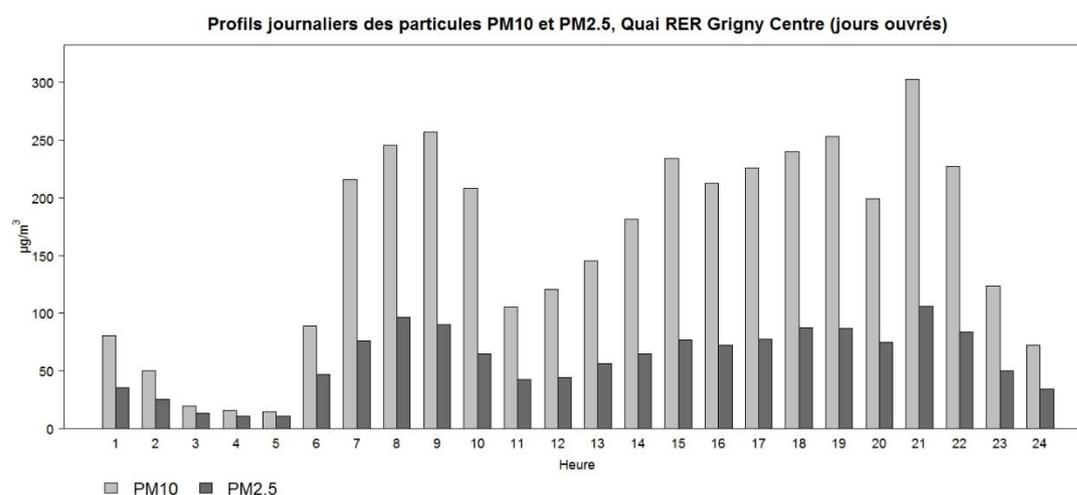
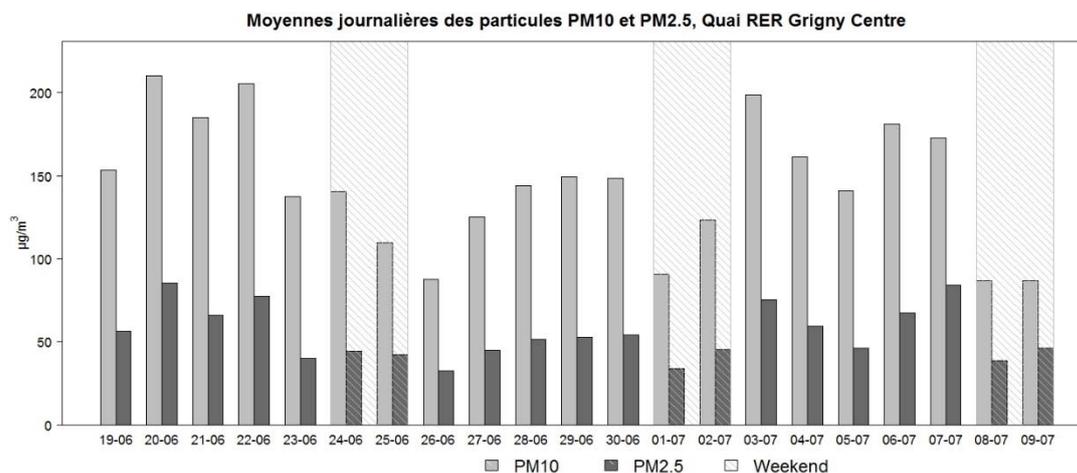


Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

Les relevés en particules PM₁₀ et PM_{2,5} à la gare de Grigny Centre 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 fluctuent beaucoup au cours de la journée, ainsi que probablement à d'autres facteurs environnementaux. Des travaux extérieurs d'aménagement du réseau de chaleur (forage) ont eu lieu à Grigny Centre sur toute la période du lundi au dimanche.

A l'échelle hebdomadaire à Grigny Centre, les profils montrent en moyenne des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM₁₀ (- 34 %) et les PM_{2.5} (-29 %). 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).

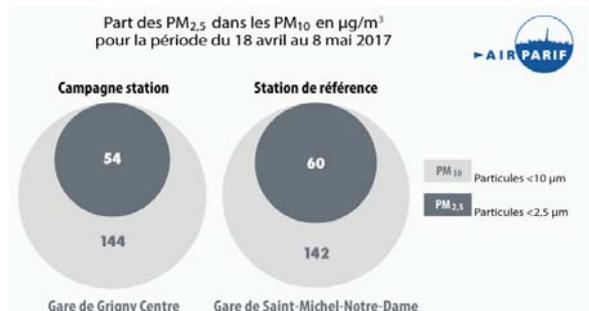


Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Grigny Centre, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 25 µg/m³ en PM₁₀ et 15 µg/m³ en PM_{2.5}. Les concentrations sont maximales vers 8-9h le matin et 20-21h le soir. Les concentrations sont alors de 280 µg/m³ en moyenne sur une heure en PM₁₀ et 98 µg/m³ en PM_{2.5}. 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, une période de « creux » plus marquée entre 10 et 14h, une période atypique de forts niveaux l'après-midi entre 14 et 16h, et un maximum atteint entre 20 et 21h plutôt qu'entre 19 et 20h à Saint-Michel-Notre-Dame. Les niveaux de PM_{2.5} et de PM₁₀ en heures de pointe (6-10h et 16-21h) sont en moyenne respectivement 4% et 19% plus élevés à Grigny Centre qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (heures de pointe entre 8-13h et 17-21h).

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 ; les activités environnantes jouent aussi un rôle, dans ce cas les travaux de forage à proximité de la gare semi-enterrée ont probablement un impact important.

Ratio PM_{2,5}/PM₁₀ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio PM_{2,5}/PM₁₀ en gare de Grigny Centre est en moyenne de 0,46, similaire à celui enregistré à Saint-Michel-Notre-Dame (0,44), et supérieur à celui de Magenta (0,36). 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 PM₁₀ 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 ?

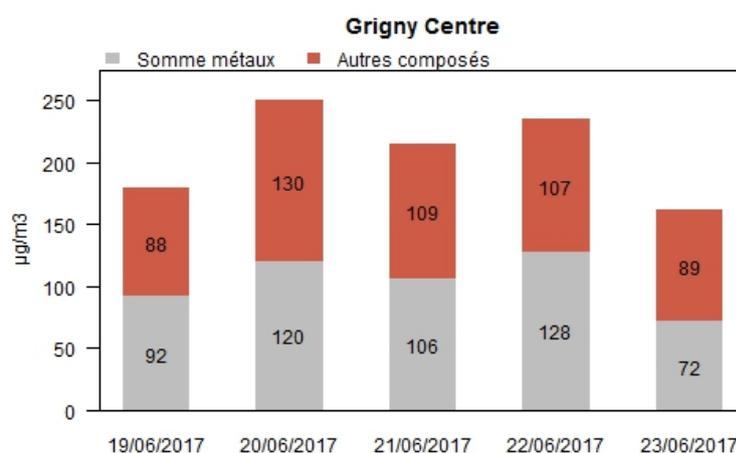
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 45 à 54% sur la semaine de mesure (19/06 au 23/06/2017) en gare de Grigny Centre, part relativement haute par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame (35%). Peu de fluctuations sont observées sur la semaine de mesure. Sur la même 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 97 % des métaux mesurés, aussi bien à Grigny Centre qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (96%). Suivent ensuite le **Zinc** (1,2% à Grigny Centre), le **Manganèse** (0,8%), le **Chrome** et le **Cuivre** (0,4%). Les proportions en Arsenic, Antimoine, Cadmium 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 1,4%). Les résultats pour le Nickel ont été invalidés en gare de Grigny Centre et de Saint-Michel-Notre-Dame.

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

Les relevés journaliers ont augmenté de lundi à vendredi sur la semaine de prélèvement sur les deux sites de mesure : le maximum a été atteint le jeudi à Grigny Centre, le vendredi à Saint-Michel-Notre-Dame, en lien en partie avec l'augmentation des teneurs en PM₁₀.



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	14
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	14
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	15
2.1.2. PARTICULES PM _{2,5}	16
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	18
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE	18
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	20
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	21
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	24
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	24
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	25
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	28
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2,5}	30
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	30
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	30
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES	31
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	33
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	33
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	34
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	36
4. CONCLUSION.....	39

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.

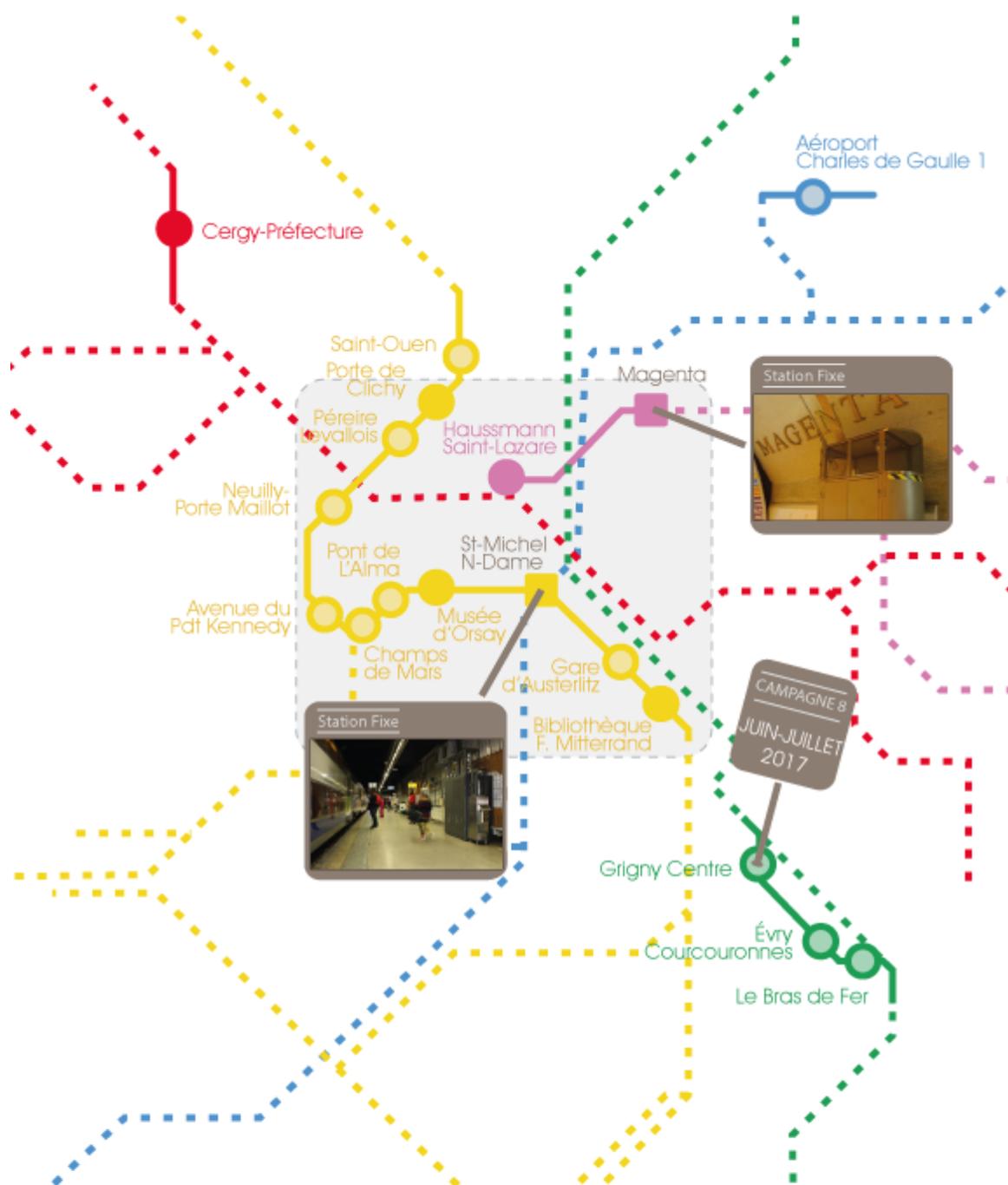
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules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

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (Grigny Centre), 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'Essai Ferroviaire, 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 Grigny Centre, sur le RER D (Malesherbes/Melun au Sud – Creil au Nord), est concernée par le programme de partenariat. Elle est située route de Corbeil, à Grigny (91350).

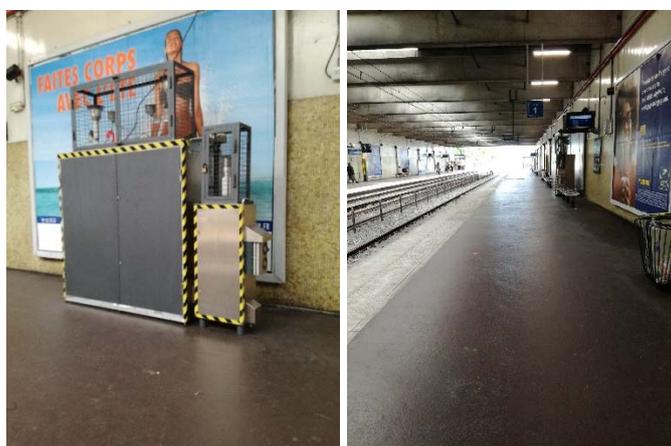
Cette gare RER est mixte ou semi-enterrée (une partie des quais est souterraine et une partie aérienne), de faible profondeur (les quais sont au niveau -1 par rapport au hall de la gare mais leur extrémité vers Paris donne sur l'extérieur). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation 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 de Grigny Centre (RER D) est de 9940 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Grigny Centre (2 sens confondus) est de 200 les jours ouvrés (jours JOB), 139 les samedis et 120 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.



