

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER B EN GARE SNCF DE AÉROPORT CHARLES DE GAULLE 1

Mai/Juin 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 B EN GARE SNCF DE L'AEROPORT CHARLES DE GAULLE 1 – MAI / JUIN 2017

Décembre 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 **22/05/2017 au 11/06/2017** en gare de **Aéroport Charles de Gaulle 1 (RER B, quai central)**, appelé CDG1 dans ce rapport. Les particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2,5}) ont été suivies, ainsi que les métaux.



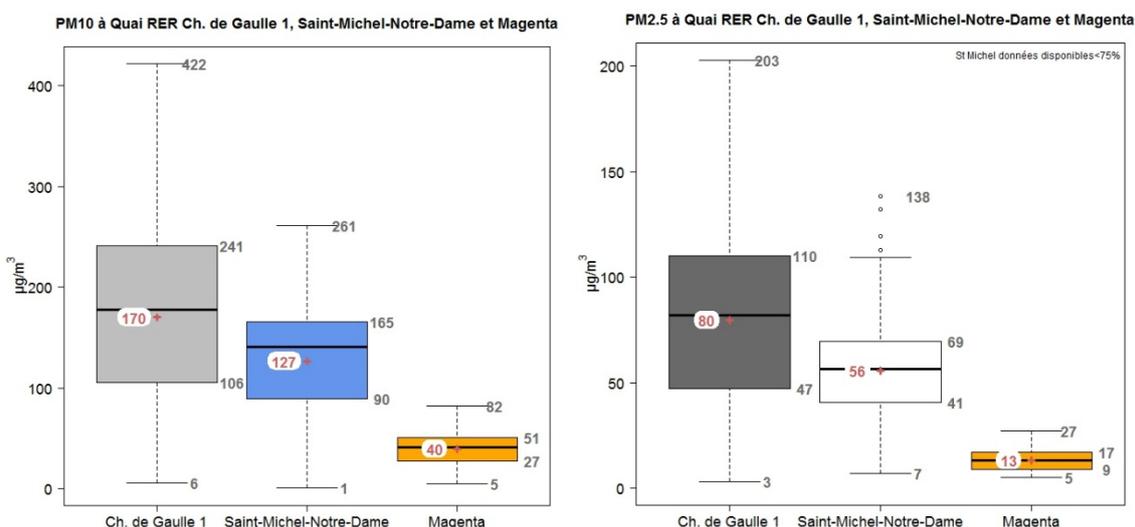
Les principaux résultats :

Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER B en gare de CDG1 au cours des mois de mai/juin 2017 étaient en moyenne de 170 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 422 µg/m³ (enregistré le soir entre 19 et 20h).

Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 80 µg/m³, pour un maximum horaire de 203 µg/m³ (maximum atteint au même moment que le max des PM₁₀).

Comment se situent ces niveaux par rapport aux niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame et à Magenta ? Les niveaux moyens en PM₁₀ sont supérieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (127 µg/m³ enregistrés sur la même période) et plus de 4 fois supérieurs à ceux de la station Magenta (40 µg/m³ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en PM_{2,5} à CDG1 (80 µg/m³) sont largement supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta (13 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. Les niveaux moyens mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame ne sont pas disponibles pour cause de faible disponibilité des données (50%). En ne prenant en compte que les données disponibles, les niveaux de Saint-Michel-Notre-Dame sont bien inférieurs (56 µg/m³).

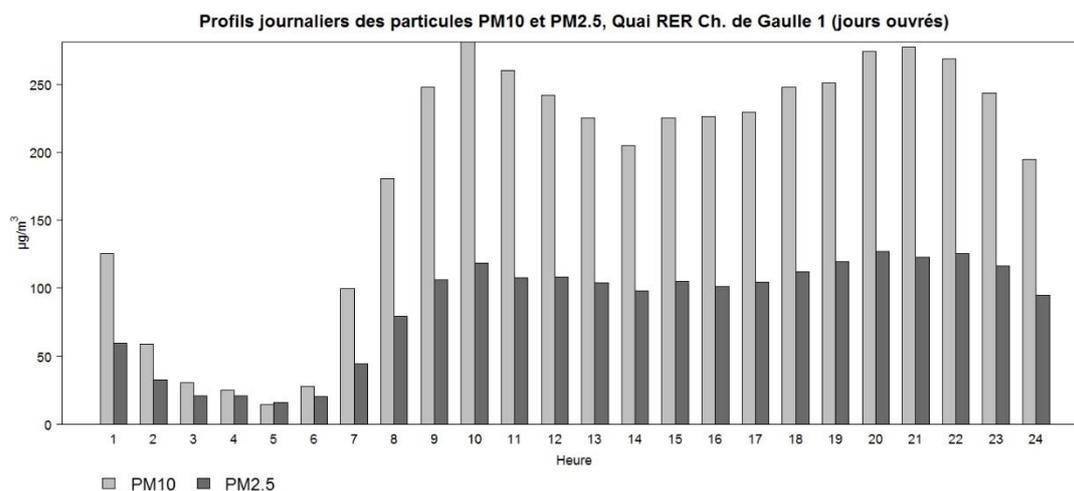
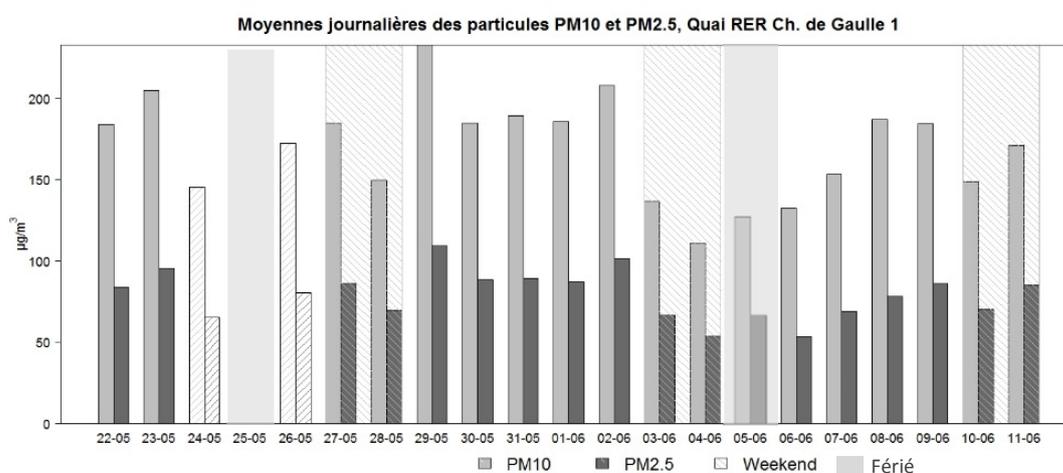


Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

Les relevés en particules PM₁₀ à la gare de CDG1 sont relativement atypiques par rapport à ceux des gares Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, en termes d'évolution temporelle. Les niveaux de la semaine du 29 mai notamment sont particulièrement élevés, 200 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀ et 95 µg/m³ pour les PM_{2,5}.

Les variations temporelles sont fortement liées au nombre de trains en circulation, qui fluctuent beaucoup au cours de la journée, ainsi qu'à d'autres facteurs environnementaux comme des travaux et les niveaux de fond de la plateforme aéroportuaire.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM_{10} (-20 %) et les $PM_{2.5}$ (-16 %). 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). Elle est cependant bien moins marquée que dans les précédentes gares. Cette différence pourrait s'expliquer par un trafic de trains moins indexé sur les jours ouvrés à CDG1. En effet, si le trafic de trains diminue de 10% entre la semaine et le dimanche en gare de CDG1, il diminue de 23% en gare de Saint-Michel-Notre-Dame par exemple. Pourtant, la différence en particules semaine/weekend est faible aussi à Saint-Michel-Notre-Dame pour cette campagne (-17% pour les PM_{10} mais habituellement entre -15 et -35%). En effet, les niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame les weekends sont 23% plus élevés en moyenne par rapport aux précédentes campagnes.

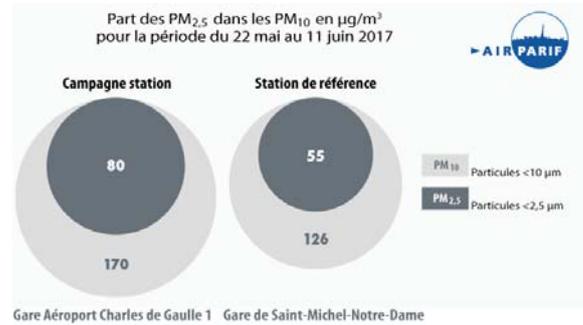


Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de CDG1, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne $33 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM_{10} et $23 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2.5}$. Les concentrations sont maximales vers 8-11h le matin et 19-22h en soirée. Les concentrations sont alors de $268 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une heure en PM_{10} et $118 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en $PM_{2.5}$. Ces profils (variabilité temporelle) sont similaires à ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM_{10} avec cependant un décalage des heures de pointes plus tôt le matin et plus tard le soir à CDG1. Les niveaux de $PM_{2.5}$ et de PM_{10} en heure de pointe sont en moyenne 50% plus élevés à CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

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, le volume de la gare, et les activités environnantes.

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

Le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ en gare de CDG1 est en moyenne de 0,53, supérieur à ceux enregistrés aux sites de référence (0,48 à Saint-Michel-Notre-Dame sachant qu'il n'y a que 50% des données de $PM_{2,5}$, et 0,36 à Magenta). Cela indique une influence potentielle de l'air extérieur, des niveaux de particules locaux dus aux travaux (émissions de PM_{10} mais aussi de $PM_{2,5}$ provenant des moteurs diesel des engins de manutention) ou aux niveaux de fond de la plateforme aéroportuaire. 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 voire de 0,8 s'observent la nuit entre 2 et 6h lorsque les émissions de PM_{10} dues à l'activité de la gare (ou aux travaux) diminuent fortement.



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

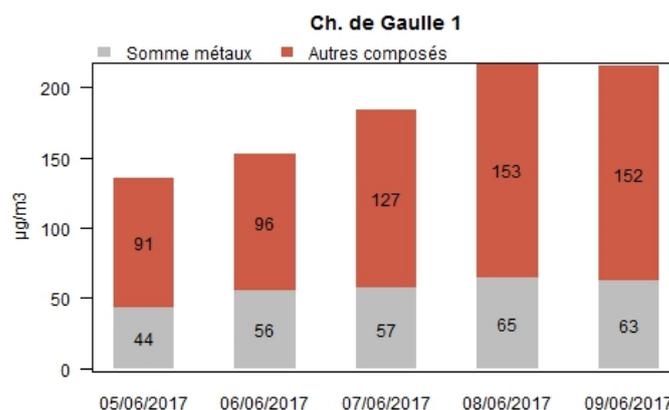
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM_{10} varie de 29 à 37% sur la semaine de mesure (5/06 au 9/06/2017) en gare de CDG1. Peu de fluctuations sont observées sur la semaine de mesure. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame varie entre 30 et 36%.

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 95 % des métaux mesurés, aussi bien à CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (96%). Suivent ensuite le **Cuivre** (3% à CDG1), le **Manganèse** et le **Zinc** (0,9% et 0,6%), le **Chrome** (0,4%), et le **Nickel** (0,1%). La proportion d'**Antimoine** est nettement plus élevée qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (résultat similaire à Cergy Préfecture), atteignant 0,3% en moyenne. Les proportions en Arsenic, 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 (où les proportions en Cuivre et Antimoine sont plus faibles, à 1,6% et 0,04%).

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 CDG1, le vendredi à Saint-Michel-Notre-Dame, en lien avec l'augmentation des teneurs en PM_{10} .



SOMMAIRE

SYNTHESE	4
SOMMAIRE	7
GLOSSAIRE	8
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS	9
1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	11
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	11
1.2 PERIODE DE MESURE	12
2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE	13
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	13
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	14
2.1.2. PARTICULES PM _{2.5}	15
2.2 VARIABILITE TEMPORELLE.....	17
2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE	17
2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	18
2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE.....	19
2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES	22
2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM ₁₀	22
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	23
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	26
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2.5}	28
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	28
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	28
2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES	29
3. FACTEURS D'INFLUENCE.....	31
3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L' AIR EXTERIEUR	31
3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT	32
3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE	34
4. CONCLUSION	36

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

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

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

GLOSSAIRE

µg/m³ micro gramme par mètre cube

ng/m³ nano gramme par mètre cube

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

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

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

CO₂ Dioxyde de carbone

NO Monoxyde d'azote

NO₂ Dioxyde d'azote

NO_x (NO+NO₂) Oxydes d'azote

PM₁₀ Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm

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

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

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

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

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

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

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

Pendant 2 ans, 23 gares franciliennes souterraines ou mixtes sont, à tour de rôle, équipées d'une station de mesure de la qualité de l'air. Dans chaque gare sont mesurées en continu pendant 3 semaines les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5}. S'ajoutent également des mesures de métaux, dont certains sont des traceurs du trafic ferroviaire : Fer (Fe), Cuivre (Cu), Zinc (Zn), Antimoine (Sb), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Arsenic (As), Cadmium (Cd) et Chrome (Cr). Enfin, les paramètres de confort (CO₂, Humidité et Température) sont suivis. Les mesures sont réalisées sur le quai de la gare.

