

MESURES DE LA QUALITÉ DE L'AIR INTÉRIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE PORTE DE CLICHY

Septembre 2017

Juin 2018





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



MESURES DE LA QUALITE DE L'AIR INTERIEUR SUR LES QUAIS DU RER C EN GARE SNCF DE PORTE DE CLICHY – SEPTEMBRE 2017

Juin 2018

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

SYNTHESE

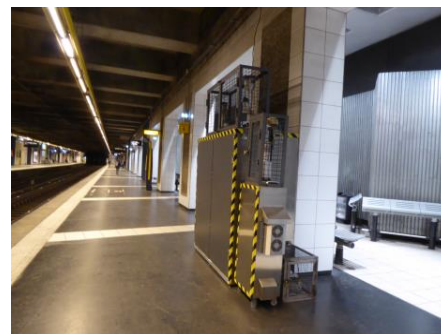
Un programme de partenariat entre SNCF Gares d'Ile-de-France et Airparif a été signé en avril 2016. Son objectif est de mieux connaître et d'améliorer la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines.

Dans ce cadre, une campagne de mesure a été réalisée du **04/09/2017 au 24/09/2017** en gare de **Porte de Clichy (RER C, voie 1, direction Paris)**. Les particules fines (PM_{10}) et très fines ($PM_{2.5}$) ont été suivies, ainsi que les métaux. Des travaux ont entraîné une fermeture de la gare le week-end du 23-24/09, les données traitées ont exclu cette période.

Les principaux résultats :

La concentration en particules fines PM_{10} mesurée sur les quais du RER C en gare de Porte de Clichy au cours du mois de septembre 2017 est en moyenne de $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le maximum horaire atteint étant de $725 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (enregistré en semaine le soir à 19h).

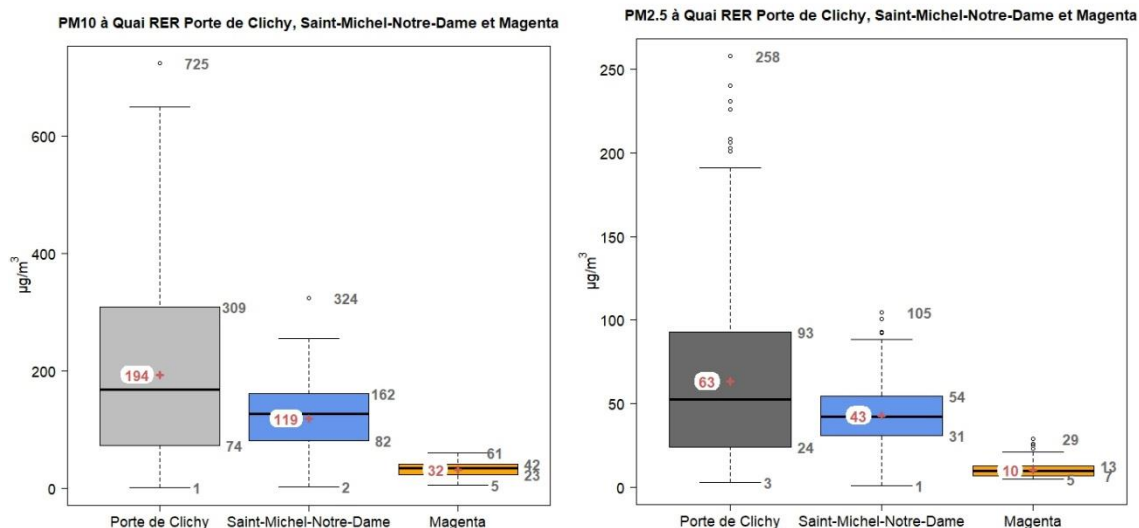
Les niveaux moyens en particules très fines $PM_{2.5}$ atteignent $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$, pour un maximum horaire de $258 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (maximum atteint en même temps que les PM_{10}).