PLAN GRIGNY CENTRE

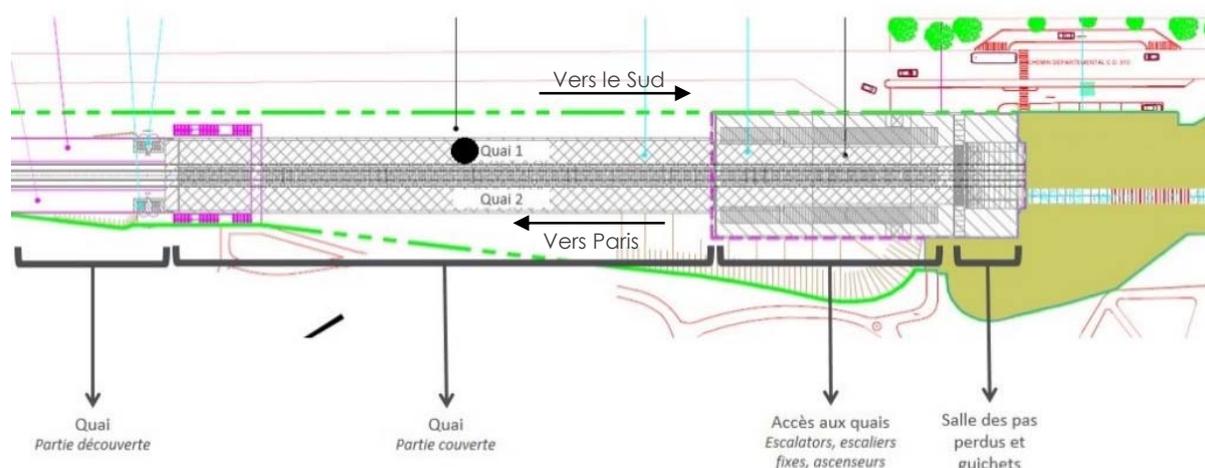


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de Grigny Centre, ligne RER D, quai 1), photo de la station de mesure (quai) et photo du quai 1.

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 de Grigny Centre ont été réalisées pendant 3 semaines, du 19/06/2017 au 09/07/2017 (date de début des vacances scolaires d'été). 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.

Il est à noter que durant cette période de mesure, l'environnement proche de la gare de Grigny Centre était en travaux, entre les quais extérieurs et la rue Pasteur (construction d'une chaufferie d'appoint pour un système de géothermie destiné au quartier, voir Figure 3). Par ailleurs, des « travaux de maintenance classique » sur la ligne entre Juvisy et Corbeil Essonnes ont eu lieu tous les weekends et ont entraîné une modification des horaires de trains. Le Tableau 1 ci-dessous résume ces changements en termes de nombre de trains. Ces travaux sur cette portion de la ligne ont impacté les horaires de train mais les travaux n'ont pas eu lieu effectivement en gare de Grigny Centre.

	Samedi 24 juin de 5h55 à 21h35	Dimanche 25 juin de 12h25 à 21h25	Samedi 1 ^{er} /8 juillet de 5h45 à 21h20	Dimanche 2 juillet de 18h55 à 21h15
Nombre de trains normal	127	79	127	24
Nombre de trains modifié pour les travaux de maintenance	83	44	115	12

Tableau 1 : Récapitulatif des changements de circulation lors des travaux des weekends de la campagne



Figure 3 : Photos de l'environnement de la station Grigny Centre (travaux de construction de la chaufferie d'appoint)

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 de Grigny Centre sont comparés aux observations sur les quais des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame), pendant la même période de mesure. Il est à noter que la gare Saint-Michel-Notre-Dame était fermée le dernier weekend de la campagne (8 et 9 juillet 2017), les niveaux de ce weekend-là sont donc légèrement sous-estimés.

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 de Grigny Centre 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 Grigny Centre	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare Grigny Centre	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	3	3	5	3	9	5
Percentile 25 (P25)	40	87	28	20	40	9
Médiane ou Percentile 50	127	157	42	48	63	14
Moyenne	144	142	43	54	60	14
Percentile 75 (P75)	223	192	56	80	78	18
Maximum horaire	486	270	182	182	152	54
% de données horaires valides	99	100	95	99	99	95

Tableau 2 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Grigny Centre et aux stations de référence, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

Les niveaux moyens en PM₁₀ relevés en gare de Grigny Centre sont similaires à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et plus de 3 fois supérieurs à ceux de la gare de Magenta.

Les résultats pour les PM_{2,5} à la Gare RER D de Grigny Centre sont en moyenne similaires à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et près de 4 fois supérieurs à ceux de la gare de Magenta.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER D de Grigny Centre, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel et Magenta, est présentée à la Figure 4 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 4 présente les boîtes à moustaches des résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en Gare RER D de Grigny Centre, ainsi qu'à Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta.

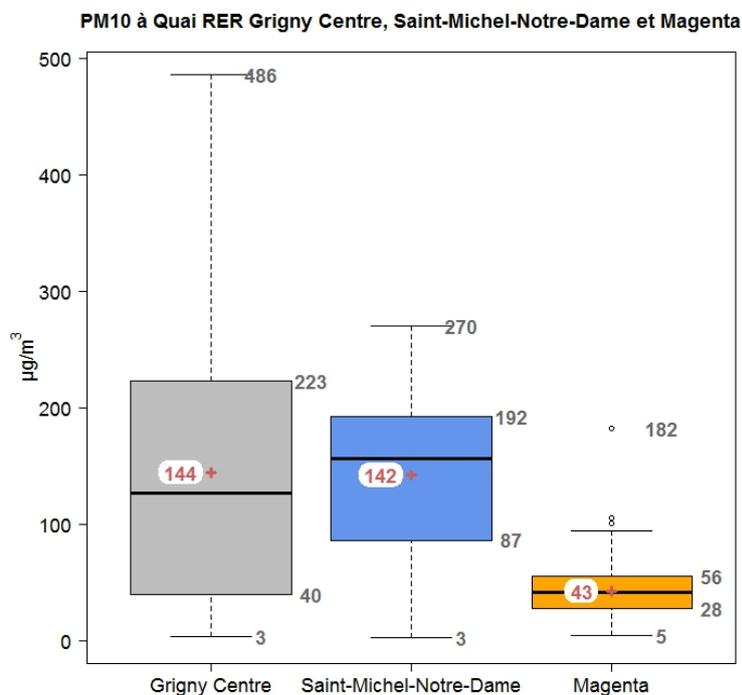


Figure 4 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER D de Grigny Centre et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

Elle montre une répartition très étendue des concentrations : 50 % des données horaires relevées à la Gare RER D de Grigny Centre sont comprises entre 40 et 223 µg/m³, pour une moyenne de 144 µg/m³ et une médiane à 127 µg/m³. Le maximum atteint à Grigny Centre est de 486 µg/m³ (enregistré le jeudi 29 juin entre 18 et 19h). Ce maximum est très élevé. Ce niveau horaire inhabituellement élevé pour ce créneau peut être dû aux travaux effectués à ce moment près de la gare tout le long de la semaine (voir paragraphe 1.2 PERIODE DE MESURE).

Les concentrations en PM₁₀ à la Gare RER D de Grigny Centre 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 de Grigny Centre par rapport au site de Saint-Michel-Notre-Dame (où 50 % des données se trouvent dans la fourchette de 87 – 192 µg/m³). Les 25% des concentrations les plus hautes, supérieures au percentile 75, sont aussi plus dispersées à

Grigny Centre (entre 223 et 486 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) alors qu'elles se situent entre 192 et 270 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de Grigny Centre, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules PM_{10} est de 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Magenta, contre 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Grigny Centre.

La différence de niveaux entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame, Grigny Centre et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare de Grigny Centre 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 de Grigny Centre 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 les niveaux de particules à la baisse, d'autres sources entrent donc en jeu pour les forts niveaux de Grigny Centre.

Le nombre de trains circulant en gare de Grigny Centre est de 2 à 3,4 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 : 9 940 voyageurs par jour montant en gare de Grigny Centre, contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78 212 à Magenta (source interne SNCF : carte des montants 2016).

2.1.2. PARTICULES $\text{PM}_{2,5}$

La boîte à moustaches des concentrations de $\text{PM}_{2,5}$ relevées à la gare RER D de Grigny Centre est présentée Figure 5, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame.

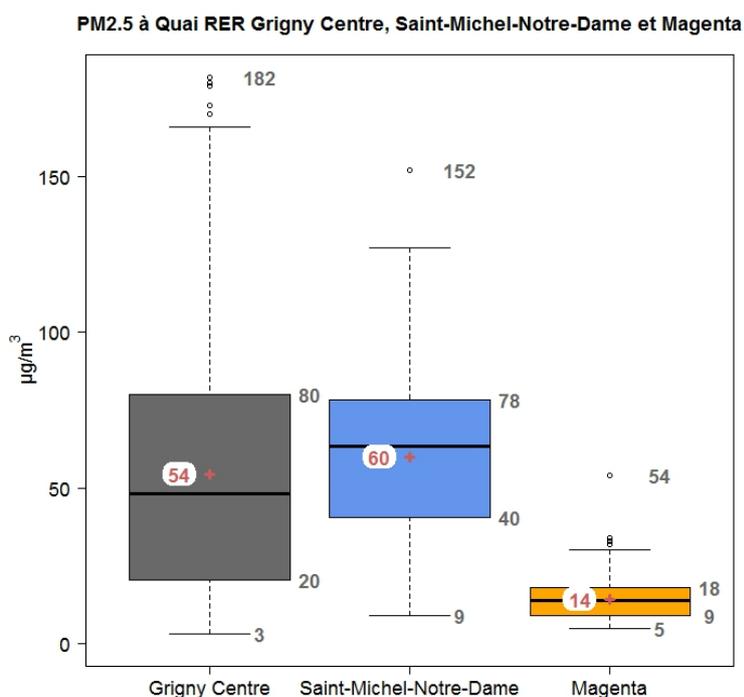


Figure 5 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en $\text{PM}_{2,5}$, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la Gare RER D de Grigny Centre et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

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 de Grigny Centre sont comprises entre 20 et 80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, pour une moyenne de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et une médiane à 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le maximum atteint à Grigny Centre est de 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (enregistré le vendredi 7 juillet entre 8 et 9h) et n'est donc pas contemporain du maximum horaire pour les PM_{10} .

Comparées à Saint-Michel-Notre-Dame, les concentrations de $PM_{2,5}$ sont aussi plus dispersées au-dessus du percentile 75, entre 80 et 182 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Grigny Centre alors qu'elles se situent entre 78 et 152 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame.

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

Le fait que les teneurs en $PM_{2,5}$ en gare RER D Grigny Centre dépassent régulièrement celles de Saint-Michel-Notre-Dame (dans les plus hautes concentrations) peut aussi provenir des travaux proches de la gare de Grigny Centre. Les sources de particules $PM_{2,5}$ sont différentes de celles des PM_{10} : l'une des sources à Grigny Centre pourrait être l'utilisation d'engins de manutention, émettant des $PM_{2,5}$ et pouvant influencer les niveaux souterrains. En effet, le générateur de la foreuse pour les travaux du réseau de chaleur a fonctionné tous les jours et est susceptible d'émettre des $PM_{2,5}$.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER D de Grigny Centre pendant la campagne est de 144 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM_{10} et de 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $PM_{2,5}$.

Les niveaux moyens en particules PM_{10} en gare de Grigny Centre sont similaires à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (142 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de la station Magenta (43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules $PM_{2,5}$ en gare de Grigny Centre sont de même similaires à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de Magenta (14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

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

Les moyennes horaires les plus élevées ont été enregistrées, sur cette période de mesure, sur le quai de la gare Grigny Centre pour les PM_{10} et pour les $PM_{2,5}$. Ces niveaux élevés de PM pourraient en partie s'expliquer par des travaux proches de la gare lors de la campagne.

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 6. Les niveaux à Saint-Michel-Notre-Dame le dernier weekend de la campagne sont faibles car la gare était alors fermée.

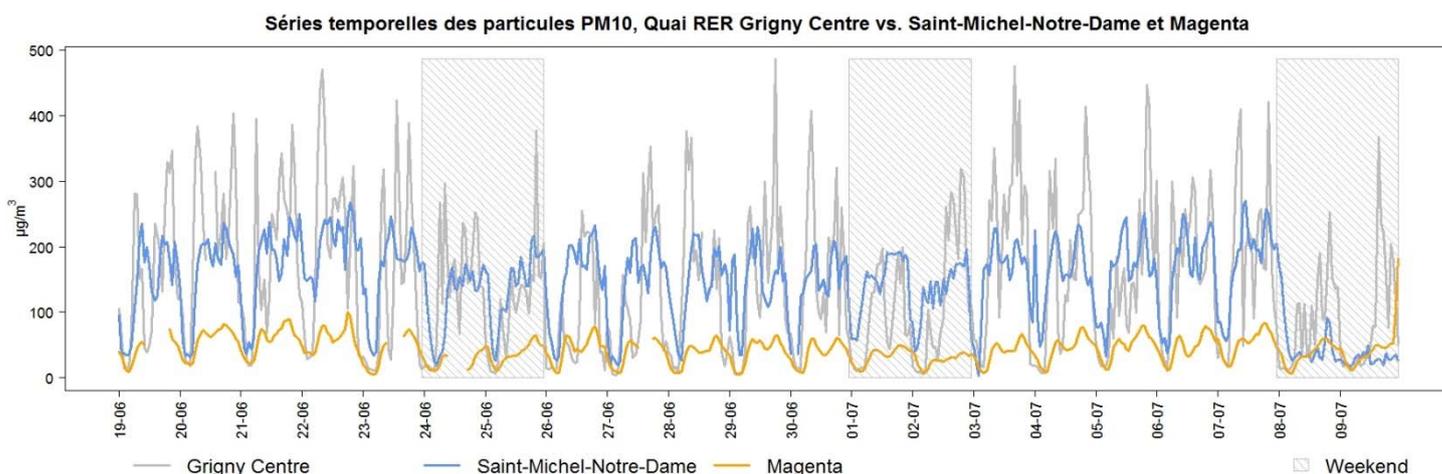


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare RER D de Grigny Centre et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 19/06/2017 au 09/07/2017)

En gare de Grigny Centre, 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 Grigny Centre, les niveaux sont nettement plus fluctuants et surtout sont différents en valeur absolue, pendant cette campagne de mesure.