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

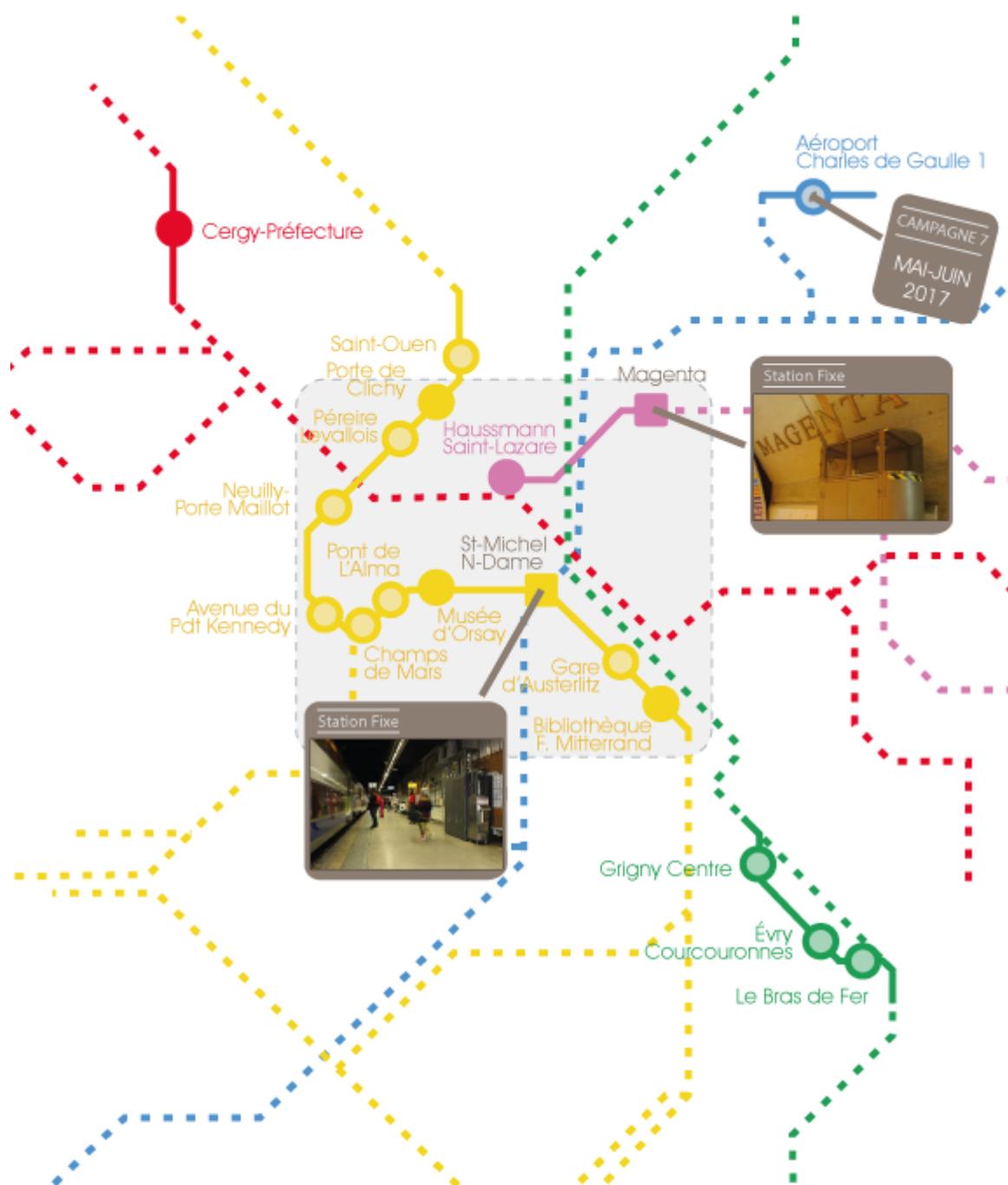
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules fines (PM₁₀) et très fines (PM_{2,5}). La station Saint-Michel-Notre-Dame mesure également les oxydes d'azote (NO_x). Des relevés réguliers de métaux y sont également réalisés. Ces deux stations de référence ont été choisies pour leurs caractéristiques différentes : Magenta est une station récente, avec une ventilation contrôlée, alors que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame est une station ancienne, sans ventilation mécanique.

C'est dans le cadre de ce programme 2016-2018 qu'une campagne de mesure a été réalisée à la gare de CDG1 en mai/juin 2017, dont les résultats sont présentés dans ce rapport.

La figure suivante illustre la localisation de la gare étudiée (CDG1), 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 l'Aéroport Charles de Gaulle 1, sur la branche Nord du RER B, est concernée par le programme de partenariat. Elle est située rue du Verseau, à Tremblay-en-France (93290).

Cette gare RER est mixte (les quais sont en partie souterrains et en partie aériens), de moyenne profondeur (quai au niveau -1). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle). Elle comprend un quai central et une voie de chaque côté du quai. C'est une gare simple, avec correspondance avec le CDGVAL.

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

Le nombre de voyageurs montant en gare de CDG1 (RER B) est de 8830 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de CDG1 (2 sens confondus) est de 345 les jours ouvrés (jours JOB), 310 les samedis et 309 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 central, partie souterraine.

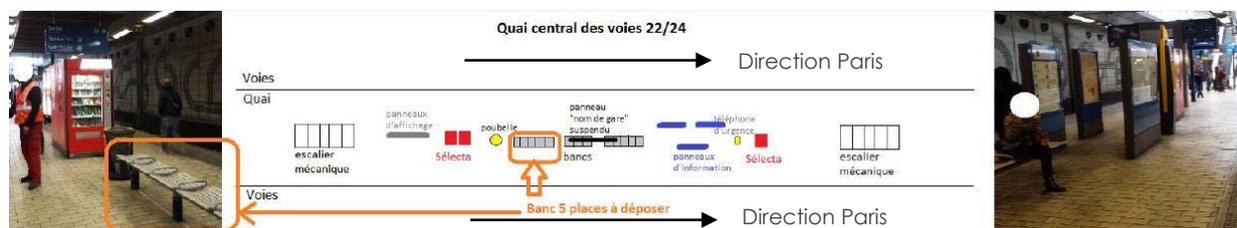


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de CDG1, ligne RER B, quai central), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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 CDG1 ont été réalisées pendant 3 semaines, du **22/05/2017 au 11/06/2017**. Cette durée a été choisie afin d'avoir suffisamment de données pour assurer la robustesse des statistiques d'une part et, d'autre part, pour rencontrer potentiellement différentes conditions météorologiques et évaluer l'impact éventuel de l'air extérieur sur les niveaux sur les quais.

Au cours de cette période, les deux jours fériés (jeudi de l'ascension le 25 mai et lundi de Pentecôte le 5 juin) ont été traités comme des dimanches.

Il est à noter que durant cette période de mesures, l'environnement proche de la gare de CDG1 était en travaux (modernisation de l'infrastructure des bâtiments). Cette spécificité sera rappelée au fil du rapport.

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 CDG1 sont comparés aux observations sur les quais des deux stations de référence (Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame), pendant la même période de mesure.

2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI

Les principaux résultats (minimum et maximum horaire, moyenne, médiane et percentiles 25 et 75 des données horaires) sont présentés dans le tableau suivant, pour la gare de CDG1 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 CDG1	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta	Gare CDG1	Saint-Michel-Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	6	1	5	3	7	5
Percentile 25 (P25)	106	90	27	47	41	9
Médiane ou Percentile 50	178	140	41	82	56	13
Moyenne	170	127	40	80	56	13
Percentile 75 (P75)	241	165	51	110	69	17
Maximum horaire	422	261	82	203	138	27
% de données horaires valides	89	93	96	88	50	96

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare de CDG1, et aux deux stations de référence, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

Le niveau moyen en PM₁₀ relevé en gare de CDG1 est supérieur à celui de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et celui de la gare de Magenta. Les valeurs statistiques sont de 18 à 60% plus élevées en gare de CDG1 qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les résultats pour les PM_{2,5} à la Gare RER B de CDG1 sont plus élevés que ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et supérieurs à ceux de la gare de Magenta. La disponibilité des données de PM_{2,5} à Saint-Michel-Notre-Dame étant inférieure à 75% sur la période, les statistiques sont à considérer avec précaution.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER B de CDG1, ainsi qu'aux deux stations de référence Saint-Michel et Magenta, est présentée à la Figure 3 par des boîtes à moustaches.

Les boîtes à moustaches permettent de comparer facilement plusieurs grandeurs statistiques. Cette représentation graphique de la distribution d'une variable met en exergue les premier et troisième quartiles, qui sont les bordures inférieure et supérieure de la boîte rectangulaire. La boîte rectangulaire contient 50% des données. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane (50% des données sont inférieures, les 50% restantes sont supérieures), et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en Gare RER B de CDG1 montre une répartition « équilibrée ³ » des mesures et des niveaux relativement élevés comparés à Saint-Michel-Notre-Dame. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER B de CDG1 sont comprises entre 106 et 241 µg/m³, pour une moyenne de 170 µg/m³ et une médiane à 178 µg/m³. Le maximum atteint à CDG1 est de 422 µg/m³ (enregistré le vendredi 2 juin entre 19 et 20h). Ces niveaux élevés dénotent une activité atypique en gare de CDG1, pouvant provenir des travaux de modernisation de la gare.

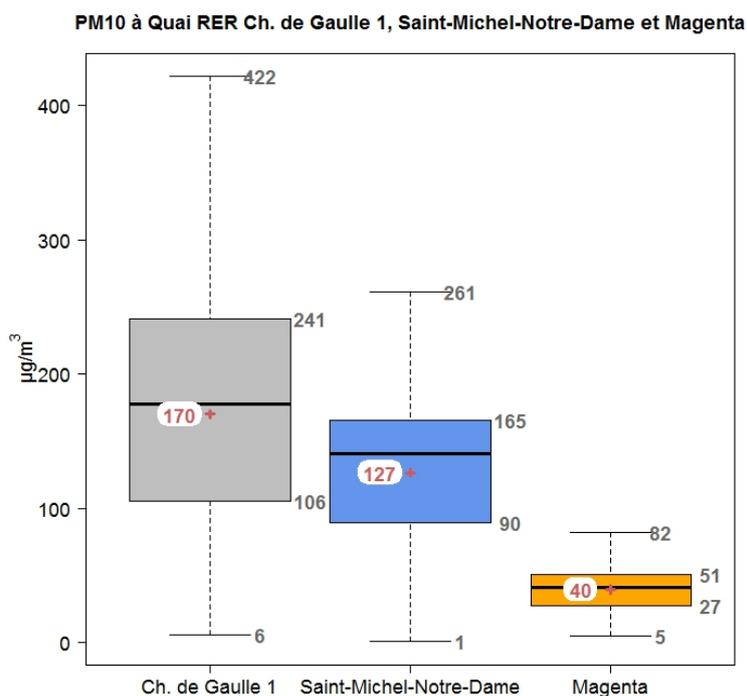


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER B de CDG1 et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

Les concentrations en PM₁₀ à la Gare RER B de CDG1 sont nettement différentes de celles de la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (minima, moyennes, médianes). Cette représentation des résultats met en avant une dispersion plus grande des concentrations sur le site de CDG1 par rapport au site de Saint-Michel-Notre-Dame parmi les données supérieures à la médiane (50 % des données se trouvent dans la fourchette de 178 - 422 µg/m³ à CDG1, contre la fourchette 140 –

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

261 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame) : les niveaux de particules en gare de CDG1 sont donc plutôt élevés tout le long de la campagne, avec des concentrations horaires régulièrement au-dessus de 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en semaine, qui ne se retrouvent pas en gare de Saint-Michel-Notre-Dame pendant cette même période de mesure (cf. paragraphe **Erreur ! Source du renvoi introuvable.**). Les travaux importants en surface de la gare peuvent avoir généré ces forts niveaux, ainsi que les niveaux de fond dus à l'activité de la plateforme aéroportuaire.

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de CDG1, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules PM_{10} est de 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Magenta, contre 170 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à CDG1.

La différence de niveaux entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame, CDG1 et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare de CDG1 et de Saint-Michel-Notre-Dame, mécanique à Magenta. Les niveaux mesurés à CDG1 et Saint-Michel-Notre-Dame sont plus élevés que ceux de Magenta. La gare de Magenta est également plus grande (d'où un volume de mélange plus important). Cependant, la gare de CDG1 est aussi plus aérée et spacieuse que la gare de Saint-Michel-Notre-Dame, avec des ouvertures donnant sur le hall du rez-de-chaussée : le volume de la gare et sa ventilation ne sont donc pas les seuls facteurs en jeu.

Le nombre de trains circulant en gare de CDG1 est de 1,2 à 1,4 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: 8 830 voyageurs par jour montant en gare de CDG1, 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 B de CDG1 est présentée Figure 4, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame.