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

Les niveaux moyens en PM_{10} sont très supérieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et plus de 6 fois supérieurs à ceux de la station Magenta ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en $PM_{2.5}$ à Porte de Clichy ($63 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et largement supérieurs à ceux enregistrés à la station Magenta ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

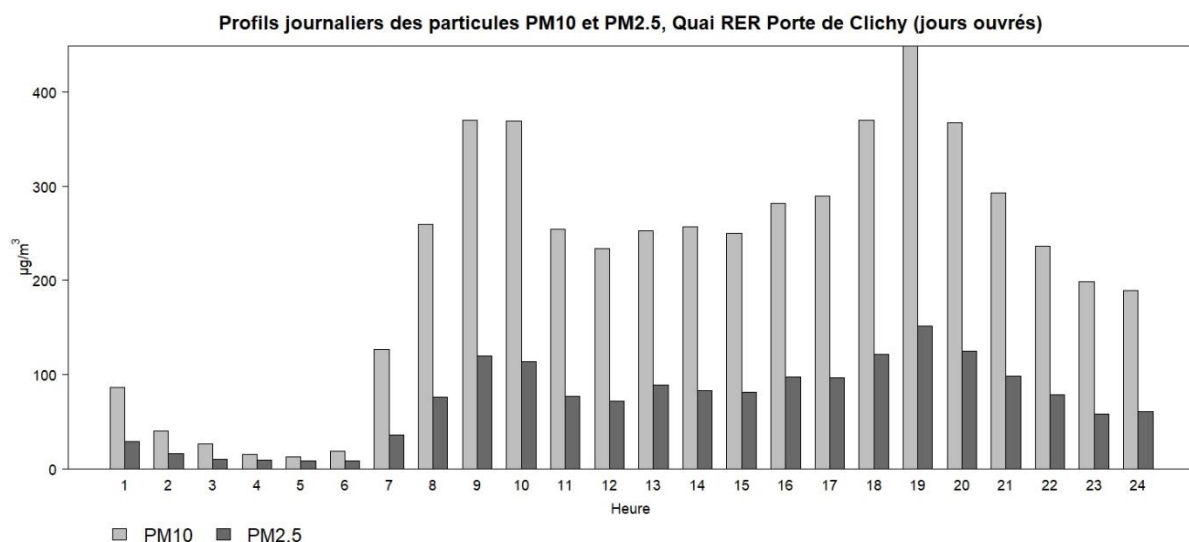
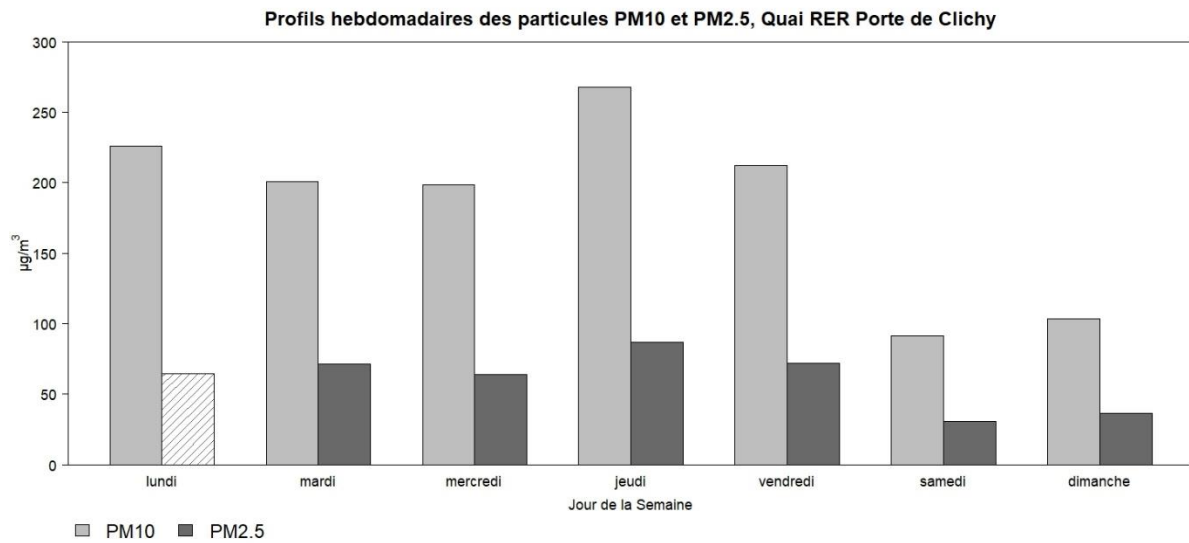


Est-ce que les résultats varient dans le temps (à l'échelle hebdomadaire, horaire) ?