A Grigny Centre, les moyennes horaires dépassent fréquemment 200 µg/m³ en journée, voire 300 µg/m³ régulièrement et 400 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 du trafic sont souvent nettement plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Le maximum horaire a été enregistré à Grigny Centre le jeudi 29 juin entre 18 et 19h (486 µg/m³, contre 270 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame le vendredi 7 juillet entre 10 et 11h).

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

Par ailleurs, en gare de Grigny Centre, il est possible de constater plusieurs particularités, absentes des gares investiguées jusqu'à présent.

La première de ces particularités est la constatation de forts niveaux en-dehors des heures de pointe, entre 14h et 16h le plus souvent. Lors des JOB, la courbe prend ainsi fréquemment une allure

à 3 pics, avec un pic de milieu de journée parfois plus important que ceux des classiques heures de pointes du matin et du soir.

Une deuxième particularité en gare de Grigny Centre est, lors de plusieurs journées de mesure, la baisse bien plus importante des niveaux de PM₁₀ (proches des niveaux de nuit) en journée en période creuse (entre 10 et 14h), par exemple les 19, 21 et 23 juin ou le 4 juillet.

Enfin, une troisième particularité en gare de Grigny Centre est l'occurrence de niveaux qui restent relativement élevés par comparaison à Saint-Michel-Notre-Dame, au-dessus de 200/300 µg/m³ les weekends, notamment les dimanches après-midi.

Une hypothèse valable pour l'évolution de ces niveaux (soit à la baisse, soit à la hausse), est l'influence des travaux de géothermie évoqués précédemment, qui sont éventuellement moins actifs entre 10 et 14h mais actifs après 14h et avant l'heure de pointe de la gare RER, et qui ne se sont pas interrompus le weekend (vérification faite auprès de la mairie de Grigny Centre).

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

Les relevés horaires des PM_{2,5} sont présentés en Figure 7. Les niveaux à Saint-Michel-Notre-Dame le dernier weekend de la campagne sont faibles car la gare était alors fermée.

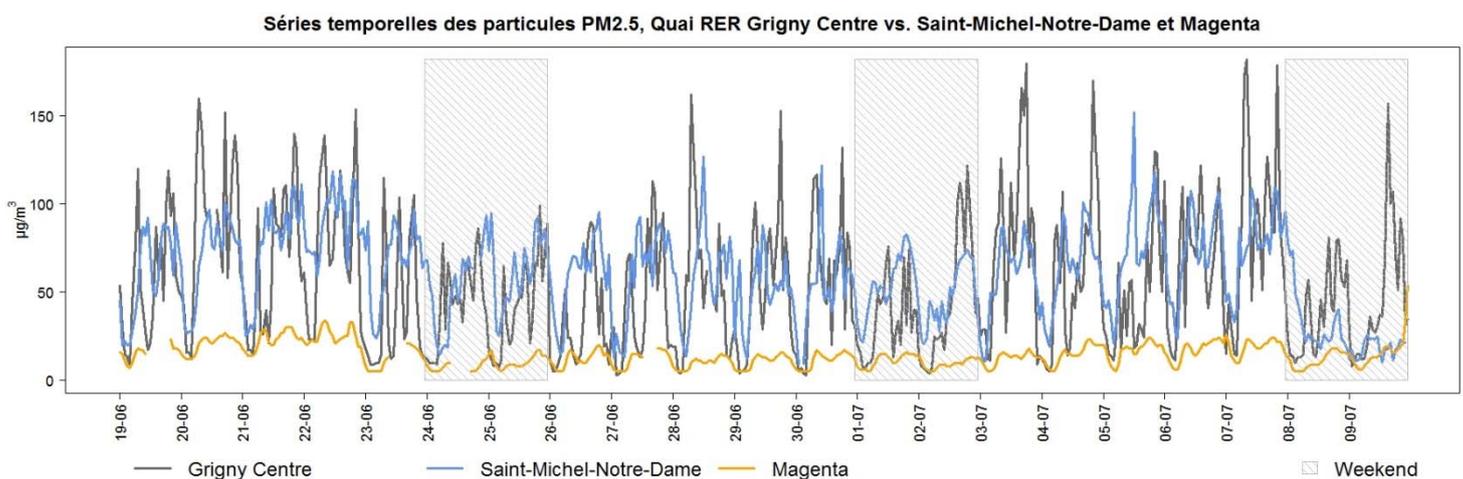


Figure 7 : Evolution des relevés horaires en PM_{2,5}, en µg/m³ (gare RER D de Grigny Centre et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 19/06/2017 au 09/07/2017)

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 100 µg/m³ voire 150 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 de Grigny Centre avec les relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre à nouveau des fluctuations plus marquées à Grigny Centre. Les trois particularités de Grigny Centre pour les niveaux de PM₁₀ s'appliquent aussi pour les niveaux de PM_{2,5} : forts niveaux en heures de pointe (6-10h et 16-21h) et entre 14h et 16h (niveaux donc indépendants du nombre de trains), très faibles niveaux en période creuse (la nuit et entre 10 et 14h) et niveaux importants les dimanches 2 et 9 juillet.

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 Grigny Centre (182 µg/m³ le 7 juillet entre 8 et 9h, contre 152 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame le 5 juillet entre 12 et 13h).

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Grigny Centre sont présentés à la Figure 8 pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Grigny Centre et aux stations de référence.

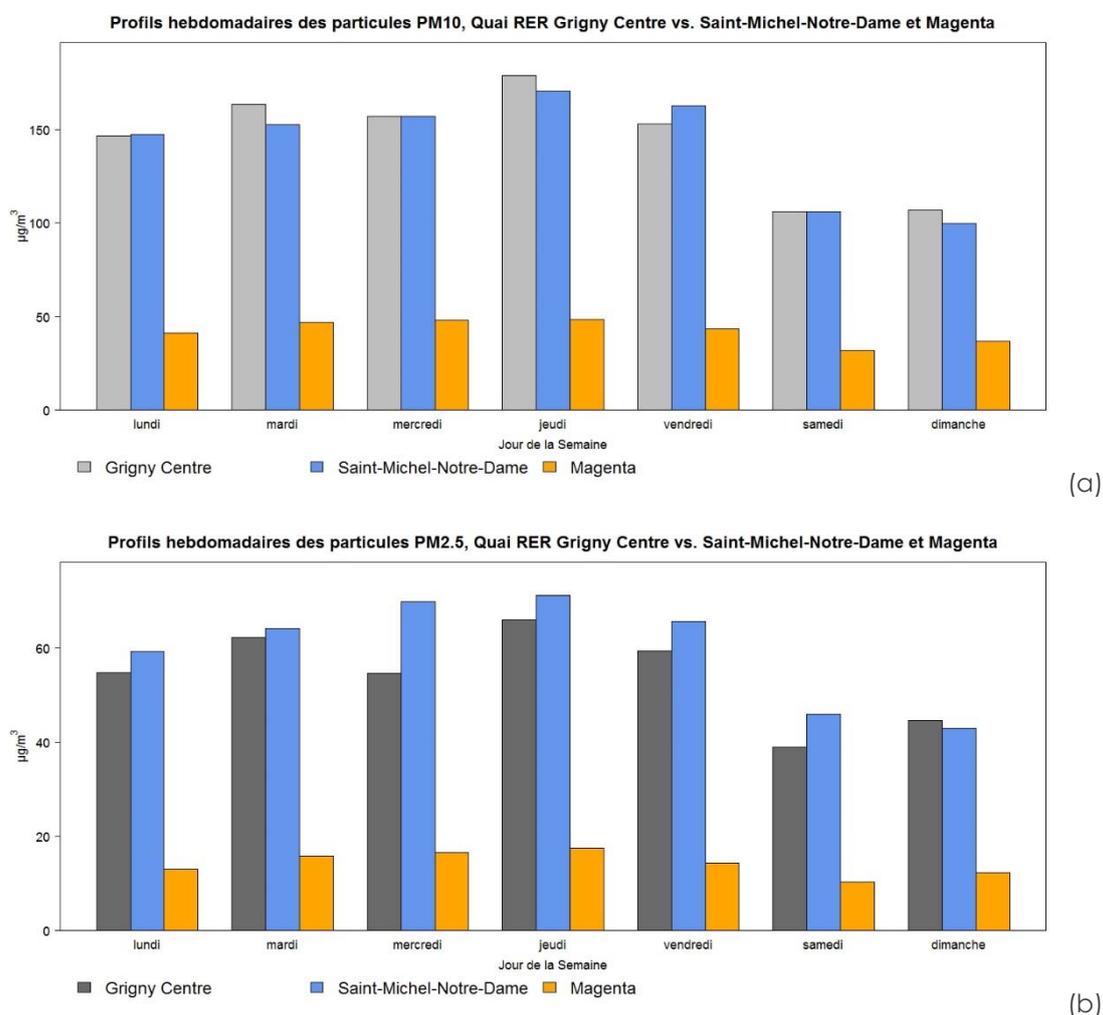


Figure 8 – Évolution des profils hebdomadaires en PM_{10} (a) et $PM_{2.5}$ (b) à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

A Grigny Centre, les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés (autour de $160 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une journée pour les PM_{10} , $59 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne pour les $PM_{2.5}$).

Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 34% par rapport aux jours ouvrés pour les PM_{10} et de 29% pour les $PM_{2.5}$. Ces diminutions sont plus importantes que celles observées à Saint-Michel-Notre-Dame pour la même période (respectivement -15% et -19%, sans compter le weekend où la gare était fermée, respectivement -35% et -33% en comptant ce weekend ; ces ratios sont variables selon la période de mesure entre 5 et 25%).

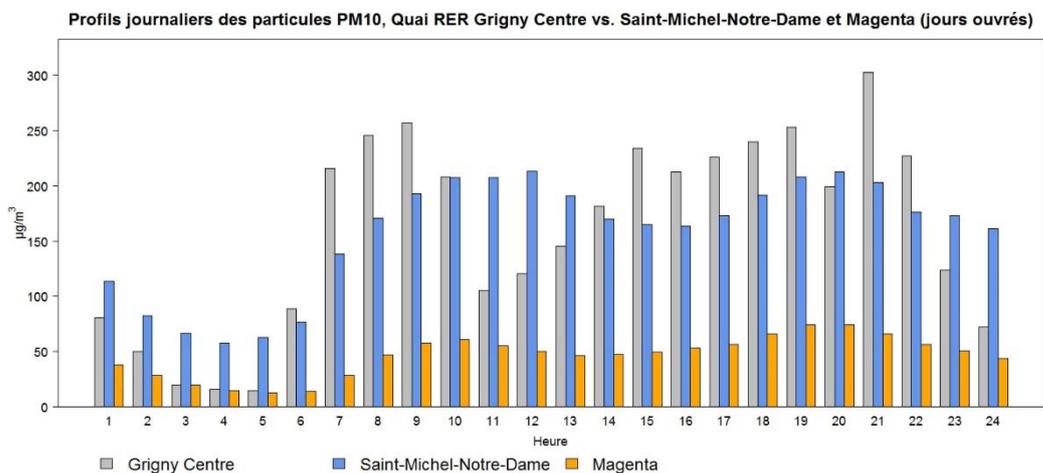
En définitive, en semaine comme le weekend, les niveaux de PM_{10} en gare de Grigny Centre sont comparables voire inférieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, en moyenne sur les journées. Les forts niveaux mis en relief au chapitre précédent en gare de Grigny Centre sont « contrebalancés » par des 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 PM_{10} que pour les $PM_{2.5}$ en gare de Grigny Centre, en lien avec la baisse du nombre de trains en circulation

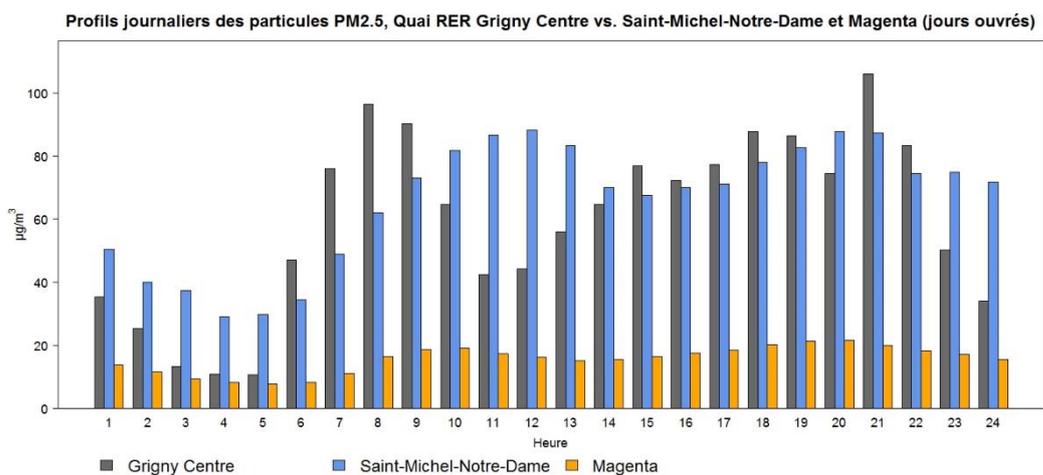
le week-end, facteur ayant davantage d'influence sur les PM₁₀ que sur les PM_{2,5} (cf. 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 9, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés**.