La boîte à moustaches montre une moyenne plus élevée que celle de Saint-Michel-Notre-Dame (80 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de CDG1 et 56 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame). Cependant, les statistiques en gare de Saint-Michel-Notre-Dame sont à considérer ici avec précaution car elles sont non représentatives (la disponibilité des données est de 50% suite à des problèmes techniques). La dispersion des données est légèrement plus grande en gare de CDG1 qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, avec 50 % des données horaires comprises entre 47 et 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à CDG1, contre une fourchette de 41 à 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations en $\text{PM}_{2,5}$ en gare de CDG1 sont largement supérieures à celles de Magenta. A titre de comparaison, la moyenne des particules $\text{PM}_{2,5}$ à Magenta est de 13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

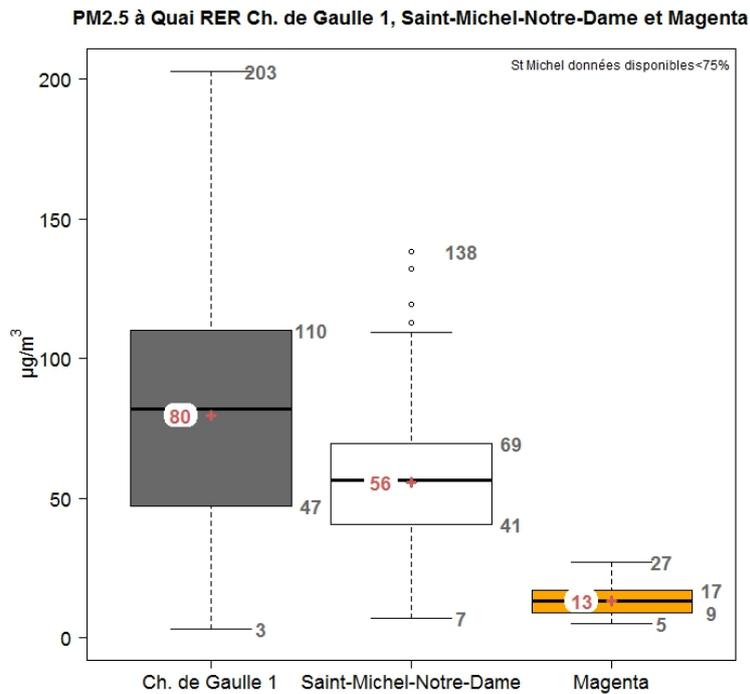


Figure 4 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2.5}, en µg/m³ à la Gare RER B de CDG1 et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

Comme pour les PM₁₀, les teneurs en PM_{2.5} en gare RER B CDG1 dépassent celles de Saint-Michel-Notre-Dame. Comme évoqué précédemment, les travaux de la gare de CDG1 ont possiblement une influence sur les niveaux de particules mesurés sur le quai. L'origine des particules PM_{2.5} est différente de celle des PM₁₀, et serait ici par exemple liée à l'utilisation d'engins de manutention émettant des PM_{2.5} en surface et pouvant influencer les niveaux souterrains.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER B de CDG1 pendant la campagne est de 170 µg/m³ pour les particules PM₁₀ et de 80 µg/m³ pour les particules PM_{2.5}.

Les niveaux moyens en particules PM₁₀ en gare de CDG1 sont nettement supérieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame (127 µg/m³ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de la station Magenta (40 µg/m³ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules PM_{2.5} en gare de CDG1 sont de même nettement supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame (56 µg/m³ enregistrés sur la même période) et largement supérieurs à ceux de Magenta (13 µg/m³). Les données PM_{2.5} de Saint-Michel-Notre-Dame sont cependant à prendre avec précaution suite à une disponibilité faible des mesures (50%).

Les moyennes horaires les plus élevées ont été enregistrées sur le quai de la gare CDG1 pour les PM₁₀ et pour les PM_{2.5}.

Ces niveaux élevés de PM pourraient en partie s'expliquer par des travaux importants dans la gare lors de la campagne.

2.2 VARIABILITE TEMPORELLE

2.2.1. VARIABILITE DES RELEVES HORAIRES PENDANT LA CAMPAGNE DE MESURE

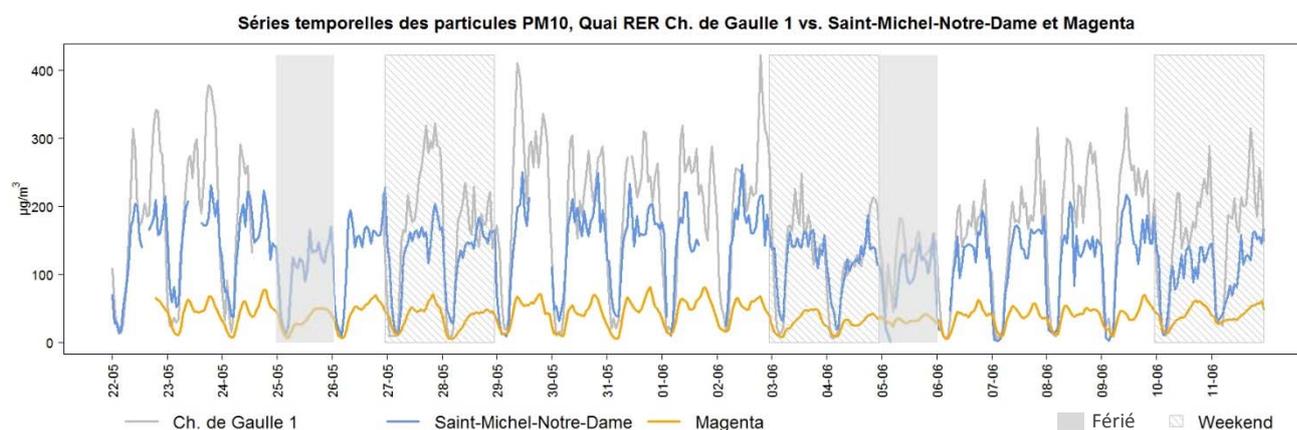
2.2.1.1. PARTICULES PM₁₀

Les relevés horaires des trois stations sont présentés à la Figure 5. 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 de la remise en suspension, non présentes la nuit lorsque toute activité dans la gare est arrêtée. Ainsi, à CDG1, les moyennes horaires dépassent volontiers 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en journée, voire les 300 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ régulièrement, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$, hors périodes éventuelles de travaux nocturnes (la nuit du 4 au 5 juin en gare de CDG1 par exemple, où les niveaux atteignent une centaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER B de CDG1 avec celle des relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels similaires en termes de tendance mais pas en valeur absolue. Les maxima journaliers sont mesurés au même moment la plupart du temps lors des heures de pointe, mais les maxima enregistrés à CDG1 sont jusqu'à 150% plus élevés que ceux de Saint-Michel-Notre-Dame. En revanche, les concentrations de nuit retombent au même niveau qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

L'évolution temporelle des relevés de Magenta est analogue à celles des gares de CDG1 et Saint-Michel-Notre-Dame, mais avec des niveaux plus faibles : les concentrations sont minimales la nuit, elles augmentent en journée en lien avec la fréquentation de la gare.

En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à CDG1 le vendredi 2 juin entre 19 et 20h (422 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, contre 261 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame le même jour entre 11 et 12h).



2.2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

Les relevés horaires, présentés en Figure 6, montrent, comme pour les PM₁₀, des fluctuations importantes entre la journée et la nuit, en lien, comme pour les PM₁₀, avec la fréquentation de la gare (trains et voyageurs). Ainsi, en journée, les teneurs en PM_{2,5} atteignent 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ voire 150 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, alors que la nuit, les niveaux sont d'une vingtaine de $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La comparaison des teneurs à la Gare RER B de CDG1 avec les relevés à la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame n'est pas complète, ceci dû au manque de données en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Il est toutefois possible de remarquer l'écart important, parfois plus 200%, entre les deux gares en journée. 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 CDG1 (203 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, contre 138 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame) le même jour que pour les PM_{10} .

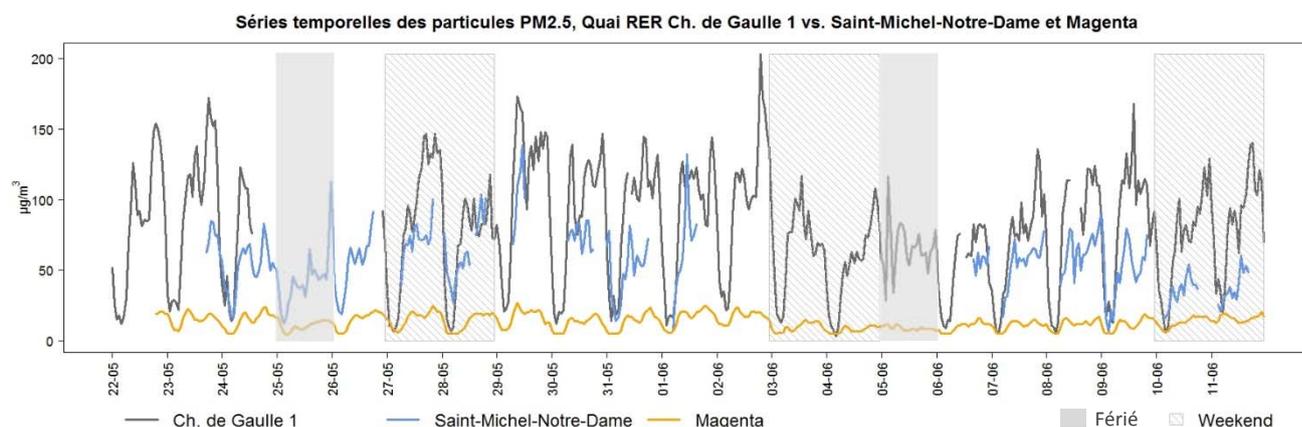
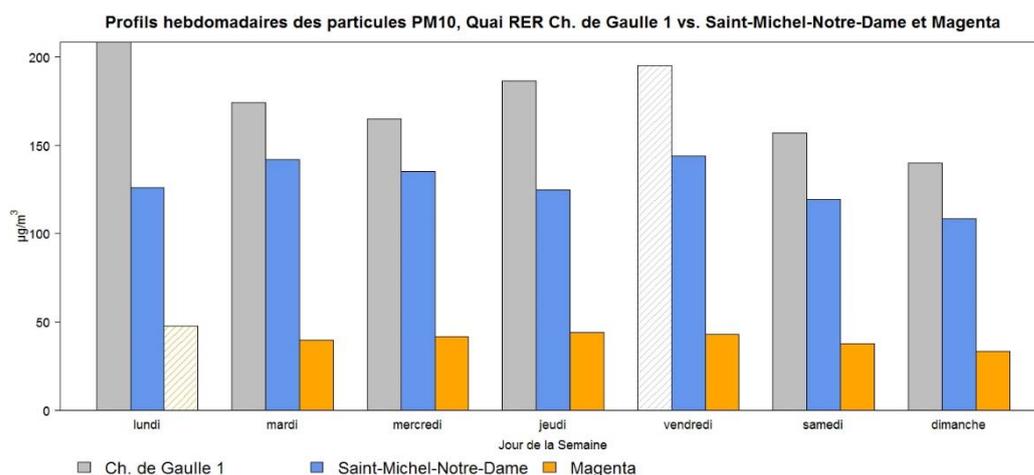


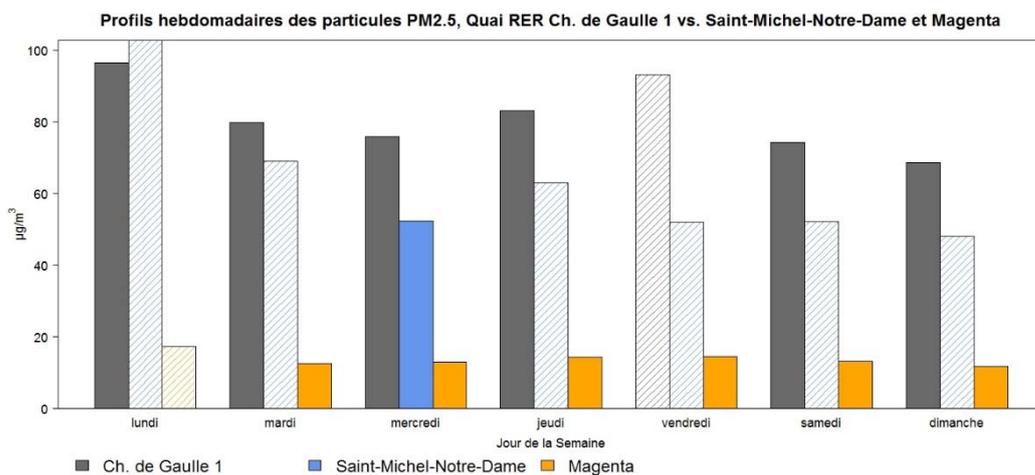
Figure 6 : Evolution des relevés horaires en $\text{PM}_{2.5}$, en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (gare RER B de CDG1 et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 22/05/2017 au 11/06/2017)

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de CDG1 sont présentés à la Figure 7 pour les PM_{10} et les $\text{PM}_{2.5}$. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de CDG1 et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 7 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017, et comparaison avec les résultats de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta. En hachuré, données disponibles < 75%

Les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés (autour de 184 µg/m³ en moyenne sur une journée pour les PM₁₀, 85 µg/m³ en moyenne pour les PM_{2.5} en ne prenant pas en compte les jours ouvrés avec moins de 75% des données disponibles, ni les jours fériés).