Les relevés en particules PM_{10} à la gare de Porte de Clichy sont également plus proches de ceux de la gare Saint-Michel-Notre-Dame que de ceux de Magenta en termes d'évolution temporelle. Les variations temporelles sont fortement liées au nombre de trains en circulation, qui fluctue beaucoup au cours de la journée.

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des concentrations plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine, ceci pour les PM_{10} et les $PM_{2.5}$ (-50 %). 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).

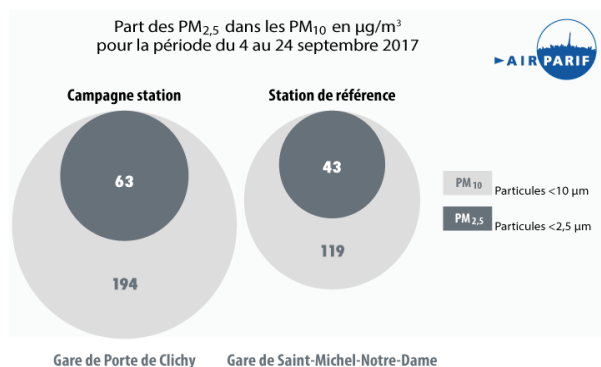


Sur une journée ouvrée moyenne, en gare de Porte de Clichy, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec en moyenne 24 µg/m³ en PM₁₀ et 11 µg/m³ en PM_{2.5}. Les concentrations sont maximales vers 8-10h le matin et 17-20h en soirée. Les concentrations atteignent jusqu'à 450 µg/m³ en moyenne sur une heure en PM₁₀ et 133 µg/m³ en PM_{2.5} (à 19h). Ces profils (variabilité temporelle) sont similaires à ceux observés à la gare de référence de Saint-Michel-Notre-Dame pour les PM₁₀. Toutefois, les teneurs sont largement plus élevées à Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, ceci pour toutes les mesures de 7h à 24h.

Les niveaux en gare de Porte de Clichy s'expliquent en partie par le nombre de trains en circulation et de voyageurs, mais aussi et surtout par le système de ventilation, le volume de la gare, et les activités environnantes. Le nombre de voyageurs et de trains en circulation est moins important en gare de Porte de Clichy par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame, pourtant les teneurs en particules y sont plus élevées.

Ratio PM_{2.5}/PM₁₀ : quelle moyenne, quelle fluctuation temporelle ?

Le ratio PM_{2.5}/PM₁₀ en gare de Porte de Clichy est en moyenne de 0,39, équivalent à ceux enregistrés aux sites de référence (0,4 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta). Le ratio est relativement stable à l'échelle hebdomadaire. A l'échelle journalière, le ratio est stable en journée (0,3) et atteint 0,7 la nuit entre 4 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 ?

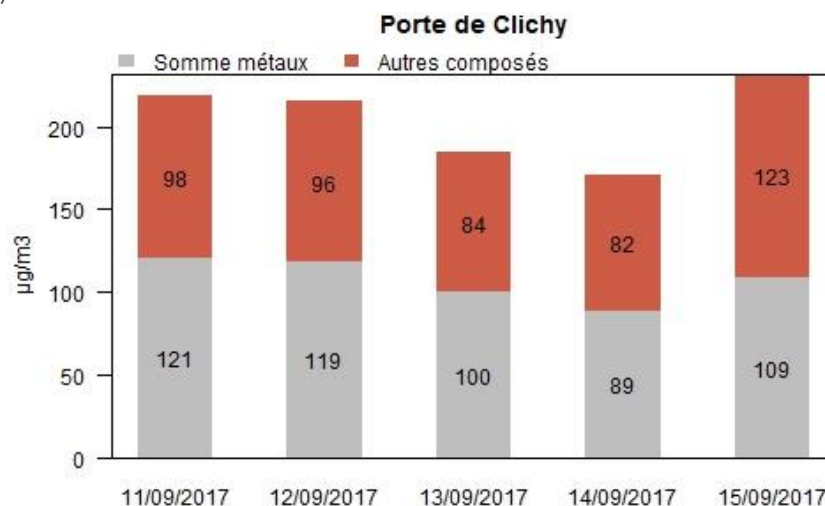
La part des métaux dans les prélèvements journaliers en particules PM₁₀ varie de 47 à 55% sur la semaine de mesure (11 au 15/09/2017) en gare de Porte de Clichy. Sur la même période, la part des métaux en gare de Saint-Michel-Notre-Dame est stable à 46 % (données sur 3 jours).