(a)



(b)

Figure 9 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2,5} (b) à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017 – 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 et 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 et de fréquentation pour les deux types de particules : le matin (6-10h) et le soir (16h-21h). Alors, les niveaux sont en moyenne, sur la période de mesure, de 239 µg/m³ pour les PM₁₀ et 84 µg/m³ pour les PM_{2,5} en gare de Grigny Centre. De forts niveaux comparables à ceux des heures de pointe sont aussi mesurés entre 14 et 16h, formant un troisième « pic », atteignant en moyenne 224 µg/m³ et 74 µg/m³ respectivement. Aux heures de pointe respectives de Grigny Centre et de Saint-Michel-Notre-Dame, les concentrations de particules à Grigny Centre sont en moyenne supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame de 19% pour les PM₁₀ et de 4% pour les PM_{2,5}.

De faibles niveaux, inférieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame, sont aussi enregistrés entre 10 et 14h, avec une moyenne de 138 µg/m³ pour les PM₁₀ et de 52 µg/m³ pour les PM_{2,5}.

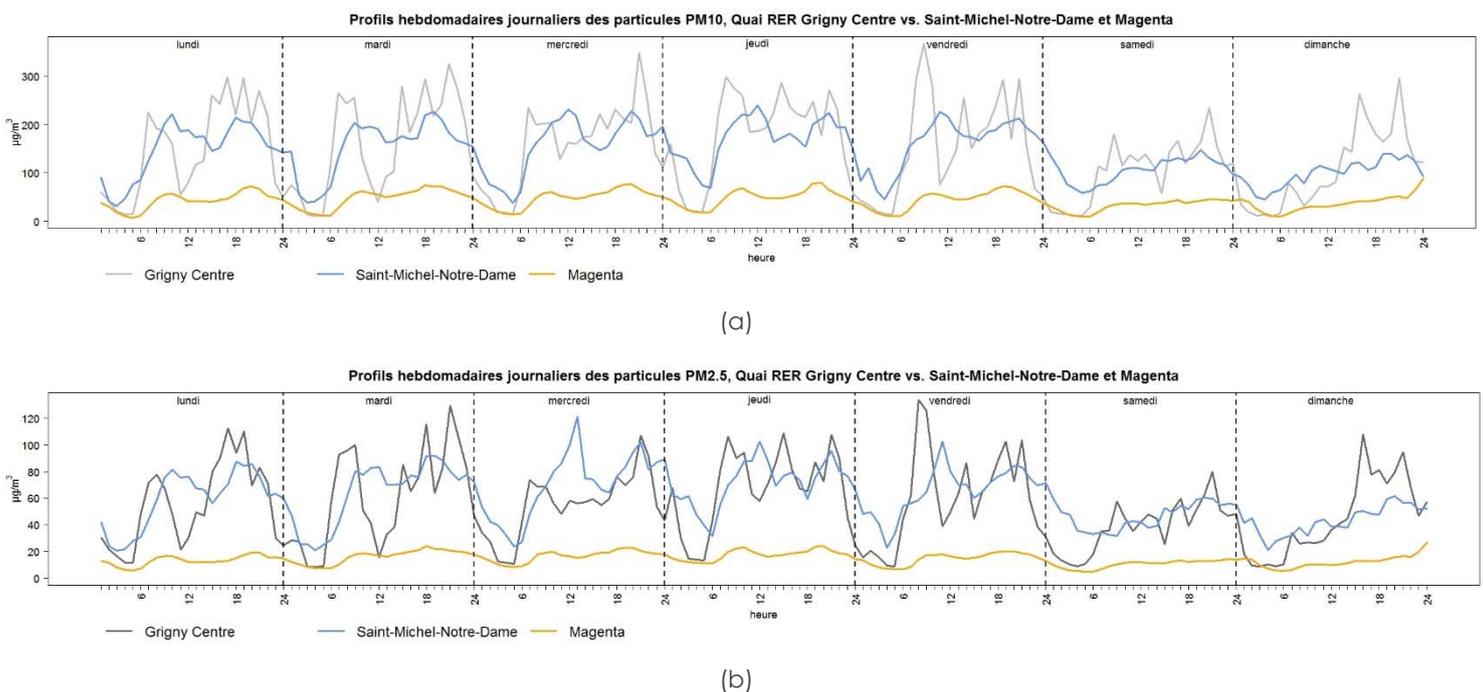
Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : $25 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne pour les PM_{10} , et environ $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2.5}$. Ces niveaux de nuit sont particulièrement faibles, similaires à ceux de Magenta et 60% inférieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame.

Ces profils journaliers en particules (PM_{10} et $\text{PM}_{2.5}$) fluctuent, en partie seulement 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 Grigny Centre, l'est également aux gares de référence.

Le profil journalier en $\text{PM}_{2.5}$ présente des variations horaires moindres (écart type de $21 \mu\text{g}/\text{m}^3$ lors de l'ouverture de la gare) que celui de PM_{10} (écart type de $68 \mu\text{g}/\text{m}^3$), 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 10. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM_{10} et des $\text{PM}_{2.5}$, aussi bien en gare de Grigny Centre 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 atténuation des niveaux aux heures de pointe. Les niveaux moyens dans l'après-midi/soirée du dimanche sont cependant conséquents, proches de ceux retrouvés en semaine à la même période. Le nombre de trains n'y est cependant pour rien car la circulation est la même que le samedi voire plus faible après modification des horaires ; un autre facteur est en jeu pour ces niveaux du dimanche, éventuellement les travaux du réseau de chaleur proches des quais, qui avaient aussi lieu le weekend (information vérifiée auprès de la mairie de Grigny Centre).

Les jours ouvrés, les niveaux mesurés à Grigny Centre sont plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame lors des heures de pointe et entre 14 et 16h, et c'est aussi le cas les weekends. Comme vu précédemment, les niveaux de période creuse (10 à 14h) tendent cependant à rejoindre ceux, bien plus faibles, de Magenta, tout comme les niveaux nocturnes où la gare est fermée.

Les niveaux de particules en gare de Grigny Centre sont donc très sensibles à des facteurs influents seulement aux heures de pointe et à partir de 14h en semaine, et le dimanche après-midi/soir.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}), atypiques, sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains), mais pas seulement en ce qui concerne la gare de Grigny Centre : les travaux proches de la gare le weekend sont des sources possibles des forts niveaux observés sur une large plage horaire (influences lors des heures de pointe et entre 14 et 16h).

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 (-34%) et pour les PM_{2.5} (-29%). Par ailleurs, les concentrations moyennes journalières à Grigny Centre 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 25 µg/m³ en PM₁₀ et 15 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales aux heures de pointe de la gare (6-10h et 16-21h). Elles sont aussi influencées par d'autres facteurs indépendants du nombre de trains, ce qui se visualise entre 14 et 16h (forts niveaux hors heures de pointe). Sur toutes ces périodes (6-10h et 14-21h), les concentrations sur le quai atteignent des niveaux particulièrement élevés comparés à d'autres gares, 236 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 82 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 de Grigny Centre sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame : de l'ordre de 19% pour les PM₁₀ et de 4% pour les PM_{2.5}. Il est aussi à noter que le dimanche après-midi/soir entre 14h et 22h, les niveaux sont similaires à ceux de la semaine en gare de Grigny Centre sur la période de mesure. Les travaux du réseau de chaleur sont susceptibles de causer ces forts niveaux.

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées de 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.

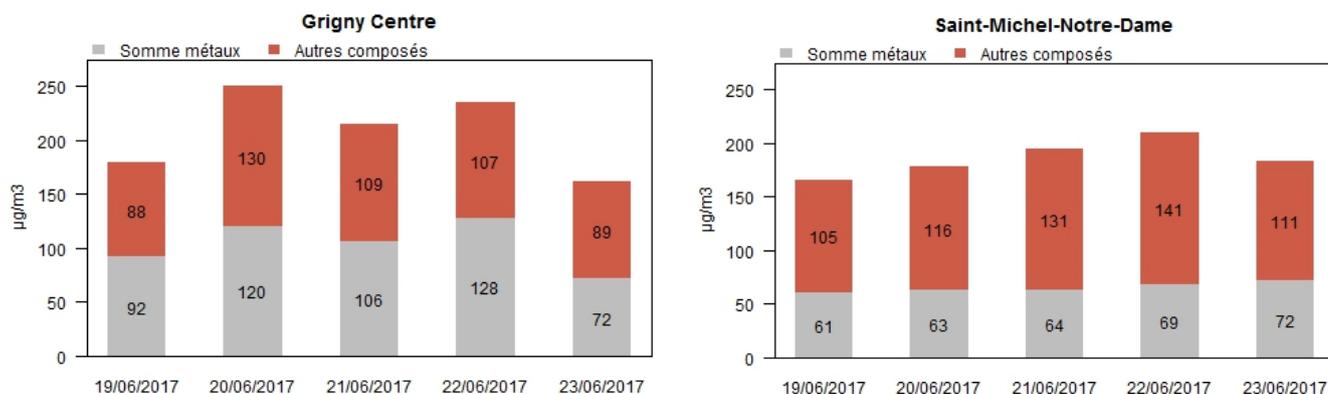
Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de Grigny Centre chaque jour ouvré pendant une semaine (du 19 au 23 juin). Les prélèvements journaliers ont été réalisés sur la période d'ouverture de la gare au public, à savoir de 5h à 1h. Des mesures à la station de Saint-Michel-Notre-Dame ont été réalisées en parallèle, selon le même protocole.

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

N.B. : les données de Nickel ont été invalidées sur la campagne pour les deux gares, suite à de forts niveaux de Nickel mesurés dans le blanc (échantillon témoin).

2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Le graphique suivant (Figure 11) montre la part de métaux enregistrée dans les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure, en gare de Grigny Centre et de Saint-Michel-Notre-Dame.



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.

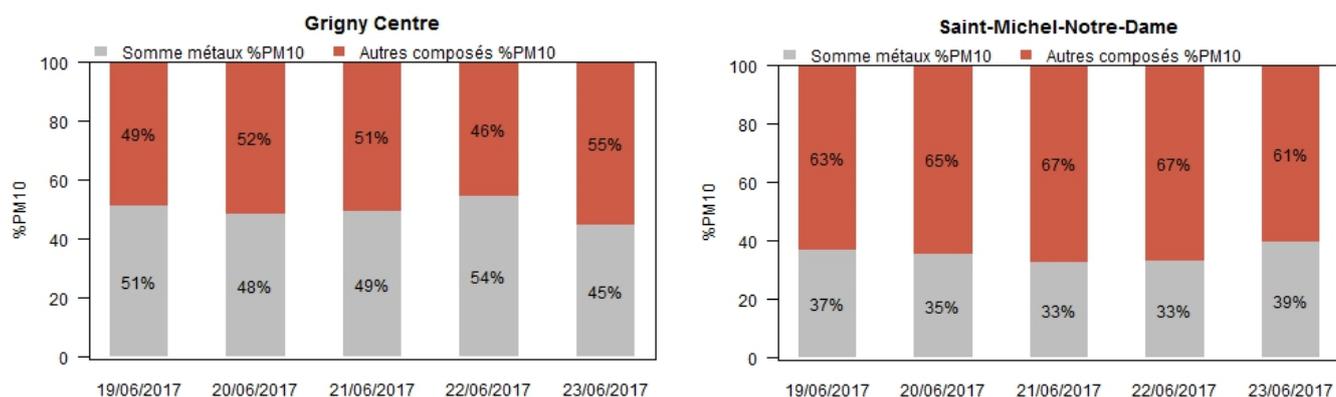


Figure 11 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement (en concentration et en % de particules PM₁₀), à la gare RER D de Grigny Centre et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 23/06/2017.

En gare de Grigny Centre, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 72 µg/m³ (le 23/06/17) à 128 µg/m³ (le 22/06/17). La part des métaux a varié de 45% (le 23/06/17) à 54% (le 22/06/17). Nous pouvons considérer qu'elle est donc globalement stable.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la concentration des métaux a varié entre 61 µg/m³ (le 19/06/17) et 72 µg/m³ (le 23/06/17). La part de métaux a varié de 33% (les 21 et 22/06/17) à 39% (le 23/06/17). La part des métaux dans les particules est donc plus importante en gare de Grigny Centre qu'en gare de référence, lors de cette campagne de mesures.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 12) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 19 et le 23/06/2017, aussi bien en gare de Grigny Centre qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

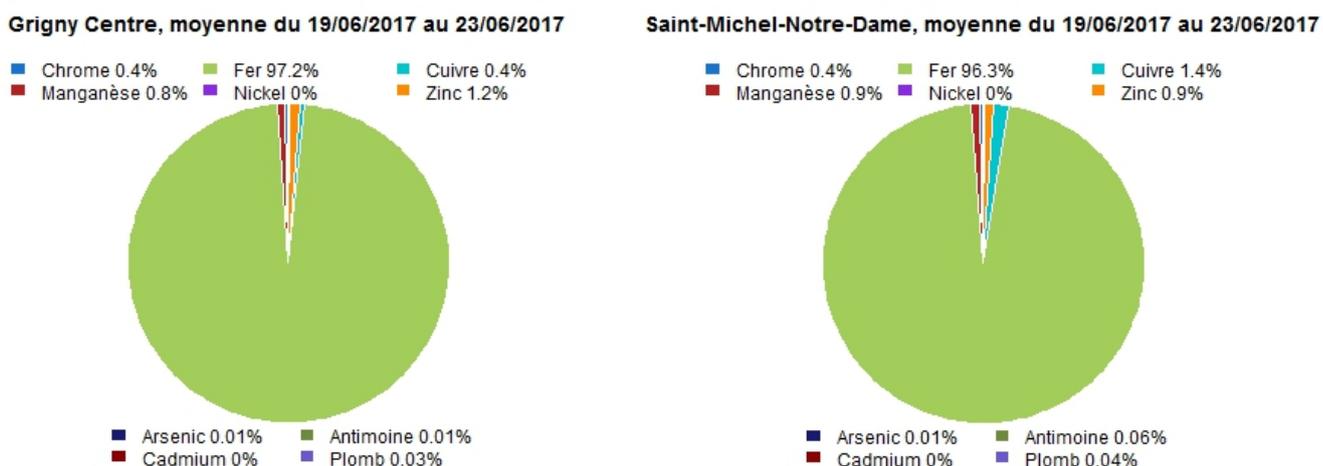


Figure 12 – Part de chaque métal dans les relevés en métaux, en moyenne sur les mesures du 19/06 au 23/06/2017, en gare de Grigny Centre et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

La contribution moyenne de chaque métal est proche à Grigny Centre et Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre (1,4% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 0,4% à Grigny Centre) et le Zinc (0,9% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 1,2% à Grigny Centre).

Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure (ANNEXE 4).

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 97 % des métaux mesurés à Grigny Centre et 96% 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 le Zinc, le Manganèse, le Cuivre et le Chrome, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1,2% pour le **Zinc** (0,9% à Saint-Michel-Notre-Dame), 0,8 % pour le **Manganèse** (0,9% à Saint-Michel-Notre-Dame) et 0,4% pour le **Cuivre** et le **Chrome** (1,4% et 0,4% à Saint-Michel-Notre-Dame).

Les données de **Nickel** ont été invalidées sur la campagne pour les deux gares, suite à de forts niveaux de Nickel mesurés dans le blanc (échantillon témoin). La proportion de Nickel étant habituellement à hauteur de 0,1% des prélèvements en métaux, les parts des autres métaux ont été calculées sans le Nickel sans grande conséquence.

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

La Figure 13 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Grigny Centre et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure. La Figure 14 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium.

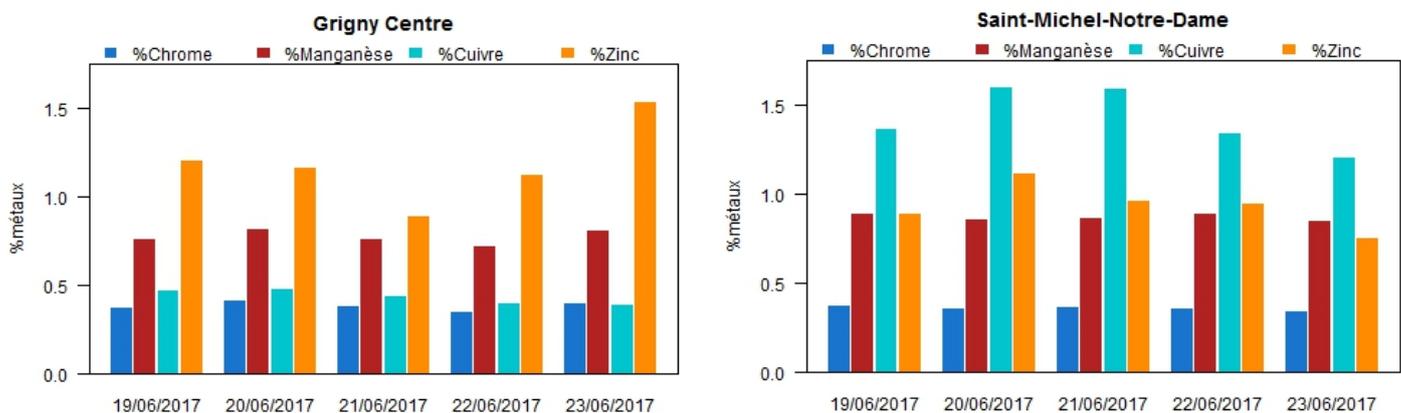


Figure 13 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER D de Grigny Centre et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 23/06/2017.

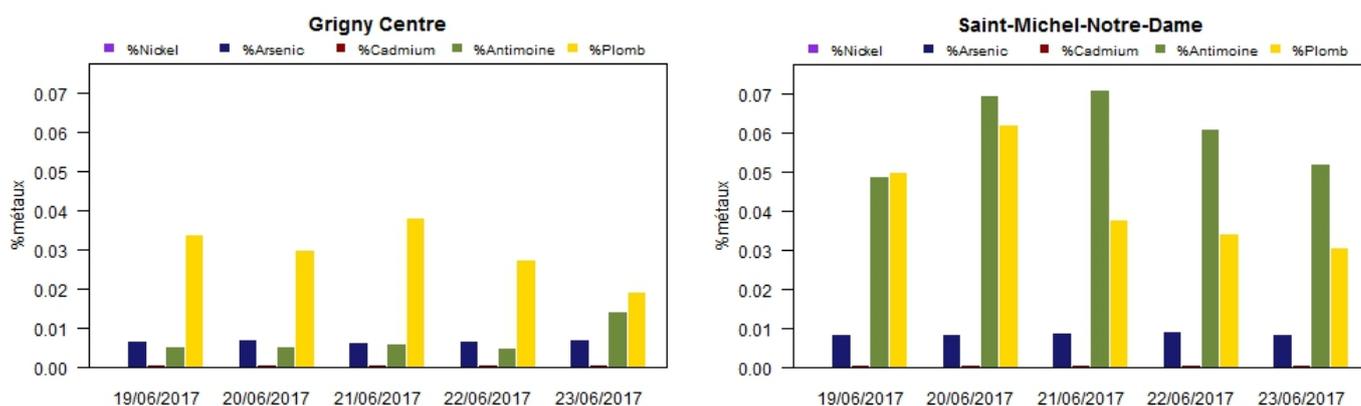


Figure 14 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER D de Grigny Centre et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 23/06/2017.

La part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure, à l'exception de l'antimoine le 23 juin à Grigny Centre (écart à la moyenne de 105%).

Ces graphiques mettent en valeur le profil inversé des parts de Cuivre et de Zinc entre Grigny Centre et Saint-Michel-Notre-Dame, ainsi que le profil très différent de l'Antimoine entre les deux gares.

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 Grigny Centre 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 de Grigny Centre 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 de Grigny Centre se situent sur la même branche du RER D. elles sont séparées par 2 autres gares et 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 15) présente les concentrations observées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Grigny Centre et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame.

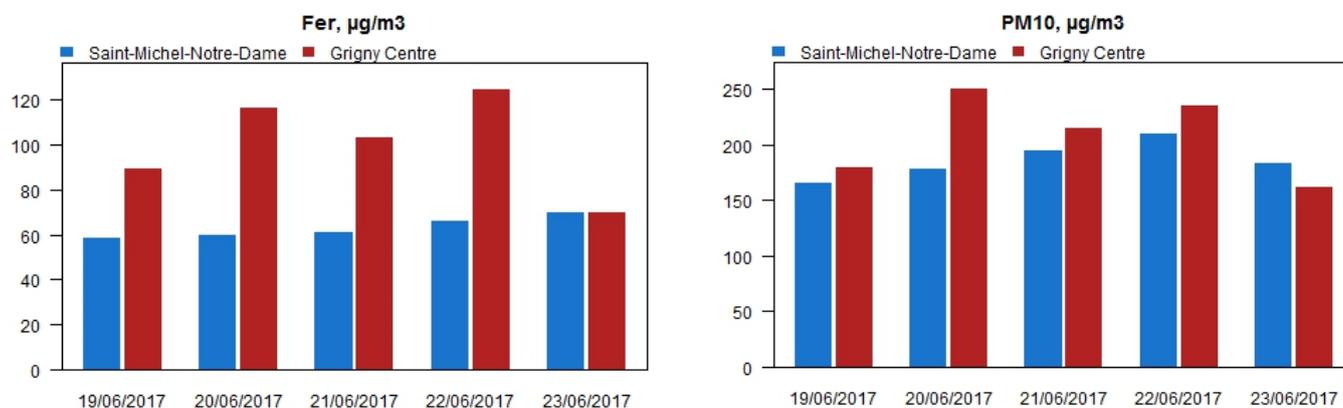


Figure 15 – Relevés journaliers en Fer à la gare RER D de Grigny Centre et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 23/06/2017.

Les teneurs en **Fer** sont plus élevées à Grigny Centre qu'à Saint-Michel-Notre-Dame : les moyennes journalières ont varié entre 70 µg/m³ (23/06/2017) et 124 µg/m³ (22/06/2017) en gare de Grigny Centre (moyenne 101 µg/m³) et entre 59 et 70 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne 63 µg/m³).

Ces niveaux sont essentiellement liés aux concentrations de particules PM₁₀ observées pour la gare de Grigny Centre où les particules et la concentration en Fer évoluent de la même façon lors de la semaine de mesure. Le coefficient de corrélation entre la concentration de Fer et la concentration de PM₁₀ est de 0,95 pour Grigny Centre. Ce coefficient est plus faible pour cette campagne à Saint-Michel-Notre-Dame (0,49), contrairement aux campagnes précédentes.

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

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 276 à 578 ng/m³, contre une moyenne de 927 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 que Grigny Centre). Les résultats à la station de référence pour cette campagne sont similaires aux relevés des campagnes précédentes.

Les teneurs journalières en **Zinc** à Grigny Centre (940 à 1438 ng/m³) sont 2 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 578 et 981 ng/m³ (1,4 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame).

Les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 285 et 490 ng/m³, soit 1,7 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les teneurs de tous les métaux ont été relativement stables sur les cinq jours étudiés (le Plomb, et l'Antimoine sont ceux variant le plus).

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers à Grigny Centre varient :

- Entre 5 et 10 ng/m³ pour l'Antimoine;
- Entre 14 et 31 ng/m³ pour le Plomb ;
- Entre 5 et 8 ng/m³ pour l'Arsenic ;
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m³ (inférieurs à la limite de quantification).

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare de Grigny Centre varie de 45 à 54% sur la semaine de mesure. A Saint-Michel-Notre-Dame, la part des métaux dans les particules PM₁₀ varie entre 33% et 39%.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 97% des métaux mesurés, aussi bien à Grigny Centre qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (96%). Viennent ensuite le **Zinc** (1,2% à Grigny Centre), le **Manganèse** (0,8%), le **Cuivre** et le **Chrome** (0,4%). Les données de **Nickel** ont été invalidées pour cette campagne. Les proportions en Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués.

La part des différents composés varie très peu pendant la semaine de mesure (excepté pour l'Antimoine pour 1 jour).

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf essentiellement pour le Cuivre (0,4% à Grigny Centre et 1,4% à Saint-Michel-Notre-Dame) et le Zinc (1,2% à Grigny Centre et 0,9% 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 16.

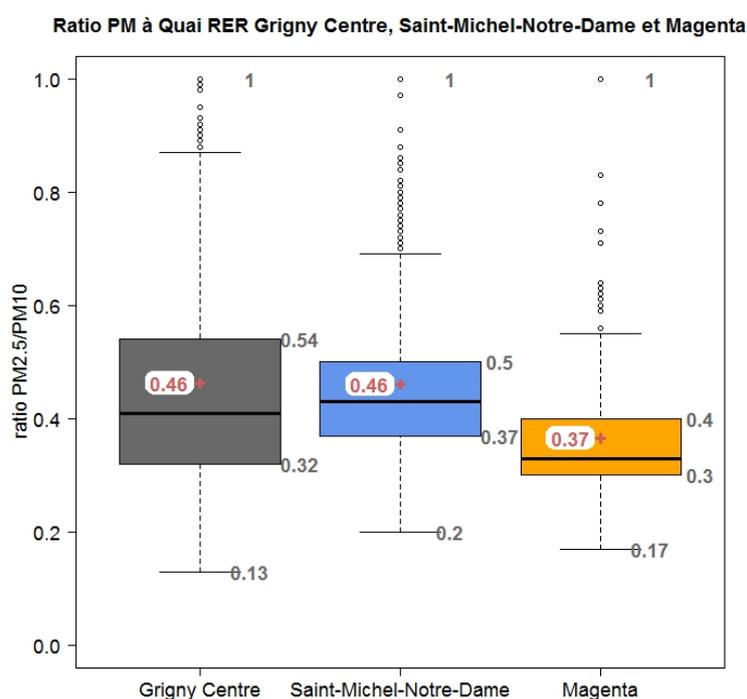


Figure 16 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en $PM_{2,5}/PM_{10}$, à la Gare RER D de Grigny Centre et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

En moyenne, en gare de Grigny Centre, le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ est de 0,46, égal à celui de Saint-Michel-Notre-Dame (0,46). En comparaison, il est de 0,37 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. La dispersion du ratio est plus grande à Grigny Centre que dans les autres gares, ceci étant lié à la variabilité des sources de particules rencontrées à Grigny lors de la campagne.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de $PM_{2,5}/PM_{10}$ sont présentées à la Figure 17.