Les niveaux moyens diminuent les samedis et dimanches, de l'ordre de 20% par rapport aux jours ouvrés pour les PM₁₀ et de 16% pour les PM_{2.5}, ce qui est relativement faible par rapport à d'autres gares. Cette différence pourrait s'expliquer par un trafic de trains moins indexé sur les jours ouvrés à CDG1. En effet, si le trafic de trains diminue de 10% entre la semaine et dimanche en gare de CDG1, il diminue de 23% en gare de Saint-Michel-Notre-Dame par exemple.

Pourtant, la différence en particules semaine/weekend est faible aussi à Saint-Michel-Notre-Dame pour cette campagne (-17% pour les PM₁₀ mais habituellement entre -15 et -35%). Les niveaux mesurés à Saint-Michel-Notre-Dame les weekends de cette campagne sont en effet 23% plus élevés en moyenne par rapport aux précédentes campagnes.

En définitive, en semaine comme le weekend, les niveaux de PM₁₀ en gare de CDG1 sont 30% plus élevés qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

La différence semaine/weekend est par ailleurs légèrement plus importante pour les PM₁₀ que pour les PM_{2.5} en gare de CDG1, en lien avec la baisse du nombre de trains en circulation le week-end, facteur ayant davantage d'influence sur les PM₁₀ que sur les PM_{2.5} (cf. 3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE).

2.2.3. VARIABILITE JOURNALIERE

Le profil journalier moyen, présenté à la Figure 8, montre les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les **jours ouvrés** (hors jours fériés). Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2.5} ont des profils journaliers très proches. Les maxima horaires sont enregistrés lors des heures de pointe pour les deux types de particules : le matin (8-11h) et le soir (19h-22h). Les niveaux sont en moyenne sur ces périodes de 268 µg/m³ pour les PM₁₀ et 118 µg/m³ pour les PM_{2.5} en gare de CDG1. Les heures de pointe à la gare de Notre-Dame-Saint-Michel sont entre 8 et 12h le matin et entre 18 et 21h le soir. Aux heures de pointe de CDG1, les concentrations moyennes horaires enregistrées en gare de CDG1 dépassent nettement celles de Saint-Michel-Notre-Dame, d'environ 50% pour les PM₁₀ mais non calculable pour les PM_{2.5}, par manque de données en gare Saint-Michel-Notre-Dame.

Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 33 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et environ 23 µg/m³ pour les PM_{2.5}.

Ces profils journaliers en particules (PM₁₀ et PM_{2,5}) fluctuent en partie 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 CDG1, l'est également aux gares de référence.

Le profil journalier en PM_{2,5} présente des variations horaires moindres (écart type de 28 µg/m³ sur la période d'ouverture de la gare) que celui de PM₁₀ (écart type de 65 µg/m³), différence qui s'explique par le fait que les émissions liées à la circulation des trains concernent la fraction la plus grossière des particules. Cela peut également s'expliquer en partie par un temps de déposition différent entre les particules (temps plus court pour les plus grosses particules).

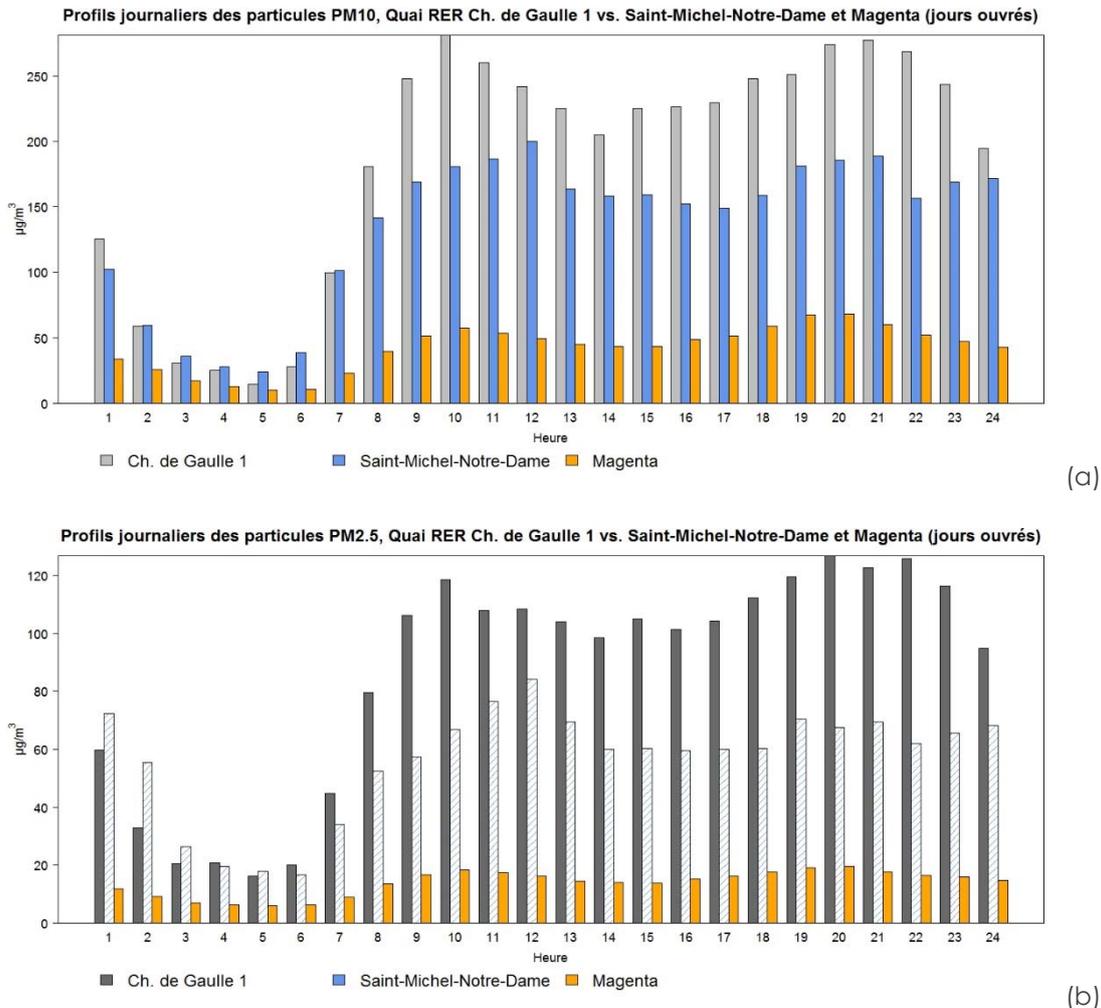


Figure 8 – Évolution des profils journaliers en PM₁₀ (a) et PM_{2,5} (b) à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

2.2.3.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne sur les trois semaines de la campagne) est présenté en Figure 9. Les jours fériés sont considérés comme des dimanches. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}, aussi bien en gare de CDG1 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 jours ouvrés, les niveaux mesurés à CDG1 sont plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, mais c'est aussi le cas les weekends. Les niveaux en gare de CDG1 sont donc particulièrement élevés que ce soit en semaine ou le weekend, hormis lors des heures de fermeture de la gare. Ces niveaux

élevés malgré l'espace et l'aération de la gare peuvent être attribués à la fois aux travaux effectués dans la gare lors des mesures en semaine, au fait que le nombre de trains diminue moins le weekend en gare de CDG1 qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, et aux niveaux de fond dus aux activités de la plateforme aéroportuaire, fonctionnant en semaine et le weekend.

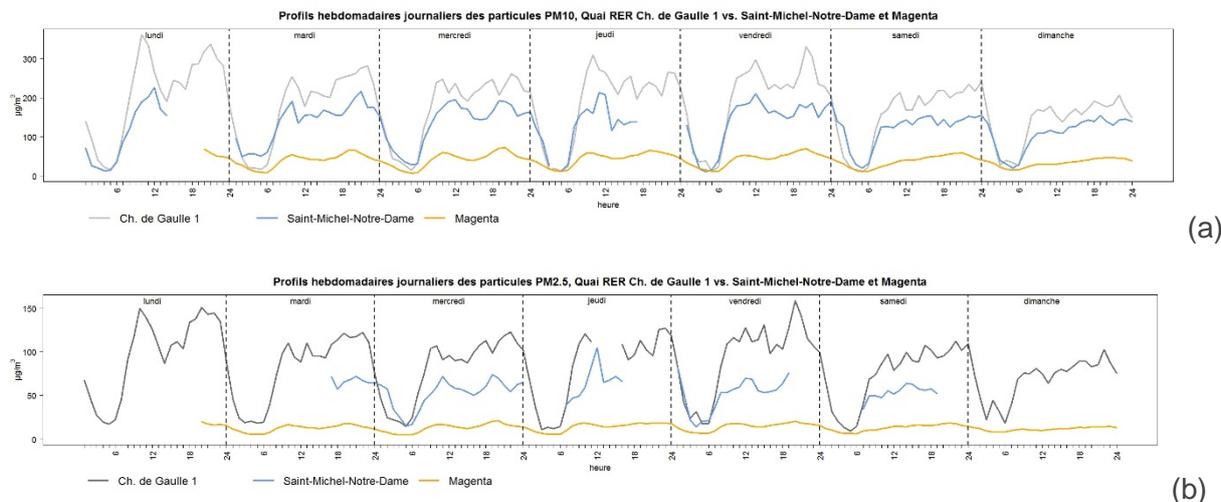


Figure 9 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER B de CDG1, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

Les variations temporelles observées sur les concentrations en particules (PM₁₀ et PM_{2.5}) sont liées à l'activité et la fréquentation de la gare (nombre de voyageurs, nombre de trains), mais pas seulement en ce qui concerne la gare de CDG1.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, mais de manière moins marquée que dans d'autres gares car le nombre de trains en circulation est moins indexé aux jours ouvrés/weekends. Les teneurs moyennes le weekend sont tout de même plus faibles qu'en semaine, pour les PM₁₀ (-20%) et pour les PM_{2.5} (-16%). Elles restent nettement plus élevées qu'à Saint-Michel-Notre-Dame même le weekend. Les teneurs à Saint-Michel-Notre-Dame étaient néanmoins plus élevées qu'à l'accoutumée les weekends de cette campagne.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec 33 µg/m³ en PM₁₀ et 23 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale lors des heures de pointe, entre 8 et 11h le matin, entre 19h et 22h le soir en gare de CDG1. Les concentrations sur le quai atteignent alors des niveaux particulièrement élevés comparés à d'autres gares, 268 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀, et 118 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Il apparaît ainsi que les relevés en PM₁₀ et PM_{2.5} lors des pointes en journée en gare de CDG1 sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame : de l'ordre de 50 % pour les PM₁₀ mais non calculable de manière fiable pour les PM_{2.5}.

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 freinage⁴, alors que les autres éléments proviennent également de l'air extérieur. Aussi les mesures de composition des particules ont concerné prioritairement l'analyse des métaux.

Les concentrations des métaux d'intérêt ont été étudiées dans les particules PM₁₀ en gare de CDG1 chaque jour ouvré pendant une semaine (du 5 au 9 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.

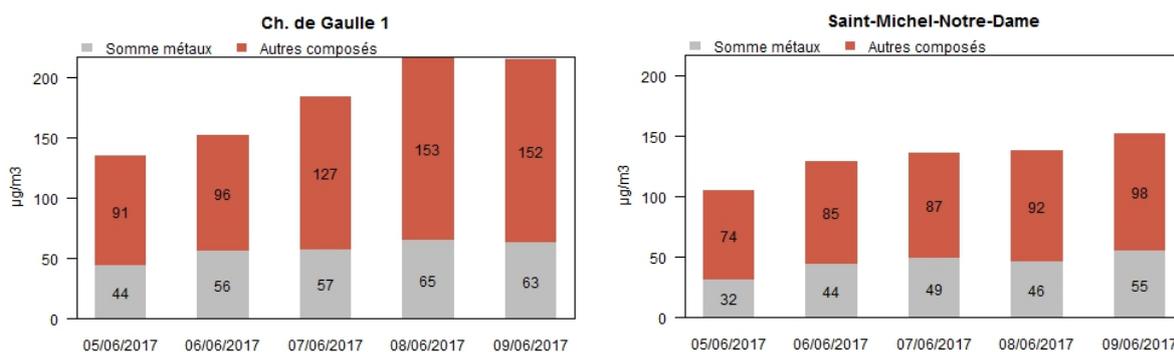
Les dix métaux suivants ont été étudiés : Fer, Cuivre, Plomb, Zinc, Antimoine, Manganèse, Nickel, Arsenic, Cadmium et Chrome. Ces métaux ont été choisis conformément à la littérature⁴.

2.3.1. PART DES METAUX DANS LES PARTICULES PM₁₀

Le graphique suivant (Figure 10) montre la part de métaux enregistrée dans les particules PM₁₀, pour chaque journée de mesure, en gare de CDG1 et de Saint-Michel-Notre-Dame.

En gare de CDG1, la concentration en métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 44 µg/m³ (le 05/06/17) à 65 µg/m³ (le 08/06/17). La part des métaux a varié de 29% (le 09/06/17) à 37% (le 06/06/17). Elle est donc globalement stable.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la concentration des métaux a varié entre 32 µg/m³ (le 05/06/17) et 55 µg/m³ (le 09/06/17). La part de métaux a varié de 30% (le 05/06/17) à 36% (le 07/06/17). La part des métaux dans les particules est donc similaire dans les deux gares.