Quelles est la répartition entre les dix métaux suivis ?

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente 96 % des métaux mesurés, aussi bien à Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (95%). Suivent ensuite l'**Aluminium** (1 % Porte de Clichy), le **Manganèse** et le **Zinc** (0,8 %), le **Cuivre** (0,6 %) et le **Chrome** (0,4 %). Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine 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 la proportion en Cuivre est néanmoins plus élevée, à 1,4%, comme celle en Aluminium, à 1.5 %).

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

Les relevés journaliers ont évolué sur la semaine de prélèvement sur les deux sites de mesure, elle est variable selon le composé et le site de mesure : le maximum des métaux a été atteint le lundi Porte de Clichy et le vendredi à Saint-Michel-Notre-Dame.



SOMMAIRE

SYNTHESE	4
SOMMAIRE	7
GLOSSAIRE	8
INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS	9
1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE	11
1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE.....	11
1.2 PERIODE DE MESURE	12
2. NIVEAUX DE PARTICULES RENCONTRES DANS LA GARE	13
2.1 NIVEAUX MOYENS OBSERVES SUR LE QUAI	13
2.1.1. PARTICULES PM ₁₀	14
2.1.2. PARTICULES PM _{2,5}	16
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	23
2.3.2. REPARTITION DES METAUX.....	23
2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES.....	25
2.4 LIENS ENTRE PARTICULES FINES PM ₁₀ ET PARTICULES TRES FINES PM _{2,5}	27
2.4.1. NIVEAUX MOYENS	27
2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE	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	37

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.

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

Ses activités sont déclinées suivant trois axes :

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

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

INTRODUCTION : CONTEXTE ET OBJECTIFS

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

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

L'objectif de ce programme est de documenter finement 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). Pour la 2^{ème} année de mesure, des relevés en Aluminium (Al) ont été ajoutés. 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.