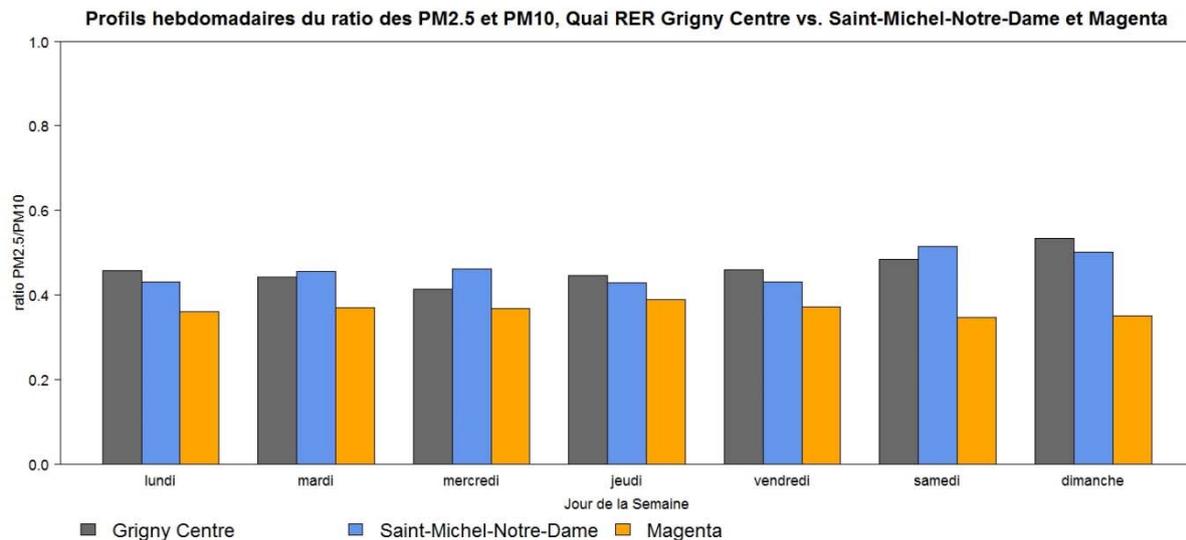


Figure 17 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER D de Grigny Centre et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 09/07/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

Ces ratios sont très faibles tout le long de la semaine, oscillant entre 0,41 et 0,53 à Grigny Centre. Cela s'explique par une compensation entre ratios élevés (nuit, période creuse au milieu de la journée) et ratios faibles (heures de pointe et forts niveaux à partir de 14h) tout le long de la semaine, et moins de particules PM_{10} le weekend car moins d'activité dans la gare (la particularité du dimanche après-midi/soir n'est pas visible ici, compensée là aussi par les faibles niveaux de particules le reste de la journée du dimanche). 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 18.

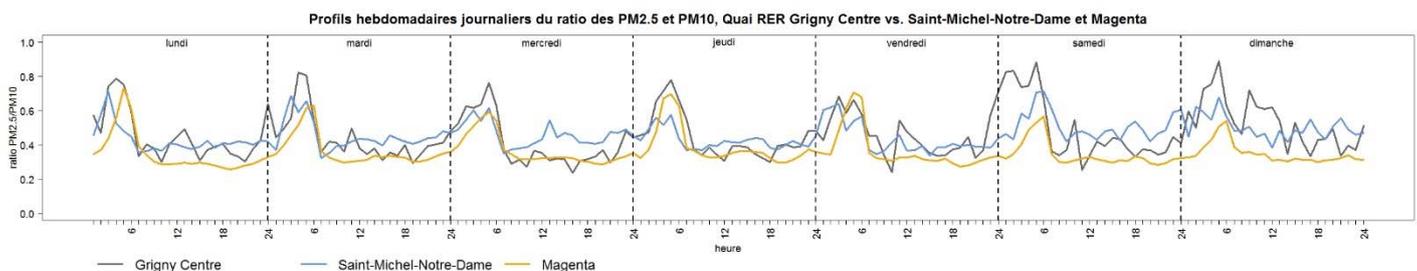


Figure 18 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER D de Grigny Centre et aux stations de référence, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

Le profil de Grigny Centre est très fluctuant.

Lors des jours ouvrés en période d'ouverture de la gare, le ratio varie beaucoup et se situe entre celui de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame. Le weekend, la nuit (horaires de fermeture de 1 à 5h) et en début de journée, le ratio est nettement plus élevé à Grigny Centre, jusqu'à 0,9. A ce moment-là, il y a beaucoup moins de remise en suspension ou d'émission des plus grosses particules ($>2,5 \mu m$).

En termes de variation, les profils sont proches les uns des autres : les ratios sont stables en journée (moins stable à Grigny Centre cependant), ils augmentent la nuit lorsque l'activité de la gare est nulle (trains, voyageurs), que les particules PM_{10} se déposent au sol et que les concentrations en PM_{10} 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.

L'étude des profils moyens journaliers est présentée à la Figure 19.

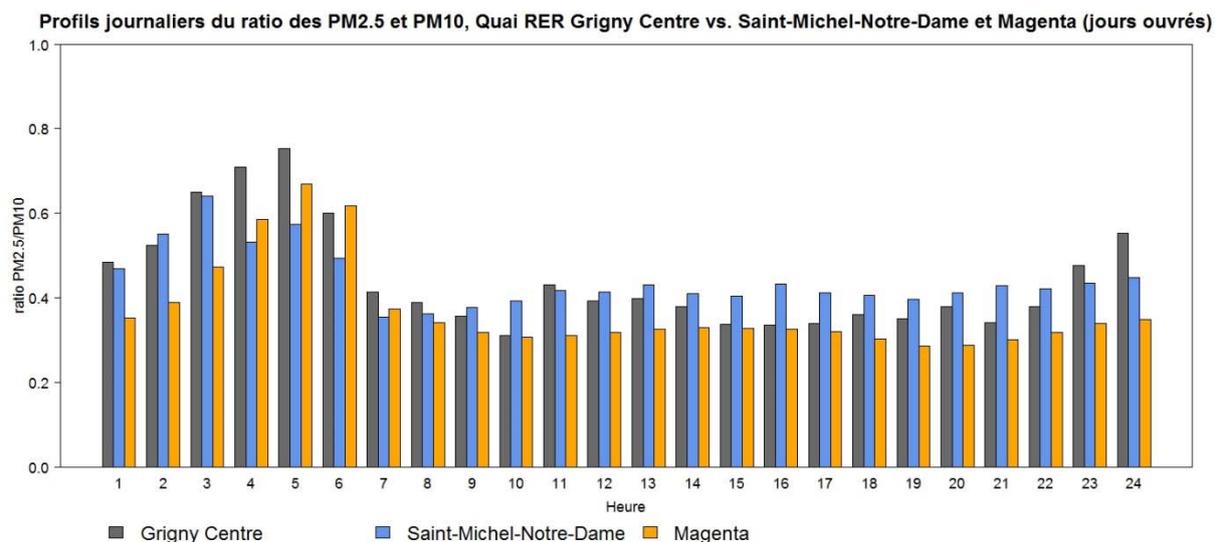


Figure 19 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2,5}/PM₁₀ à la gare RER D de Grigny Centre et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 19/06/2017 au 09/07/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 6h à 14h), aussi bien en gare de Magenta qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, autour de 0,40 (0,32 à Magenta). La différence à Grigny Centre est l'augmentation du ratio plus tôt, à partir de 22h, ainsi qu'une nette augmentation du ratio lors de la période creuse entre 10 et 14h (diminution rapide des niveaux de PM₁₀ à ce moment-là). Entre 6 et 22h, le ratio est en moyenne de 0,37. La nuit (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public), les ratios augmentent jusqu'à 0,6 voire même à plus de 0,7, comme le ratio « classique » en air extérieur (i.e. non influencé par des sources 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 de Grigny Centre sont composées à moitié de particules PM_{2,5}. Le ratio PM_{2,5}/PM₁₀ atteint 0,46 à Grigny Centre, égal à celui de Saint-Michel-Notre-Dame, et 0,37 à Magenta.

Le ratio PM_{2,5}/PM₁₀ est relativement stable à l'échelle hebdomadaire à Grigny Centre, Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, en augmentant légèrement les weekends.

A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,37 en journée, qui augmente la nuit, jusqu'à 0,7/0,8, à partir de 22h à Grigny Centre (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}. Cela se produit aussi en journée à Grigny Centre entre 10 et 14h, période creuse, ce qui est atypique et provoqué par une diminution importante des niveaux de PM₁₀ à ce moment.

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 des mois de juin/juillet, 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 la moitié de la campagne de mesure (11 jours, soit 52% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 6 jours (29% du temps). Durant 4 jours, du 19 au 22 juin, l'indice a été élevé, lors du dépassement du seuil d'information pour l'ozone.

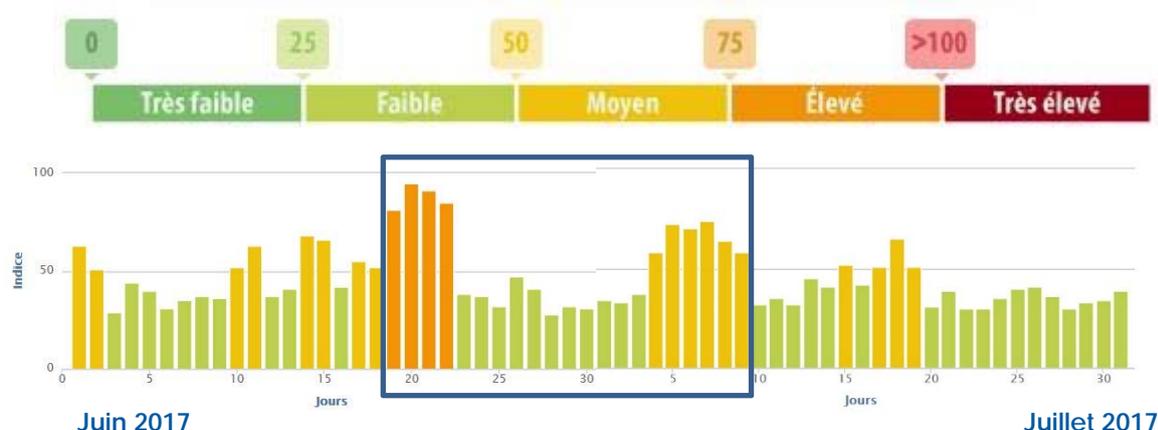


Figure 20 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois de juin et juillet 2017.

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.

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de Grigny Centre avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée Figure 21, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5}.

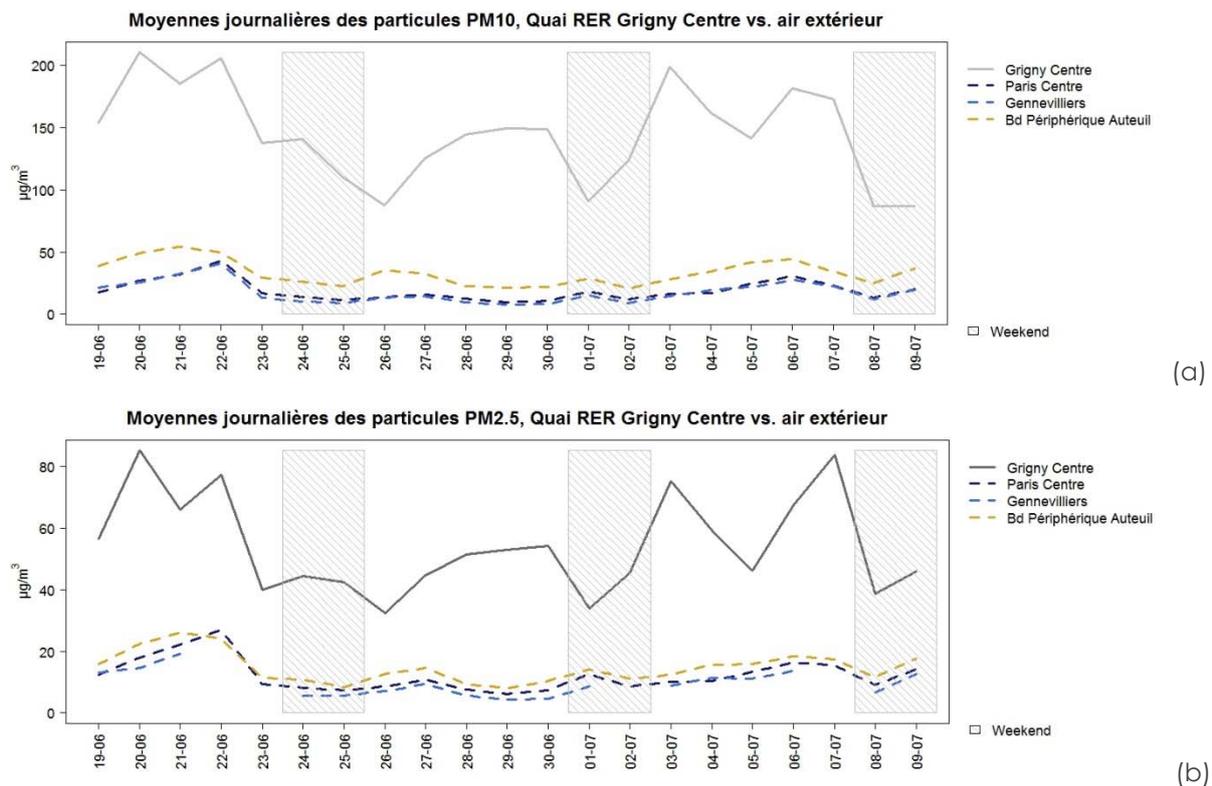


Figure 21 – Evolution des teneurs journalières en PM₁₀ (a) et en PM_{2,5} (b) en gare de Grigny Centre et en air extérieur (situation de fond et proximité au trafic routier), période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Grigny Centre ne semblent pas liées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif (il n'y a pas de station Airparif à Grigny). Les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires de Grigny Centre et des stations extérieures du réseau Airparif vont de 0,14 à 0,26, pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}. 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.

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 (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 22.