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

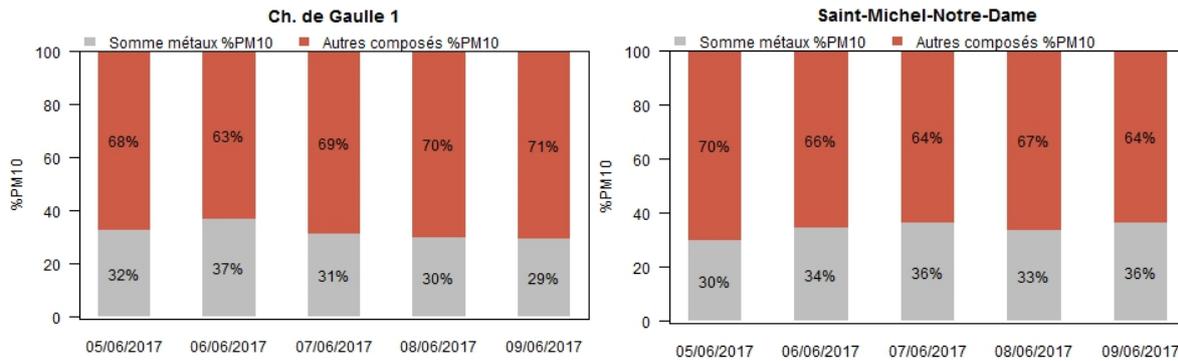


Figure 10 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement en concentration et en % de particules PM₁₀, à la gare RER B de CDG1 et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/06/2017 au 09/06/2017.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 11) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 05 et le 09/06/2017, aussi bien en gare de CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4. La contribution moyenne de chaque métal est proche à CDG1 et Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le cuivre (1,6% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 3% à CDG1) et l'antimoine (0,04% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 0,27% à CDG1). Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure.

Ch. de Gaulle 1, moyenne du 05/06/2017 au 09/06/2017 Saint-Michel-Notre-Dame, moyenne du 05/06/2017 au 09/06/2017

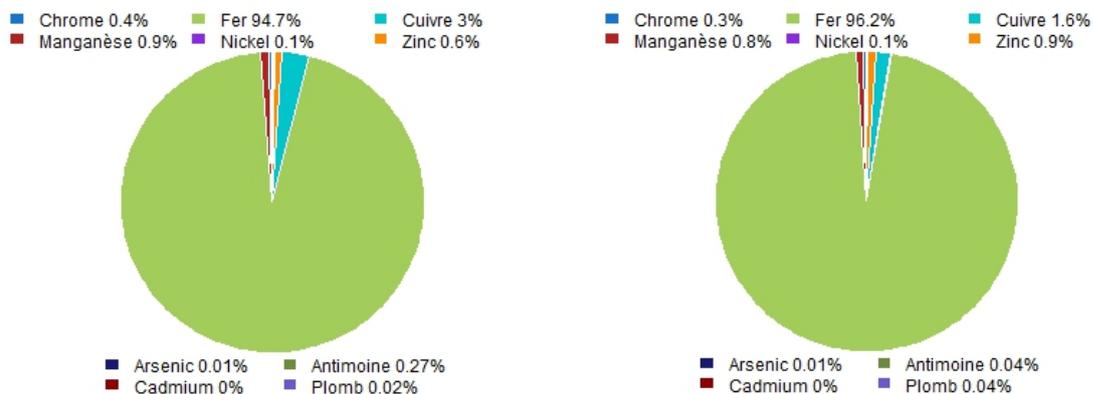


Figure 11 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 05/06 au 09/06/2017, en gare de CDG1 et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

Parmi les dix métaux étudiés, le **Fer** est l'élément majoritaire dans les deux gares : il représente environ 95 % des métaux mesurés, aussi bien à CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (96%). Ce résultat est similaire aux mesures des précédentes campagnes.

En dehors du fer, les deux métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont le Cuivre, le Zinc et le Manganèse, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 3% pour le **Cuivre** (1,6% à Saint-Michel-Notre-Dame), 0,9 % et 0,6% pour le **Manganèse** et le **Zinc** (0,8% et 0,9% à Saint-Michel-Notre-Dame).

Le **Chrome** représente 0,4% des prélèvements en métaux en gare de CDG1 (0,3% à Saint-Michel-Notre-Dame), et le **Nickel** ne représente que 0,1% des prélèvements en métaux. A la différence des relevés des autres gares, l'antimoine apparaît dans des proportions équivalentes à celles du Chrome et du Nickel en gare de CDG1, représentant 0,27% des métaux (contre seulement 0,04% à Saint-Michel-Notre-Dame, et de 0 à 0,04% dans les autres gares).

Les proportions en **Arsenic, Cadmium, et Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à CDG1 ou à Saint-Michel-Notre-Dame.

La Figure 12 présente la part de chaque métal (Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de CDG1 et de Saint-Michel-Notre-Dame, pour les cinq jours de mesure. La Figure 13 présente les résultats pour le Nickel, l'Arsenic, le Plomb, l'Antimoine et le Cadmium. **La part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure, excepté pour l'antimoine en gare de CDG1**, avec un écart maximal à la moyenne de 50%.

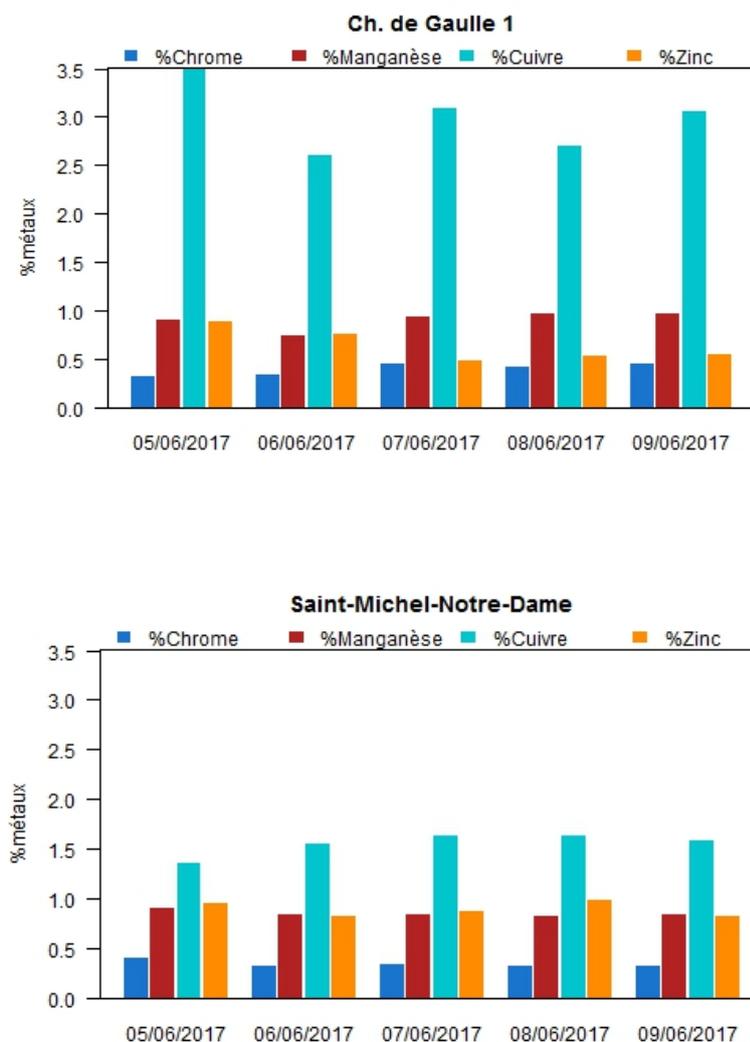


Figure 12 – Part journalière de Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER B de CDG1 et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/06/2017 au 09/06/2017.

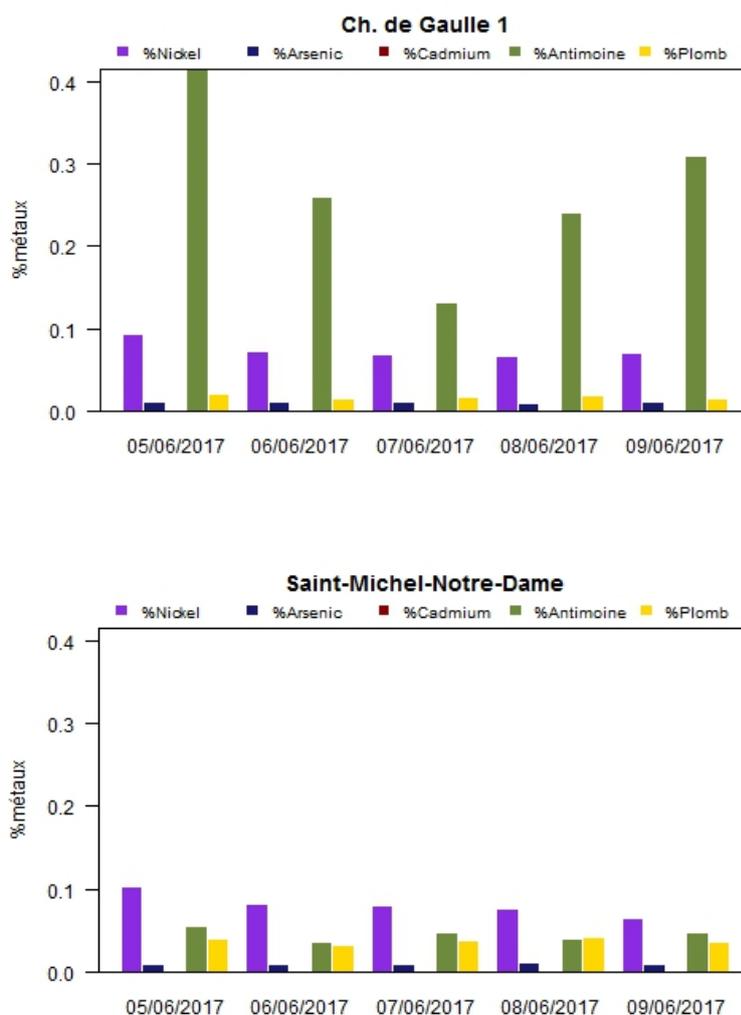


Figure 13 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER B de CDG1 et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/06/2017 au 09/06/2017.

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

- Les émissions lors du freinage. La plupart de ces composés (Manganèse, Fer, en quantité négligeable, 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 métaux mesurés sont cohérents avec les sources identifiées et les résultats de la littérature. L'analyse bibliographique dans les réseaux ferroviaires français (hors réseau francilien) met en avant le Fer comme élément dominant, suivi du Cuivre, du Zinc, de l'Antimoine et du Manganèse.

Les résultats à l'échelle des grandes villes mondiales mettent également en avant le Baryum, le Nickel et le Chrome. Ainsi les 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 B à CDG1 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.

2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 14) présente les concentrations observées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de CDG1 et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame. Les teneurs en **Fer** sont plus élevées à CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame : les moyennes journalières ont varié entre 41 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (05/06/2017) et 62 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (08/06/2017) en gare de CDG1 (moyenne 54 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et entre 30 et 53 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Ces niveaux sont essentiellement liés aux concentrations de particules PM_{10} observées sur les deux sites, et particulièrement pour la gare de CDG1 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 PM_{10} est de 0,99 pour Saint-Michel-Notre-Dame et de 0,92 pour CDG1.

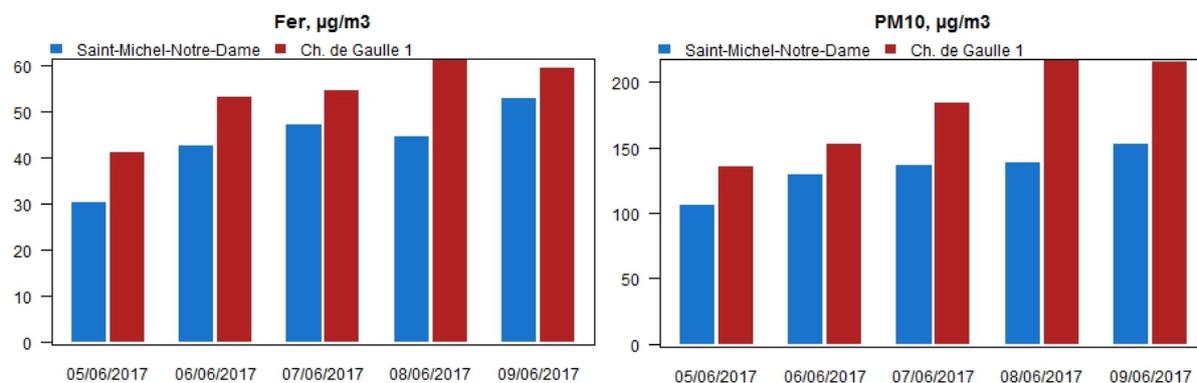


Figure 14 – Relevés journaliers en Fer à la gare RER B de CDG1 et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 05/06/2017 au 09/06/2017.