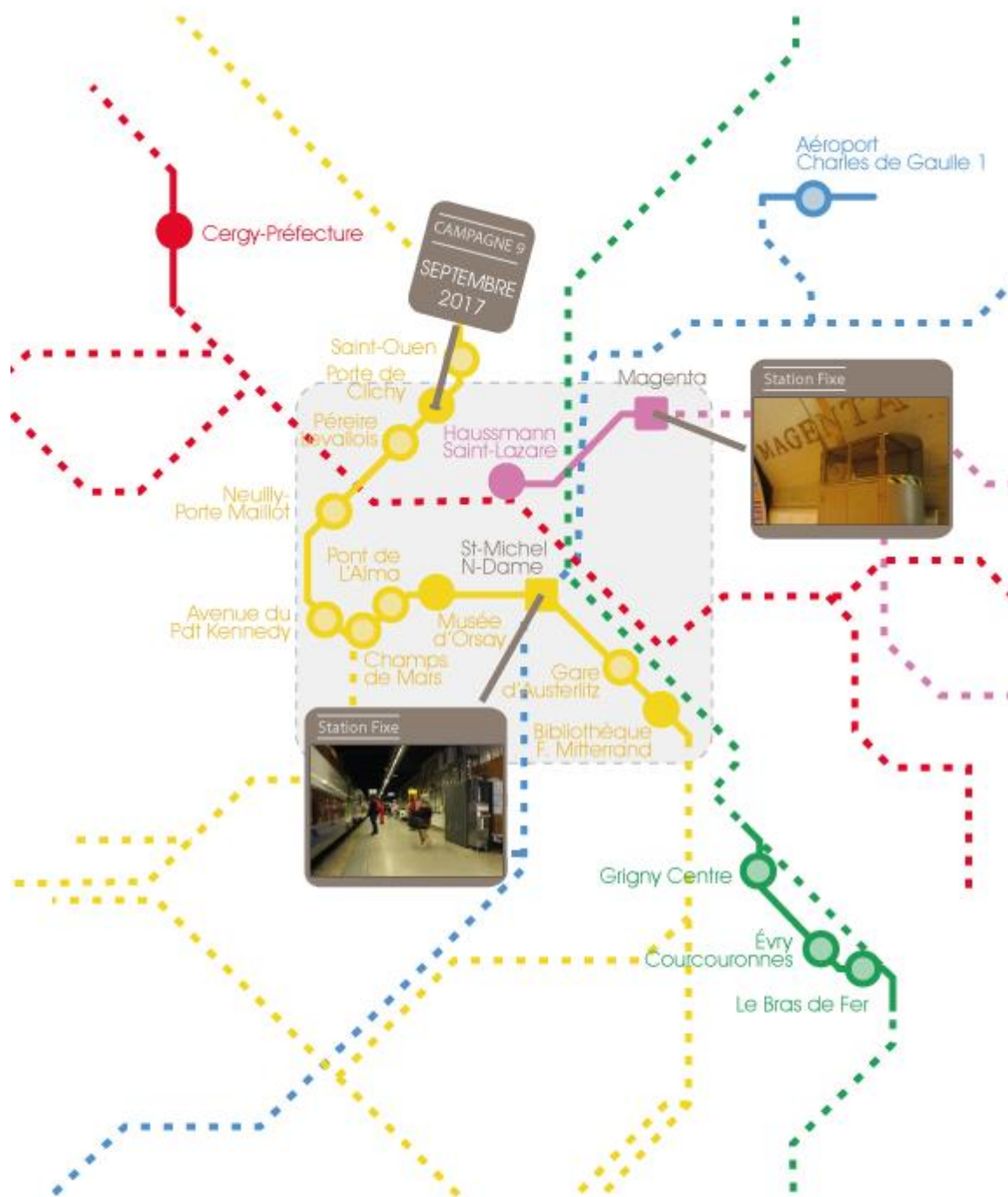
En parallèle, deux stations de référence mesurent en continu les particules pendant toute la durée du projet (2016-2018) : la station Magenta (RER E), gérée par AEF et la station Saint-Michel-Notre-Dame (RER C), gérée par Airparif. Ces deux stations assurent le suivi au pas de temps horaire des particules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

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

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

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



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

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

Paris intra muros



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

1. DESCRIPTION DE LA CAMPAGNE DE MESURE

1.1 DESCRIPTION DE LA GARE ET LOCALISATION DU POINT DE MESURE

La gare de Porte de Clichy, sur le RER C (branche nord Pontoise – Champ de Mars – Tour Eiffel), est concernée par le programme de partenariat. Elle est située 190 Ter, Avenue de Clichy à Paris (75017).

Cette gare est de configuration multiple, c'est-à-dire avec une correspondance. Elle est connectée à la ligne 13 du métro.

Cette gare RER est souterraine (comme les tunnels de part et d'autre de la station) **et profonde (quai au niveau -3). Il n'y a pas de système de ventilation mécanique en place (ventilation naturelle).** Elle comprend deux voies centrales avec chacune un quai.

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

Le nombre de voyageurs montant en gare de Porte de Clichy (RER C) est de 8 133 par jour (source SNCF : carte des montants 2016).

Le nombre de trains circulant par jour en gare de Porte de Clichy (2 sens confondus) est de 177 les jours ouvrés (JOB), 143 les samedis et 143 trains les dimanches (nombre de trains comptabilisés pendant la campagne de mesure, source SNCF).