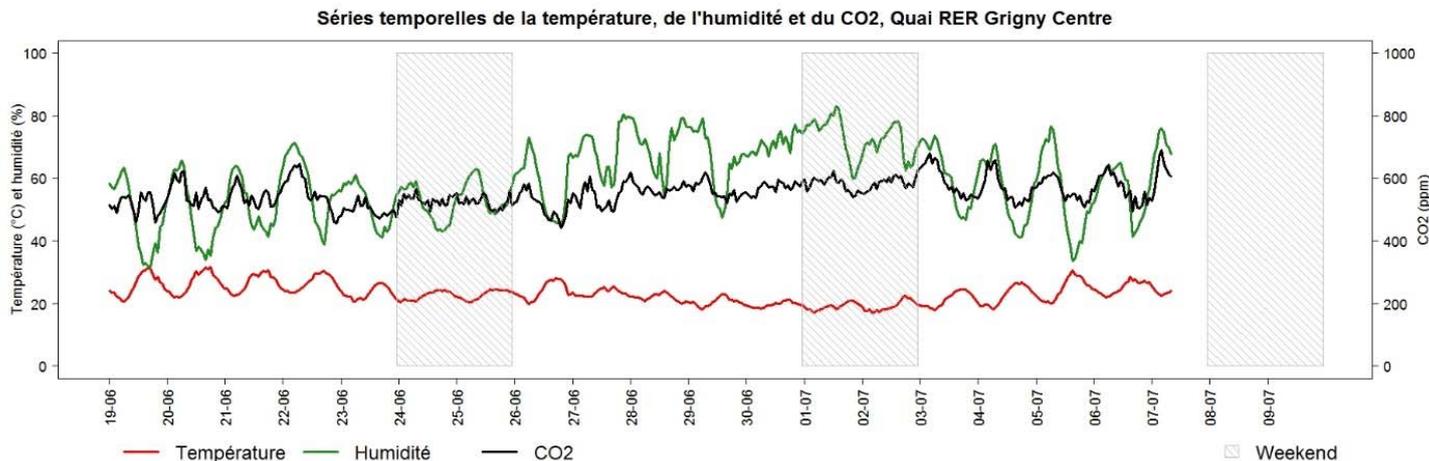


Figure 22 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

La température moyenne en gare de Grigny Centre est de 23°C, les relevés horaires ayant varié entre 17 et 32°C (moyenne de 29°C à Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare de Grigny Centre est de 60%, les relevés horaires ayant varié de 32% à 83% (très fluctuant, 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 552 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 440 ppm et 689 ppm (heures de pointe). Tous les relevés horaires sont inférieurs à 1000 ppm, 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 de Grigny Centre (cf. Figure 23).

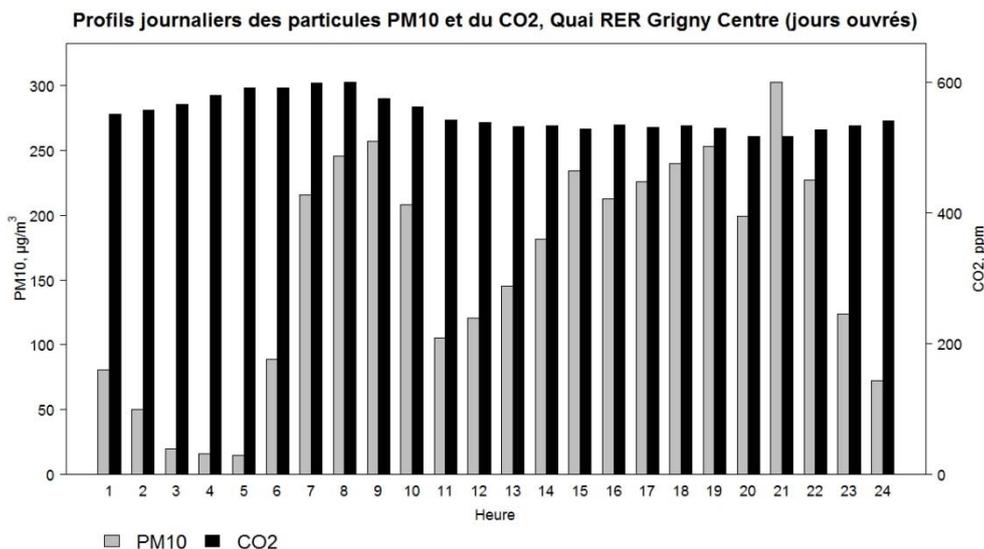


Figure 23 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017 – jours ouvrés.

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). La corrélation entre les teneurs en CO₂ et les PM₁₀ est en effet nulle à Grigny Centre (-0,1) alors qu'elle est moyenne à Saint-Michel-Notre-Dame (0,66).

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 de Grigny Centre 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, Grigny Centre et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare de Grigny Centre 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 de Grigny Centre 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, une autre source entre donc en jeu pour les forts niveaux de Grigny Centre : les travaux de géothermie pour le quartier proche de la gare, qui ont eu lieu tout au long de la campagne et qui étaient très proches des quais extérieurs (en direction de Paris). Ces travaux peuvent émettre à la fois des PM₁₀ et des PM_{2,5} : le forage et la manutention de matériaux pulvérulents peuvent être sources de PM₁₀, l'utilisation d'engins de manutention peuvent être source de PM_{2,5}. En effet, le générateur de la foreuse pour les travaux du réseau de chaleur a fonctionné tous les jours et est susceptible d'émettre des PM_{2,5}.

Il existe également une différence du nombre de voyageurs entre ces gares, mais cette variable n'est pas corrélée avec les concentrations : 9 940 voyageurs par jour montant en gare de Grigny Centre, contre 59 483 à Saint-Michel-Notre-Dame et 78 212 à Magenta (source interne SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains théorique circulant en gare de Grigny Centre (et aux stations de référence) a été transmis par la SNCF Gares d'Ile-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. Aucune perturbation de grande ampleur n'a été signalée sur la ligne ou dans la gare de Grigny Centre, excepté lors des weekends où le nombre de trains a diminué (cf. Tableau 1), en conséquence de travaux de maintenance sur la ligne (mais pas en gare de Grigny Centre).

En moyenne, les jours ouvrés, 200 trains circulent en gare de Grigny Centre (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 139 trains qui circulent habituellement (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 120 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 24, par créneau horaire.

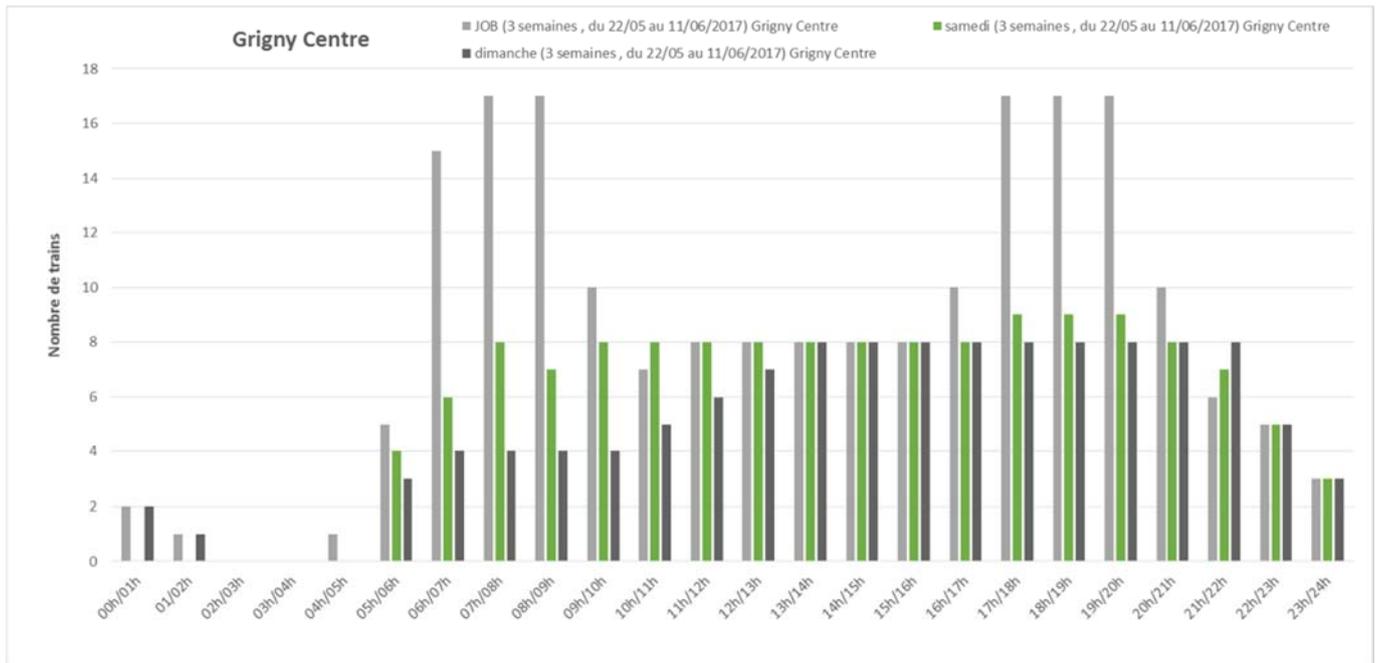


Figure 24 – Nombre théorique de trains enregistrés chaque heure à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 25, pour les jours ouvrés, en gare de Grigny Centre.



Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

Le profil des teneurs en particules PM₁₀ est clairement corrélé au nombre de trains en circulation lors de l'heure de pointe du matin (corrélation de 0,83 pour les PM₁₀, 0,85 pour les PM_{2,5}), et lors de la période creuse entre 9 et 11h. Mais cette corrélation est moins nette à partir de 11h : les concentrations augmentent à des niveaux similaires à celles du matin, sans que le nombre de trains ne change (excepté pour la période de pointe du soir). D'autres paramètres entrent donc ici en jeu, comme évoqué précédemment (travaux extérieurs de géothermie proches la gare).

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 26.

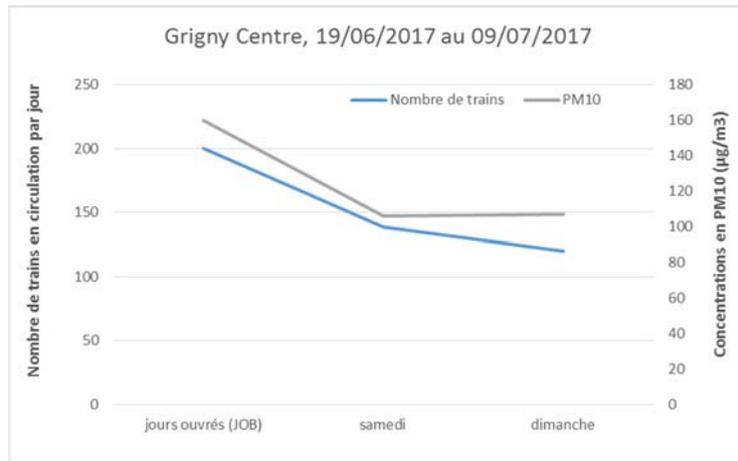


Figure 26 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER D de Grigny Centre, période du 19/06/2017 au 09/07/2017.

En gare de Grigny Centre, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit par une baisse des teneurs en particules : baisse de 31% du nombre de trains et diminution de 34% des niveaux de PM₁₀.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, la ventilation ou encore les paramètres techniques de la gare de Grigny Centre 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. D'autres paramètres sont en jeu cependant car les niveaux en début d'après-midi augmentent sans que le nombre de trains ne change : travaux sur le réseau de chaleur tout le long de la semaine par exemple.
- 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 de Grigny Centre, ceci étant dû à l'ouverture du quai sur l'extérieur (pas de confinement).
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de Grigny Centre ne sont pas corrélées à celles mesurées en air extérieur dans l'ambiance générale de fond. Cependant, une ou plusieurs sources locales extérieures, non mesurée par les stations du réseau Airparif, peuvent être sources de niveaux de particules plus élevés en gare de Grigny Centre qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

4. CONCLUSION

Le présent rapport a permis de présenter les niveaux de pollution observés en gare de Grigny Centre, pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5} :

- Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER D en gare de Grigny Centre au cours des mois de juin/juillet 2017 étaient en moyenne de 144 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 486 µg/m³ (enregistré lors des heures de pointe du soir).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 54 µg/m³, pour un maximum horaire de 182 µg/m³ (maxima atteints aux heures de pointe pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}), niveaux donc très élevés dénotant une activité particulière (travaux de géothermie à proximité, forage).

Les concentrations en particules PM₁₀ à la gare de Grigny Centre sont similaires en moyenne à celles enregistrées à Saint-Michel-Notre-Dame, mais présentent des niveaux plus élevées (19% en moyenne) sur les heures de pointe. De forts niveaux sont aussi enregistrés entre 14 et 16h, qui ne correspondent pas à une augmentation du nombre théorique de trains. Ces forts niveaux sont compensés en moyenne par des teneurs très faibles en heures creuses (de 10 à 14h les jours ouvrés) et la nuit, proches de celles de Magenta. La période du dimanche de 14h à 22h constitue une autre singularité des niveaux de particules en gare de Grigny Centre, aussi élevés qu'en semaine aux mêmes heures mais sans la présence d'un même nombre théorique de trains.

Une hypothèse peut être émise sur une source éventuelle de particules : des travaux proches de la gare, en extérieur, liés à la mise en place de la géothermie dans le quartier. Ces travaux impliquent un forage pouvant émettre des PM₁₀ et un générateur puissant pouvant émettre des PM_{2,5}. Lors de la campagne, ils ont eu lieu du lundi au dimanche (information vérifiée auprès de la mairie de Grigny).

Les observations émises pour les concentrations en PM_{2,5} en gare de Grigny Centre 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 97 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Zinc (1,2% des particules), le Manganèse (0,9%), le Cuivre et le Chrome (0,4%). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre (1,4%) et le Zinc (0,9%).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation les jours ouvrés, sauf entre 14 et 16h. Cependant, les différences de niveaux entre gares s'expliquent surtout par le système de ventilation, le volume de la gare, et les activités environnantes.