Quatre métaux présentent des teneurs de l'ordre de quelques centaines de ng/m^3 à un millier de ng/m^3 . Il s'agit du **Chrome, du Manganèse, du Cuivre, du Zinc et de l'Antimoine** pour la gare CDG1. Les relevés journaliers pour chacun de ces composés sont présentés en ANNEXE 5.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 1540 à 1922 ng/m^3 , contre une moyenne de 711 ng/m^3 à Saint-Michel-Notre-Dame. Cela s'explique par des niveaux de PM_{10} à CDG1 1,4 fois plus élevés en moyenne qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les résultats à la station de référence sont similaires aux relevés des campagnes précédentes.

Les teneurs journalières en **Zinc** à CDG1 (279 à 422 ng/m^3) sont similaires à celles de Saint-Michel-Notre-Dame, mais avec des concentrations de PM_{10} 1,5 fois plus importantes à CDG1, d'où une part de Zinc plus faible en gare de CDG1.

Concernant le **Manganèse**, les concentrations journalières ont varié entre 398 et 625 ng/m³ (1,4 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame).

Les concentrations journalières en **Chrome** étaient comprises entre 143 et 283 ng/m³, à nouveau 1,5 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les différences de niveaux pour le Cuivre, le Manganèse et le Chrome entre les deux gares s'expliquent par des niveaux de PM₁₀ 1,5 fois plus élevés en moyenne à CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Enfin, les concentrations journalières en **Antimoine** étaient comprises entre 75 et 193 ng/m³, soit 8 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame. Une source plus importante d'Antimoine est présente en gare de CDG1, ou sur la ligne RER B de manière générale, ce qui sera à confirmer lors des campagnes suivantes.

Les teneurs de tous les métaux ont été relativement stables sur les cinq jours étudiés, excepté pour l'Antimoine à CDG1.

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers à CDG1 varient :

- Entre 39 et 43 ng/m³ pour le Nickel ;
- Entre 7 et 11 ng/m³ pour le Plomb ;
- Entre 4 et 6 ng/m³ pour l'Arsenic ;
- Pour le Cadmium, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m³.

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM₁₀ en gare de CDG1 varie de 29 à 37% sur la semaine de mesure. A Saint-Michel-Notre-Dame, la part des métaux dans les particules PM₁₀ est très similaire, variant entre 30% et 36%.

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 95% des métaux mesurés, aussi bien à CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (96%). Viennent ensuite le **Cuivre** (3% à CDG1), le **Manganèse** et le **Zinc** (0,9% et 0,6%), le **Chrome** (0,4%), le **Nickel** (0,1%) et, à la différence des autres gares, l'**Antimoine** (0,3%). Les proportions en Arsenic, Cadmium, 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.

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf pour le cuivre (3% à CDG1 et 1.6% à Saint-Michel-Notre-Dame) et l'antimoine (0,27% à CDG1 contre 0,04% à Saint-Michel-Notre-Dame). Les teneurs de métaux à CDG1 sont aussi plus élevées, liées essentiellement aux niveaux de PM₁₀ plus élevés.

2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM_{2,5}

La part relative des PM_{2,5} et des PM₁₀ 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 (PM₁₀) est présenté à la Figure 15. En moyenne, en gare de CDG1, le ratio PM_{2,5}/PM₁₀ est de 0,53. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,46 à Saint-Michel-Notre-Dame (attention toutefois en comparant car seulement 50% des données de PM_{2,5} sont disponibles à Saint-Michel-Notre-Dame) et 0,36 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. La moyenne du ratio à CDG1 est élevée par rapport à d'autres gares, indiquant une source plus importante de PM_{2,5} (peut-être due à l'activité des engins de manutention pour les travaux, et aux niveaux de fond de la plateforme aéroportuaire).

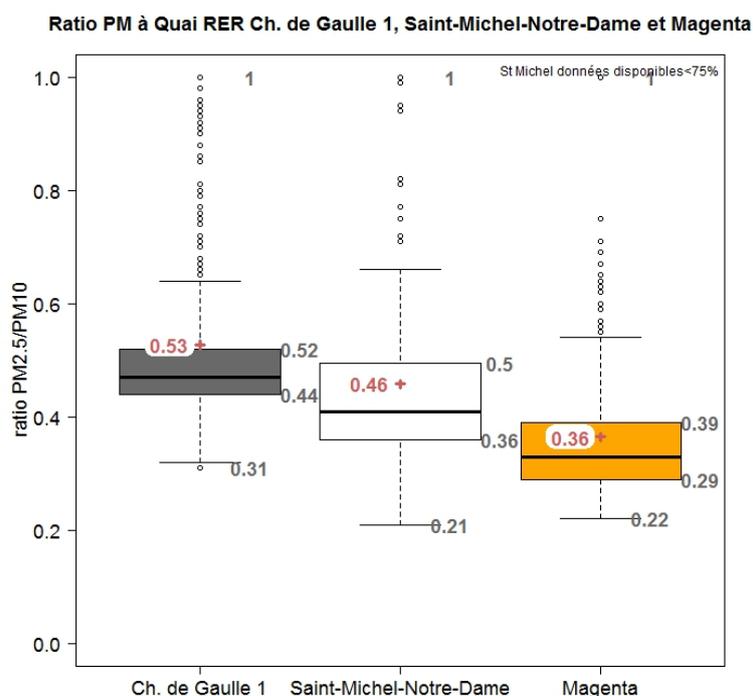


Figure 15 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM_{2,5}/PM₁₀, à la Gare RER B de CDG1 et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de PM_{2,5}/PM₁₀, présentées à la Figure 16, sont très faibles tout le long de la semaine, le ratio oscillant entre 0,51 et 0,54 à CDG1. Cela s'explique par des sources stables de PM_{2,5} et PM₁₀ tout le long de la semaine, ce qui peut provenir de l'influence importante de l'air extérieur sur les niveaux de particules du quai. Les données de la station Saint-Michel-Notre-Dame ne seront pas analysées faute de suffisamment de données disponibles.

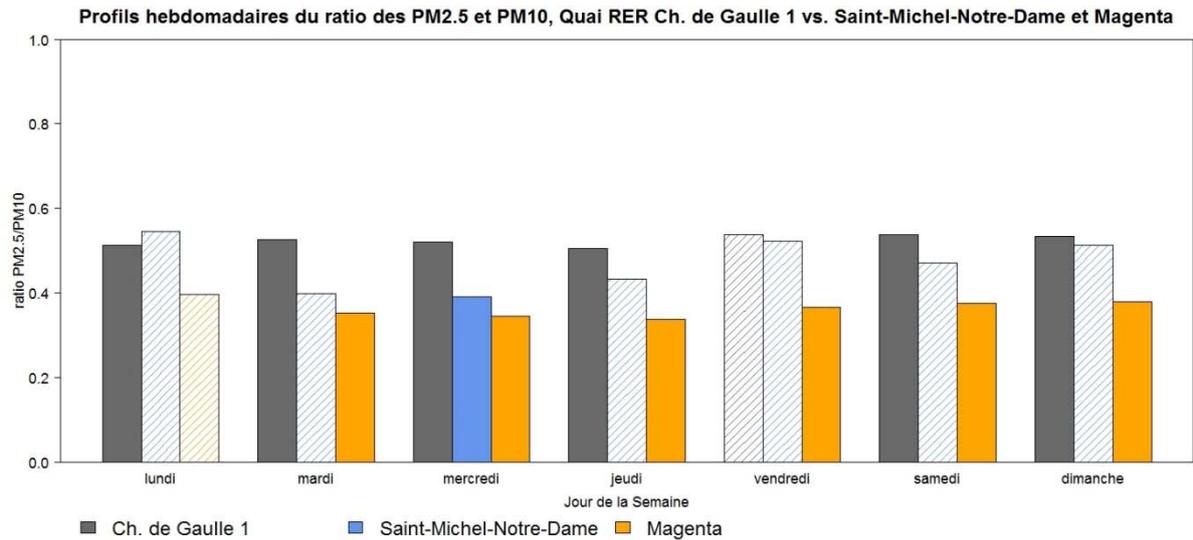


Figure 16 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER B de CDG1 et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 22/05/2017 au 11/06/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 17. Les profils de CDG1 et Magenta sont proches mais le ratio à CDG1 est en moyenne 50% plus élevé, que ce soit lors des heures de fermeture (1h à 5h, ratio maximal) que lors des heures d'ouverture de la gare. Les données à Saint-Michel-Notre-Dame ne sont pas assez nombreuses pour analyser le profil mais il semble qu'il soit proche de celui de CDG1 tout en restant inférieur.

En termes de variation, les profils sont proches les uns des autres : les ratios sont stables en journée, ils augmentent la nuit lorsque l'activité de la gare est nulle (trains, voyageurs), 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.

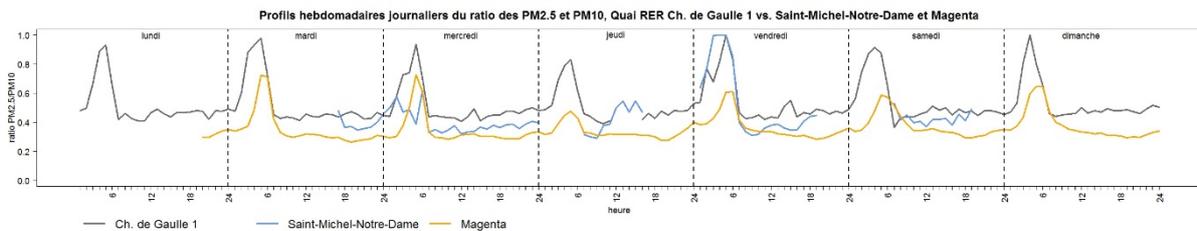


Figure 17 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2.5}/PM_{10}$ à la gare RER B de CDG1 et aux stations de référence, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

L'étude des profils moyens journaliers est présentée à la Figure 18. Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 6h à 1h), aussi bien en gare de CDG1 qu'à Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, autour de 0,45 (0,32 à Magenta). Les heures de pointe n'ont pas d'effet sur le ratio, comparé à d'autres gares. La nuit (entre 1h et 6h, lors de la fermeture au public et au début de l'ouverture de la gare), les ratios augmentent jusqu'à 0,6 voire même à plus de 0,9 (autour de 0,5/0,6 à Magenta). Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules PM_{10} et les $PM_{2.5}$, peut également expliquer en partie ces différences.

Profils journaliers du ratio des PM_{2.5} et PM₁₀, Quai RER Ch. de Gaulle 1 vs. Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta (jours ouvrés)

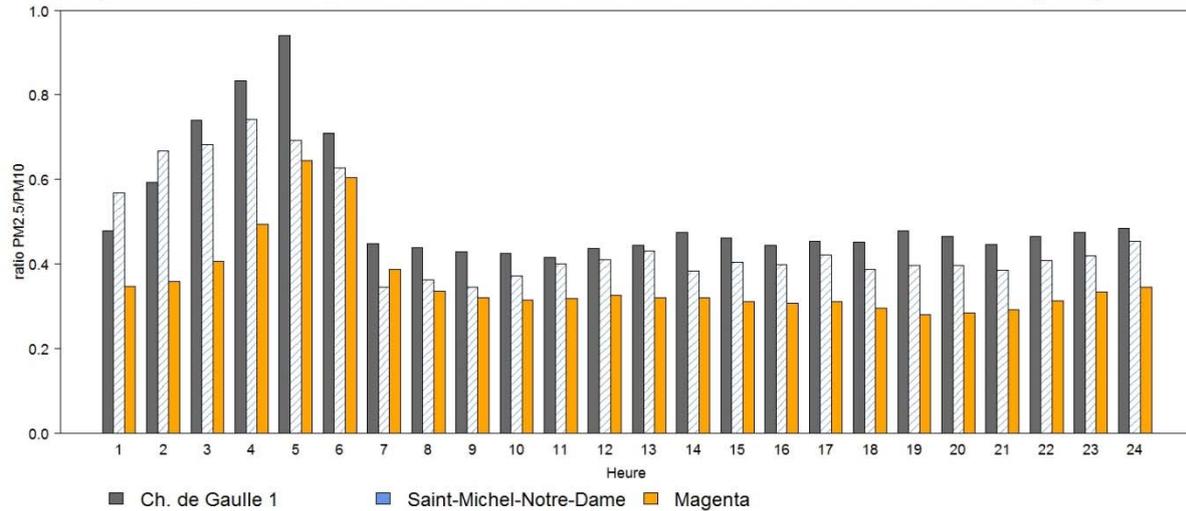


Figure 18 – Évolution des profils journaliers des ratios PM_{2.5}/PM₁₀ à la gare RER B de CDG1 et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 22/05/2017 au 11/06/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Les particules PM₁₀ mesurées en gare de CDG1 sont constituées pour moitié environ de particules PM_{2.5}. Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ atteint 0,53 à CDG1, contre 0,46 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,36 à Magenta.

Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ est relativement stable **à l'échelle hebdomadaire** à CDG1 et Magenta (pas assez de données à Saint-Michel-Notre-Dame).

A l'échelle horaire, des fluctuations importantes existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,45 en journée, qui augmente la nuit, entre 0,6 et 0,9, lorsque les concentrations en PM₁₀ diminuent fortement pour se rapprocher de celles de PM_{2.5}.