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



Site de mesure

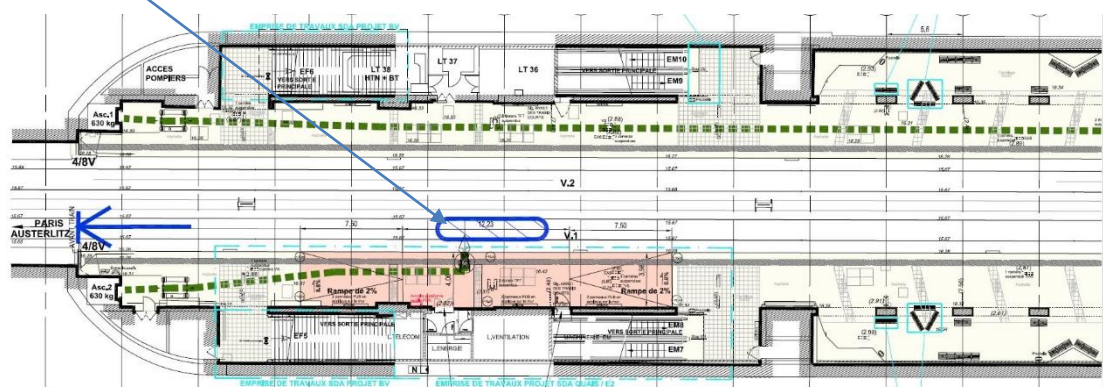


Figure 2 – Localisation du point de mesure (gare de Porte de Clichy, ligne RER C, quai 1, dans le cercle bleu), photo de la station de mesure (quai) et photo extérieure de la gare.

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

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

1.2 PERIODE DE MESURE

Les mesures de qualité de l'air à la gare de Porte de Clichy ont été réalisées pendant 3 semaines, du **04/09/2017 au 24/09/2017**. 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. Il est à noter que **durant cette période de mesures, l'environnement proche de la gare de Porte de Clichy était en travaux pour le prolongement de la ligne 14.**

Des travaux sur cette branche du RER le week-end du 23-24/09/2017 ont entraîné une fermeture de la gare (pas de trains en circulation). Aussi **les données ont été traitées sur la période du 04/09/2017 au 22/09/2017.**

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 Porte de Clichy 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 Porte de Clichy 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 Porte de Clichy	Saint- Michel- Notre-Dame	Magenta	Gare Porte de Clichy	Saint- Michel- Notre-Dame	Magenta
Minimum horaire	1	2	5	3	1	5
Percentile 25 (P25)	74	82	23	24	31	7
Médiane ou Percentile 50	169	127	34	52	42	10
Moyenne	194	119	32	63	43	10
Percentile 75 (P75)	309	162	42	93	54	13
Maximum horaire	725	324	61	258	105	29
% de données horaires valides	97	92	100	91	75	100

Tableau 1 – Statistiques des relevés horaires à la gare de Porte de Clichy et aux deux stations de référence, période du 4 au 22/09/2017.

Le niveau moyen en PM₁₀ relevé en gare de Porte de Clichy est supérieur à celui de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et celui de la gare de Magenta. Les valeurs statistiques (médiane, percentile 75 et maximum horaire) sont plus élevées de 25 à 50% en gare de Clichy qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame. Par contre, le minimum horaire et le percentile 25 sont inférieurs en gare de Clichy (par rapport à Saint-Michel-Notre-Dame).

Les résultats (moyenne, médiane, percentile 75 et maximum) pour les PM_{2,5} à la Gare RER C de Porte de Clichy sont également supérieurs à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame et supérieurs à ceux de la gare de Magenta. Le minimum horaire et le percentile 25 sont inférieurs à ceux mesurés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

2.1.1. PARTICULES PM₁₀

La variabilité des concentrations en PM₁₀ à la Gare RER C de Porte de Clichy, 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. Ces extrémités se prolongent par des traits terminés par des cercles (minimum et maximum). Dans la boîte rectangulaire, le trait est la médiane, et la marque '+' la moyenne. Des détails sont fournis en ANNEXE 3.