Ce rapport concerne les résultats de la huitième campagne de mesure Gare, après celle réalisée en gare RER C de Neuilly-Porte Maillot et celle réalisée en gare RER B de Aéroport Charles de Gaulle 1. 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 sont 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 GRIGNY CENTRE

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) : 9940 (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)

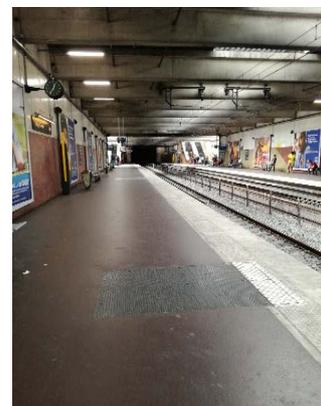
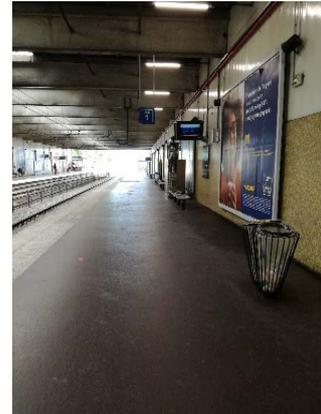
Véhicules à 1 ou 2 niveau(x), entre 794 et 1330 places totales par train.

Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

Des « travaux de maintenance classique » sur la ligne entre Juvisy et Corbeil Essonnes ont eu lieu tous les weekends et ont entraîné une modification des horaires de trains (cf Tableau 1). Ces travaux sur cette portion de la ligne ont impacté les horaires de train mais les travaux n'ont pas eu lieu effectivement en gare de Grigny Centre.



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) 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.

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.

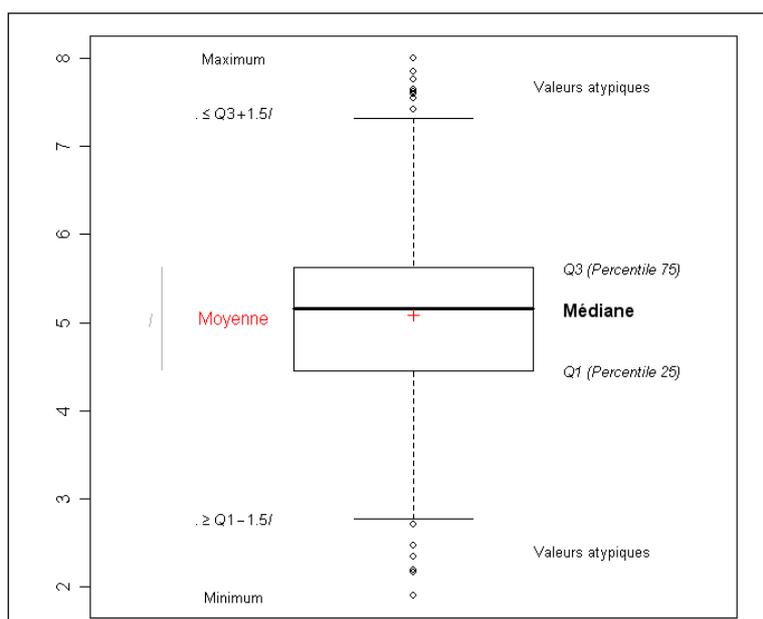
⁷ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

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).

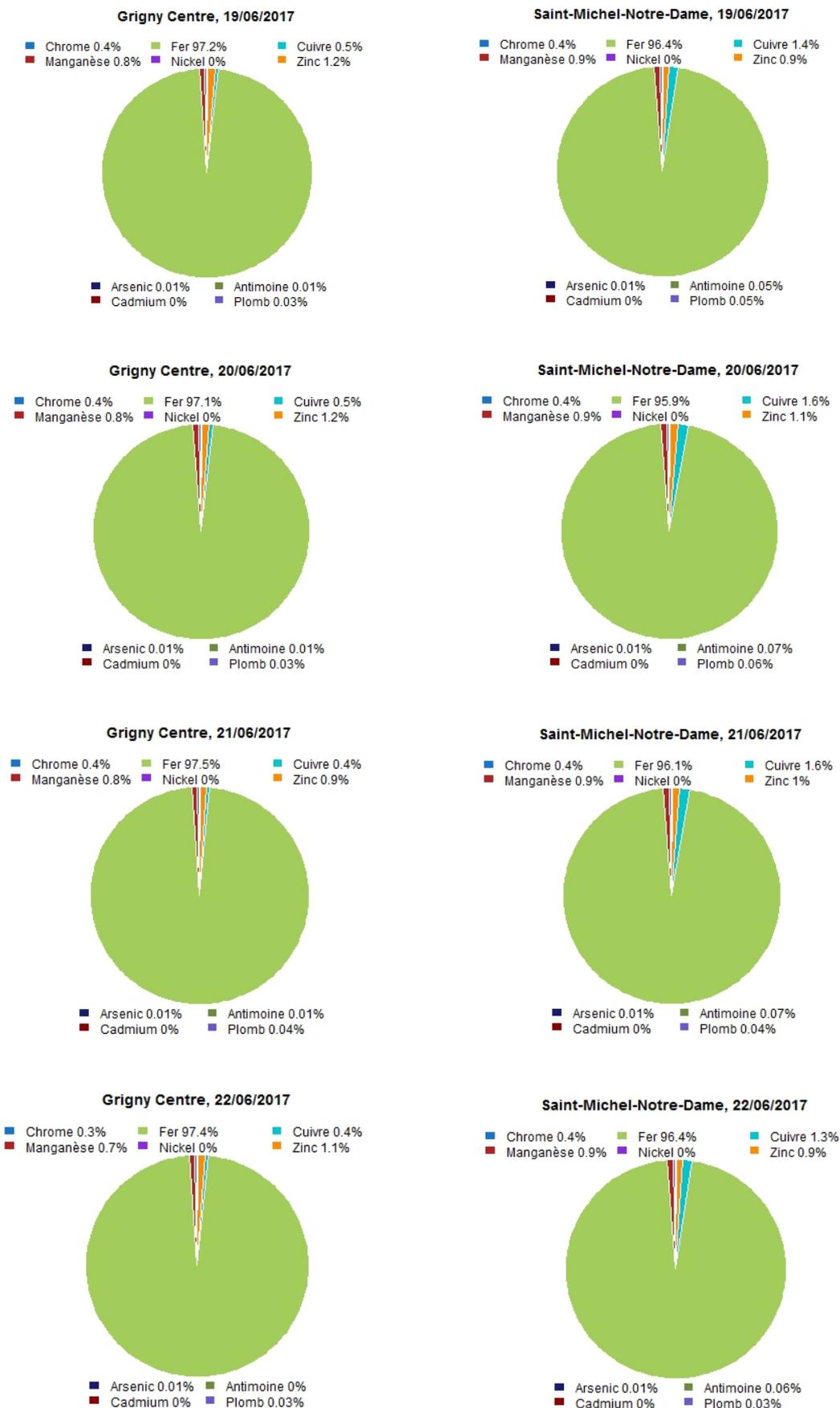


La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des 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.

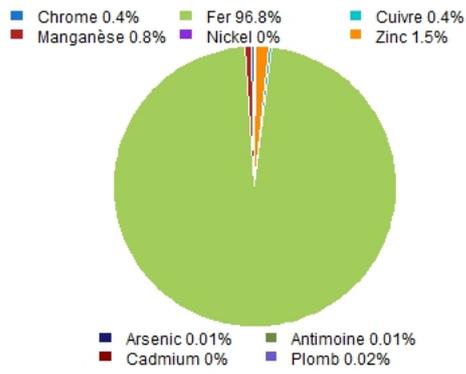
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

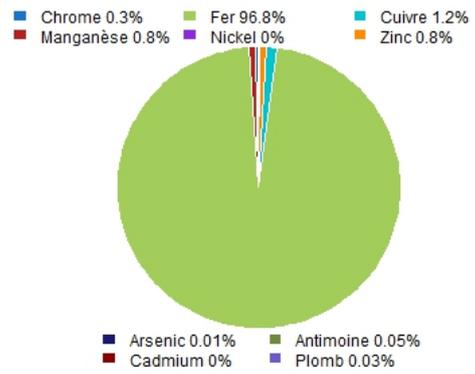
REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



Grigny Centre, 23/06/2017

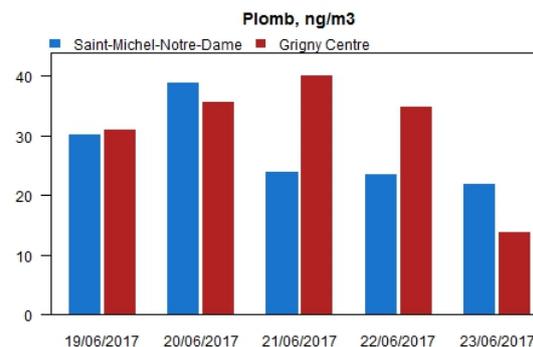
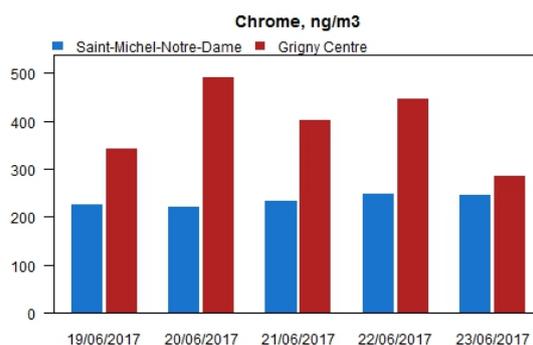
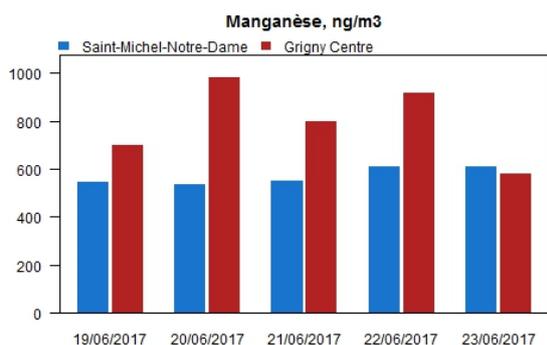
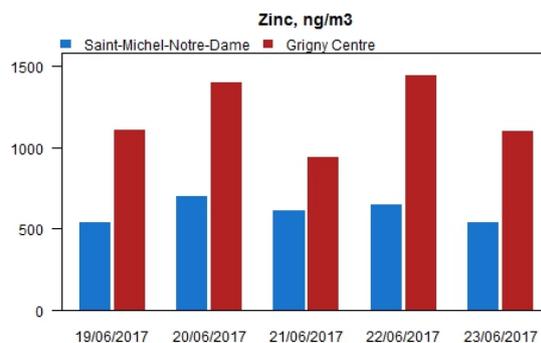
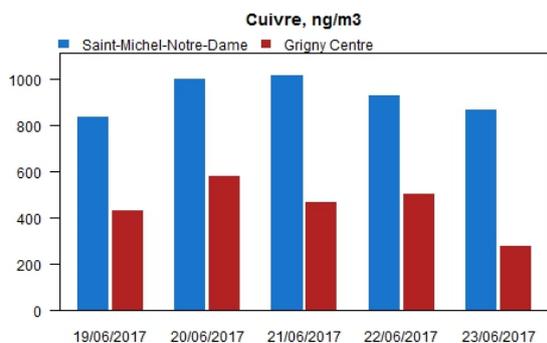


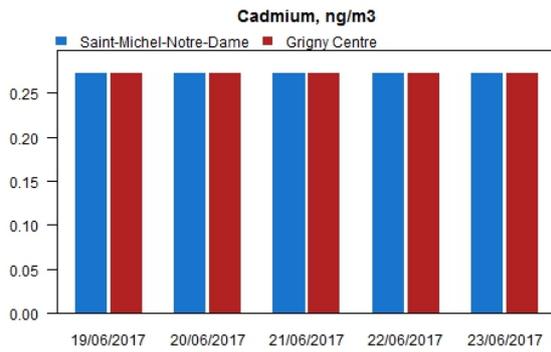
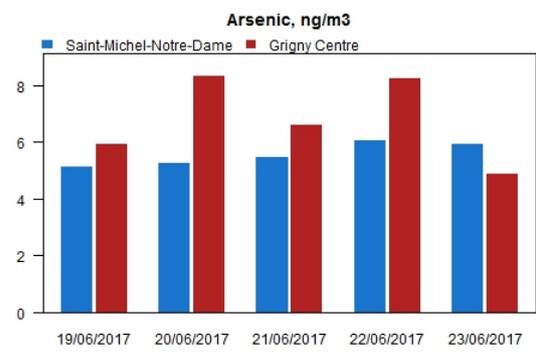
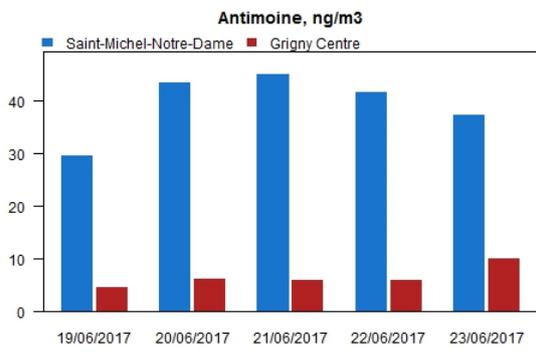
Saint-Michel-Notre-Dame, 23/06/2017



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE RER D DE GRIGNY CENTRE ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 19/06/2017 AU 23/06/2017.





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