3. FACTEURS D'INFLUENCE

3.1 INFLUENCE DE LA QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR

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

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

Pendant cette campagne de mesure, les paramètres météorologiques enregistrés ont été globalement conformes à ceux observés habituellement au cours des mois de février/mars, avec des températures légèrement supérieures à la normale. Ces conditions météorologiques se sont traduites par un **indice de la qualité de l'air** (CITEAIR⁵, variant de 0 « très faible » à > 100 « très élevé ») faible pendant la moitié de la campagne de mesure (12 jours, soit 57% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 9 jours (43% du temps).

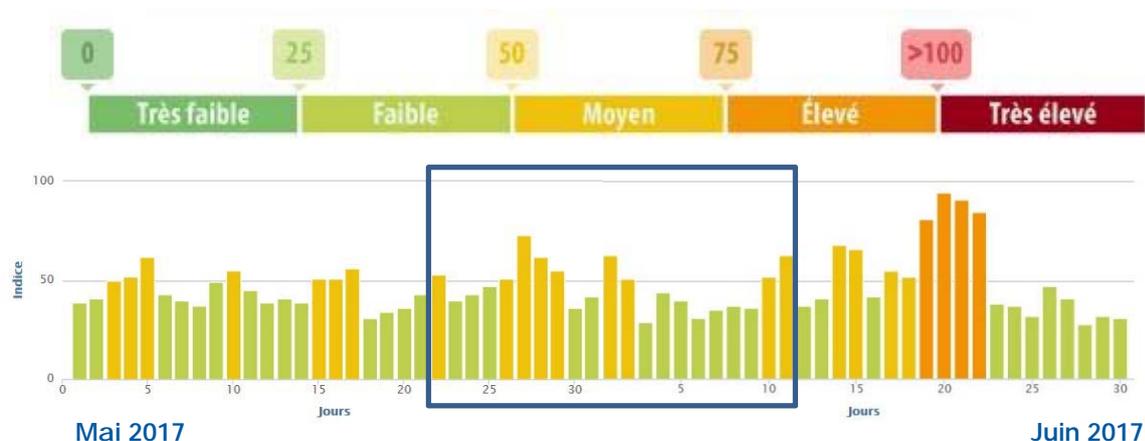


Figure 19 – Historique de l'indice CITEAIR pour les mois de mai et juin 2017.

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

Une comparaison des moyennes journalières en particules sur le quai de la gare de CDG1 avec les niveaux enregistrés en air extérieur est présentée Figure 20, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5}. Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à CDG1 ne semblent pas liées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif (il n'y a pas de station Airparif localisée à CDG1). Les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires de CDG1 et des stations extérieures vont de 0,05 à 0,33, PM₁₀ et PM_{2,5} confondues. La faible profondeur du quai et son ouverture sur le hall donnant sur l'extérieur permet à l'air extérieur de descendre jusqu'aux quais via les entrées/sorties de la gare : les particules produites par les travaux de modernisation de la gare sont susceptibles d'atteindre les quais : ce sont des PM₁₀ (remise en suspension) et PM_{2,5} (émises par les engins de manutention ou les activités de la plateforme aéroportuaire). Ces particules sont émises localement.

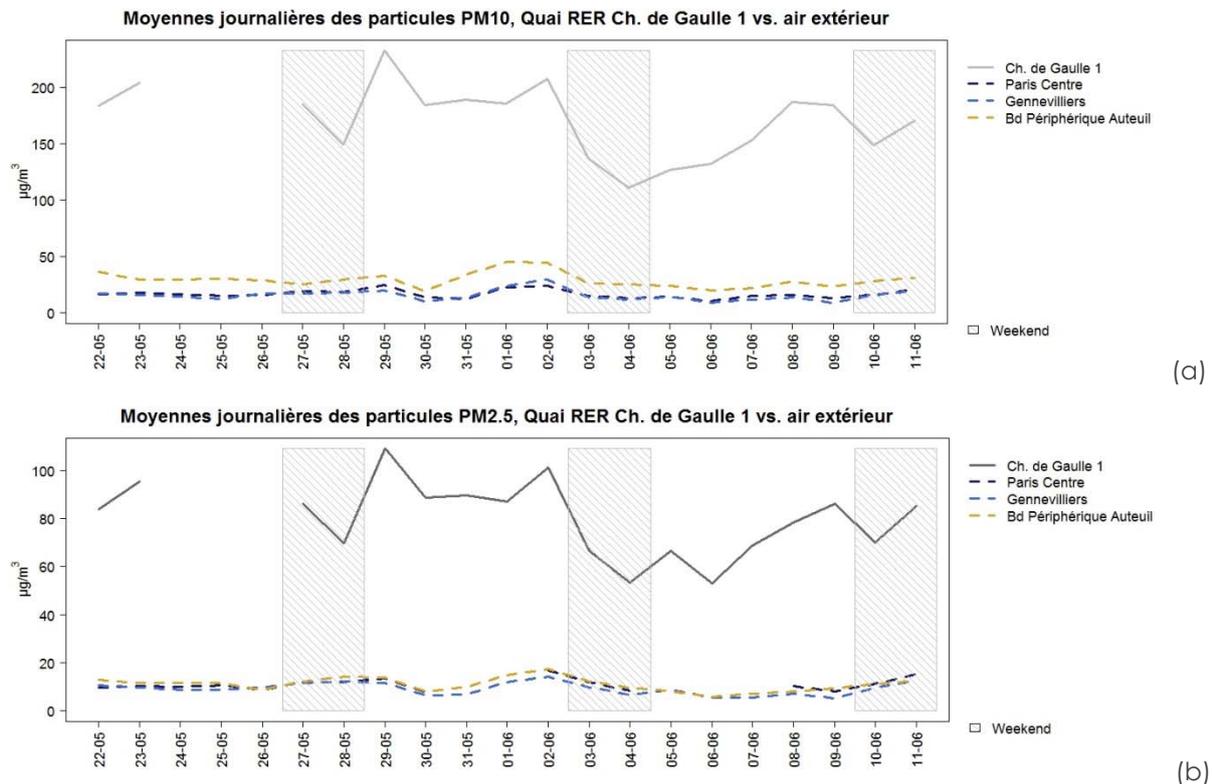


Figure 20 – Evolution des teneurs journalières en PM₁₀ (a) et en PM_{2,5} (b) en gare de CDG1 et en air extérieur (situation de fond et proximité au trafic routier), période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

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 21. La température moyenne en gare de CDG1 est de 25°C, les relevés horaires ayant varié entre 20 et 29°C (similaire à Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare de CDG1 est de 46%, les relevés horaires ayant varié de 31% à 61%. Ces relevés sont proches de ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO₂ sont plus fluctuants (mais moins qu'à Saint-Michel-Notre-Dame), ceci en lien avec la fréquentation de la gare. En moyenne de 511 ppm sur la période de mesure, les relevés

varient entre 423 ppm et 702 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 résidentiel⁶.

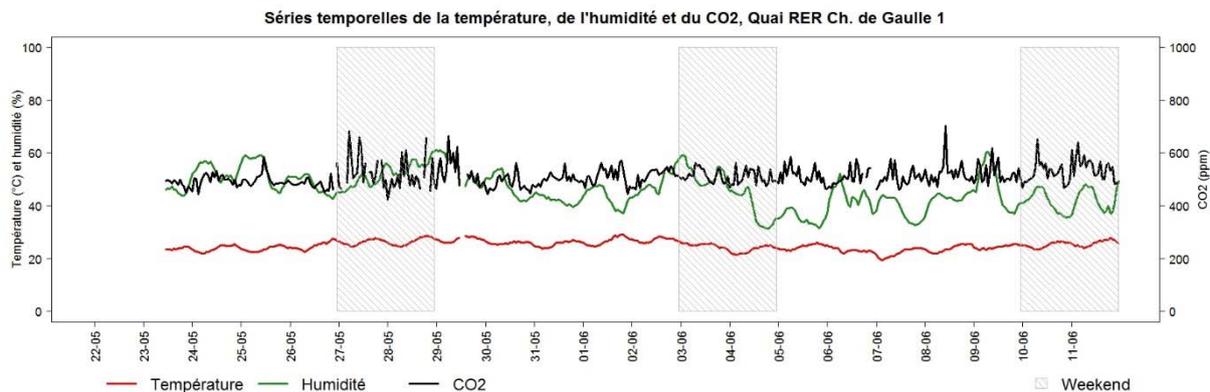


Figure 21 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

Les variations des concentrations de CO₂ sont en moyenne faibles dans la gare de CDG1 (cf. Figure 22). La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés montre que les teneurs maximales en particules sont observées en même temps que pour le CO₂ mais seulement le matin avec un léger décalage, à savoir entre 8h et 11h. La corrélation entre les teneurs en CO₂ et les PM₁₀ est en effet plus faible à CDG1 (0,13) qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (0,53). La non-corrélation CO₂/PM₁₀ à CDG1 peut être expliquée par la grande ouverture de la gare, qui permet la dispersion du CO₂ rapidement ou l'import de sources extérieures au quai plus facilement.

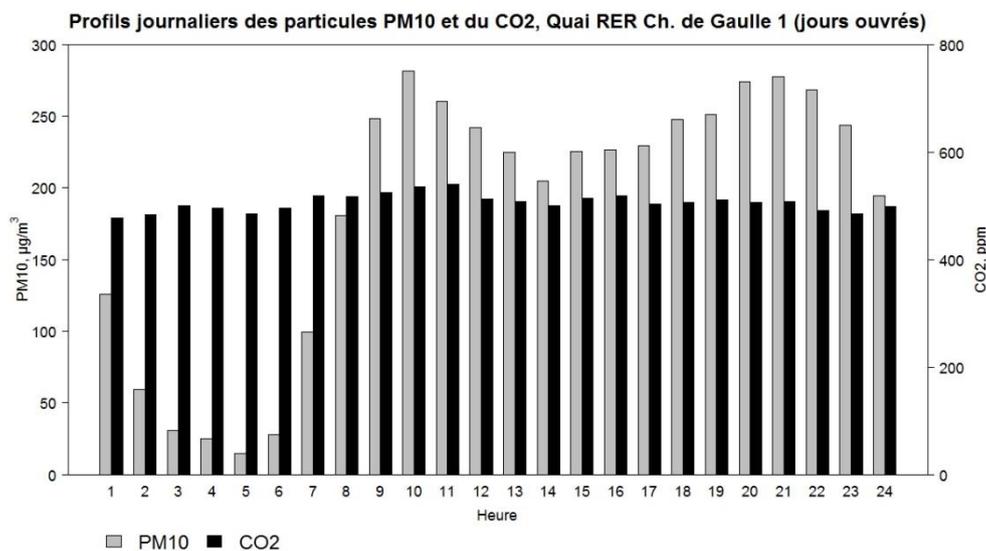


Figure 22 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%.

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

3.3 PARAMETRES TECHNIQUES, TRAFIC DE LA GARE

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

La gare de CDG1 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.

Le nombre de trains théorique circulant en gare de CDG1 (et aux stations de référence) a été transmis par la SNCF Gares d'Ile-de-France, ceci selon la période : JOB (jours ouvrés du mardi au jeudi), samedi et dimanche, pendant la campagne de mesure. Aucune perturbation de grande ampleur n'a été signalée sur la ligne ou dans la gare de CDG1.

En moyenne, les jours ouvrés, 345 trains circulent en gare de CDG1 (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 310 trains qui ont circulé (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta) et le dimanche, 309 trains (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 23.

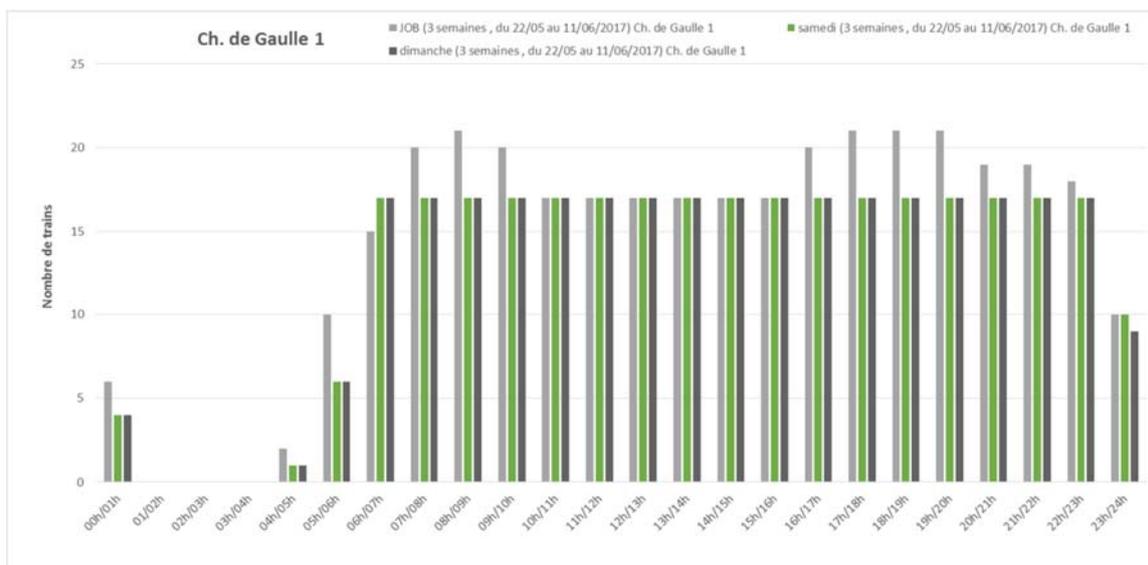


Figure 23 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les relevés en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 24, pour les jours ouvrés, en gare de CDG1. Le profil des teneurs en particules PM₁₀ est clairement corrélé au nombre de trains en circulation.



Figure 24 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

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

En gare de CDG1, la diminution du nombre de trains en circulation se traduit par une baisse des teneurs en particules : baisse de 10% du nombre de trains et diminution de 20% des niveaux de PM₁₀.

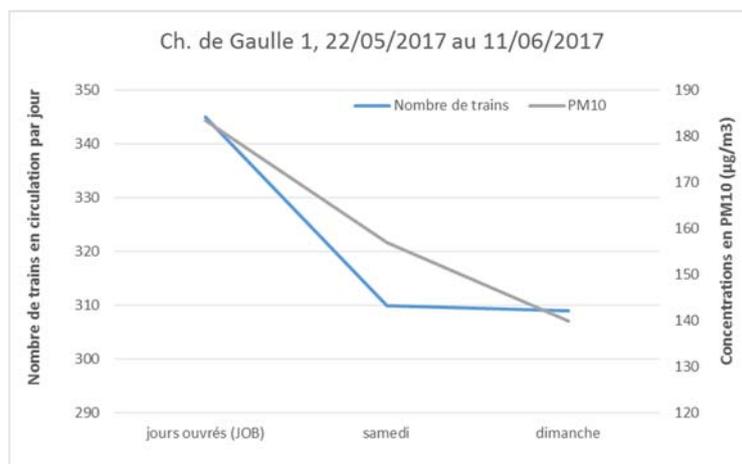


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER B de CDG1, période du 22/05/2017 au 11/06/2017.

L'influence de paramètres techniques de la gare de CDG1 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.
- 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 CDG1, peut-être dû à l'ouverture du quai sur l'extérieur.
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de CDG1 ne sont pas corrélées à celles mesurées en air extérieur par les stations Airparif (il n'y a pas de station fixe localisée à CDG1). Une source locale extérieure peut être la source de niveaux de particules plus élevés en gare de CDG1 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 CDG1, pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5} :

- Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER B en gare de CDG1 au cours des mois de mai/juin 2017 étaient en moyenne de 170 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 422 µg/m³ (enregistré lors des heures de pointe du soir).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 80 µg/m³, pour un maximum horaire de 203 µg/m³ (maximum atteint aux mêmes heures pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}), niveaux donc très élevés dénotant une activité particulière dans la gare (travaux de modernisation de la gare).

Les concentrations en particules PM₁₀ à la gare de CDG1 sont bien plus élevées (30% en moyenne) que celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée), en termes de niveaux journaliers en semaine. Ceci est probablement dû à des travaux en gare de CDG1, et aux niveaux extérieurs dus aux activités de la plateforme aéroportuaire.

Plusieurs indicateurs confortent cette hypothèse :

- Connaissance du terrain ;
- Une absence de corrélation avec les niveaux extérieurs des stations Airparif, indiquant une influence locale des niveaux extérieurs ;
- Des niveaux de PM_{2,5} particulièrement élevés tout au long de la campagne ;
- Un ratio PM_{2,5}/PM₁₀ plus élevé que dans les gares de références, donc une source spécifique de PM_{2,5} à proximité (engins de manutention par exemple, trafic aéroportuaire) ;
- Une part des métaux plus faible à CDG1 que dans d'autres gares, indiquant là aussi une influence de l'air extérieur moins riche en métaux.

Les concentrations en PM_{2,5} en gare de CDG1 sont très supérieures sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (sans chiffre précis par manque de données en gare de référence) et largement supérieures à celles de Magenta (RER E, station ventilée).

Comme pour les autres gares étudiées, l'analyse des teneurs en métaux des particules PM₁₀ confirme la présence majoritaire du Fer (environ 95 % des métaux mesurés). Suivent ensuite en proportion le Cuivre (3% des particules), le Zinc, le Manganèse, et, à la différence des autres gares, l'Antimoine (0,3% à 0,9% des particules) en quantité significative mais toujours dans des proportions nettement moins importantes que les précédents métaux. Ces résultats sont proches de ceux observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre (1,6%) et l'Antimoine (0,04%).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation. 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 septième campagne de mesure Gare, après celle réalisée en gare RER C de Saint-Ouen et celle réalisée en gare RER C de Neuilly-Porte Maillot. 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 réalisés 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 CDG1

Configuration de la gare :

Pas de portes palières, 4 voies, 2 quais, correspondance avec CDGVAL

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 8830 (source : SNCF, carte des montants 2016)

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

Matériel : type RER

Modèle : automotrices MI 79 – Z8100, MI 84

Véhicules compartimentés (4 voitures par rame)

Véhicules à 1 niveau, entre 788 et 841 places totales par train.

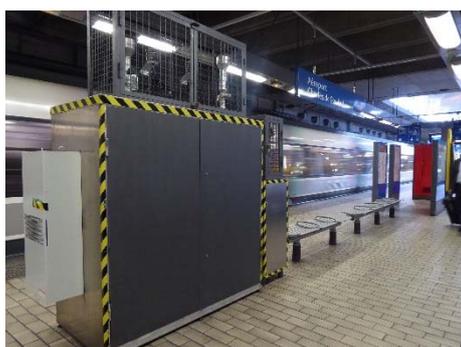
Energie motrice : caténaire

Type de roulement : fer

Conditions de circulation pendant la campagne :

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

Travaux extérieurs.



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

PRELEVEMENTS MANUELS

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

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

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES⁴ dans les enceintes 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 événement extérieur (coupure électrique par exemple) rendant la donnée non représentative, etc.

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

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

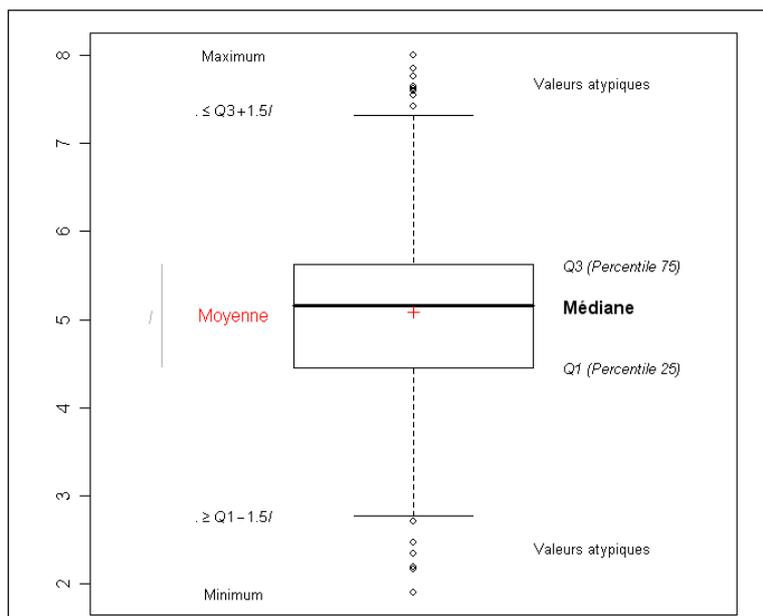
⁸ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 :

BOITE A MOUSTACHE

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

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

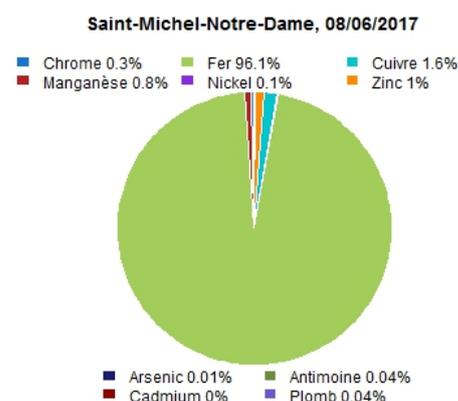
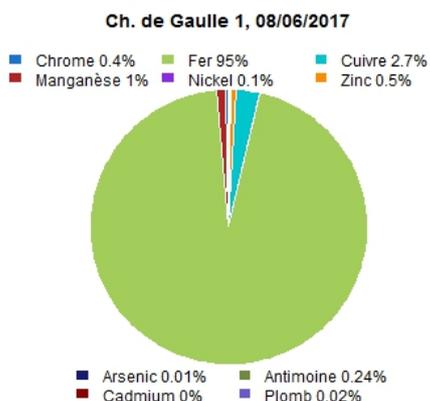
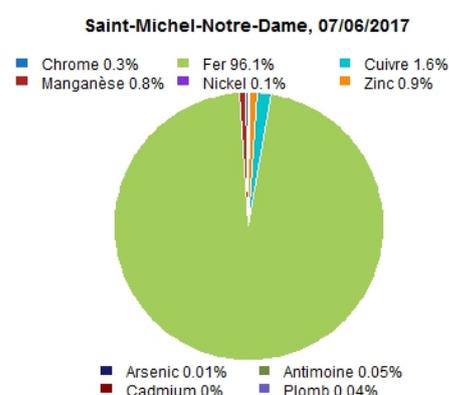
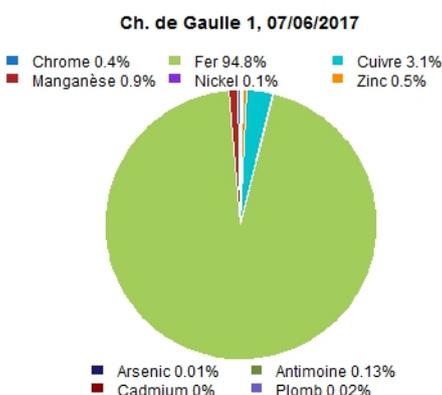
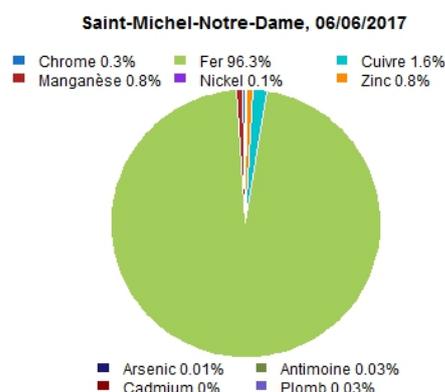
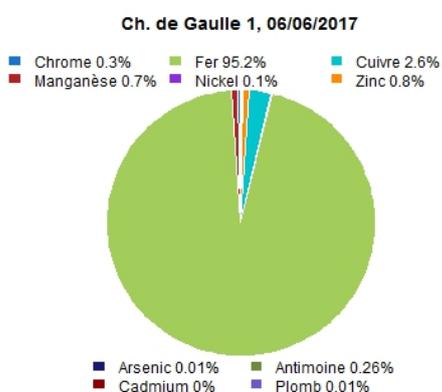
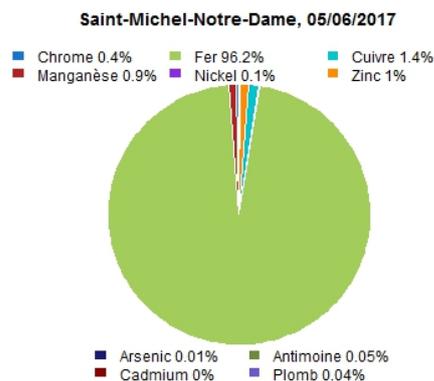
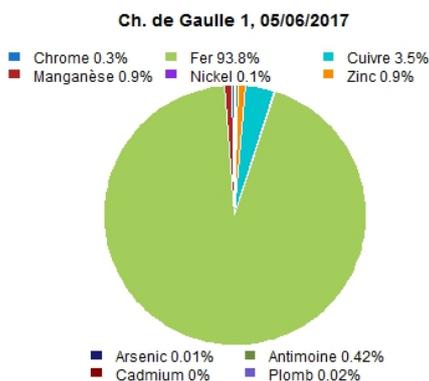


La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des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

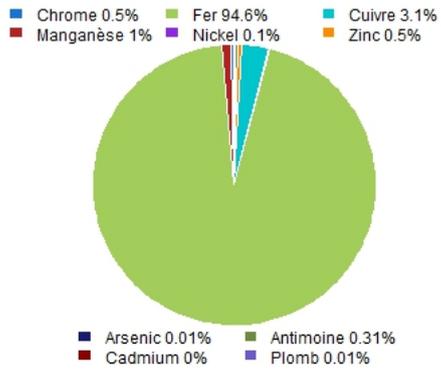
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

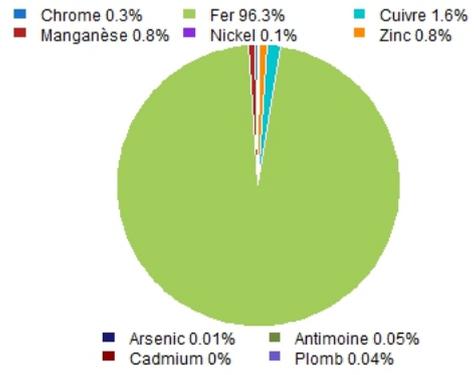
REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



Ch. de Gaulle 1, 09/06/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, 09/06/2017



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE ET CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM ET PLOMB A LA GARE RER B DE CDG1 ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 05/06/2017 AU 09/06/2017.