La boîte à moustaches présentant les résultats des relevés horaires en particules PM₁₀ en Gare RER C de Porte de Clichy montre une importante variabilité des mesures, et notamment de nombreuses teneurs horaires élevées. 50 % des données horaires relevées à la Gare RER C Porte de Clichy sont comprises entre 74 et 309 µg/m³, pour une moyenne de 194 µg/m³ et une médiane à 169 µg/m³. Le maximum atteint Porte de Clichy est de 725 µg/m³ le 21/09/17 à 19h (heure de pointe du soir). Ce maximum très élevé est supérieur à ceux atteints dans les précédentes gares étudiées, excepté un maximum enregistré à Saint-Michel-Notre-Dame lors de travaux nocturnes en janvier 2017.

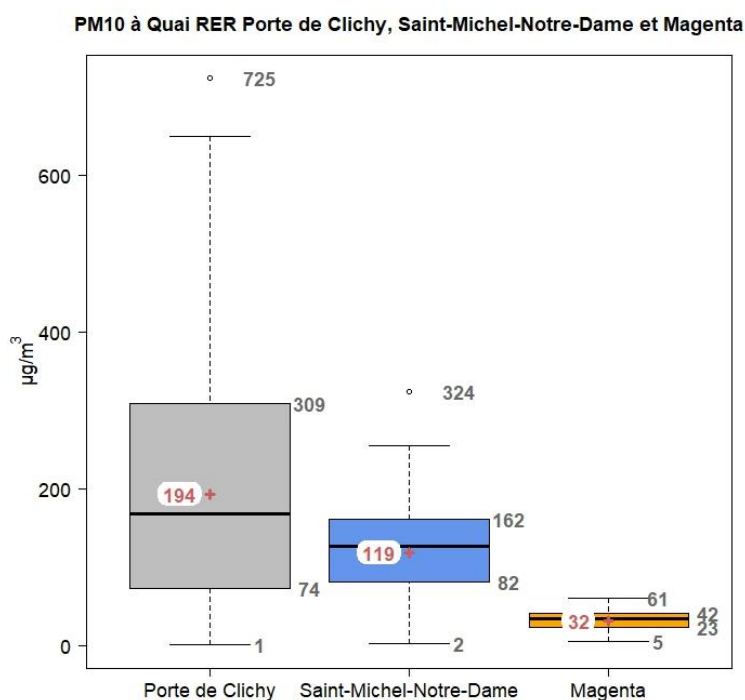


Figure 3 – Boîtes à moustaches des concentrations horaires en PM₁₀, en µg/m³ à la Gare RER C de Porte de Clichy et aux stations de référence Saint-Michel et Magenta, période du 4 au 22/09/2017.

Les concentrations en PM₁₀ à la Gare RER C de Porte de Clichy sont largement supérieures à celles de la Gare RER C de Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne, médiane, percentile 75 et maximum horaire), même si les minima (horaire, percentile 25) sont proches. Cette représentation des résultats met en avant une dispersion plus grande des concentrations sur le site de Porte de Clichy par rapport au site de Saint-Michel-Notre-Dame (50 % des données se trouvent dans la fourchette de 74 - 309 µg/m³ à Porte de Clichy, contre la fourchette 82 - 162 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame) : cela traduit des niveaux « élevés » de particules en gare de Porte de Clichy pendant toute la durée de la campagne.

Des travaux importants (cf. Figure 4) ont lieu au niveau de la gare de Porte de Clichy en lien avec le prolongement de la ligne 14 (au niveau du sous-sol, travaux de creusement des tunneliers). En septembre 2017, les déblais extraits par les tunneliers ont été transportés jusqu'à la surface pour y être analysés, triés et évacués par camions ou voie fluviale. Ces travaux ont pu engendrer ponctuellement une pollution aux particules dans le secteur de la gare RER Porte de Clichy, en air extérieur mais peut-être également en sous-sol. Ils peuvent avoir en partie impliqué les forts niveaux observés sur le quai.

De façon plus pérenne, la présence d'importants axes routiers à proximité de la gare (Boulevard des Maréchaux, boulevard périphérique, cf. Figure 4) peut impacter les niveaux en air extérieur à proximité immédiate de la gare de Porte de Clichy. Toutefois, étant donné la profondeur de la gare (quais au -3), il est difficile de dire si cette pollution peut impacter les quais de la gare.

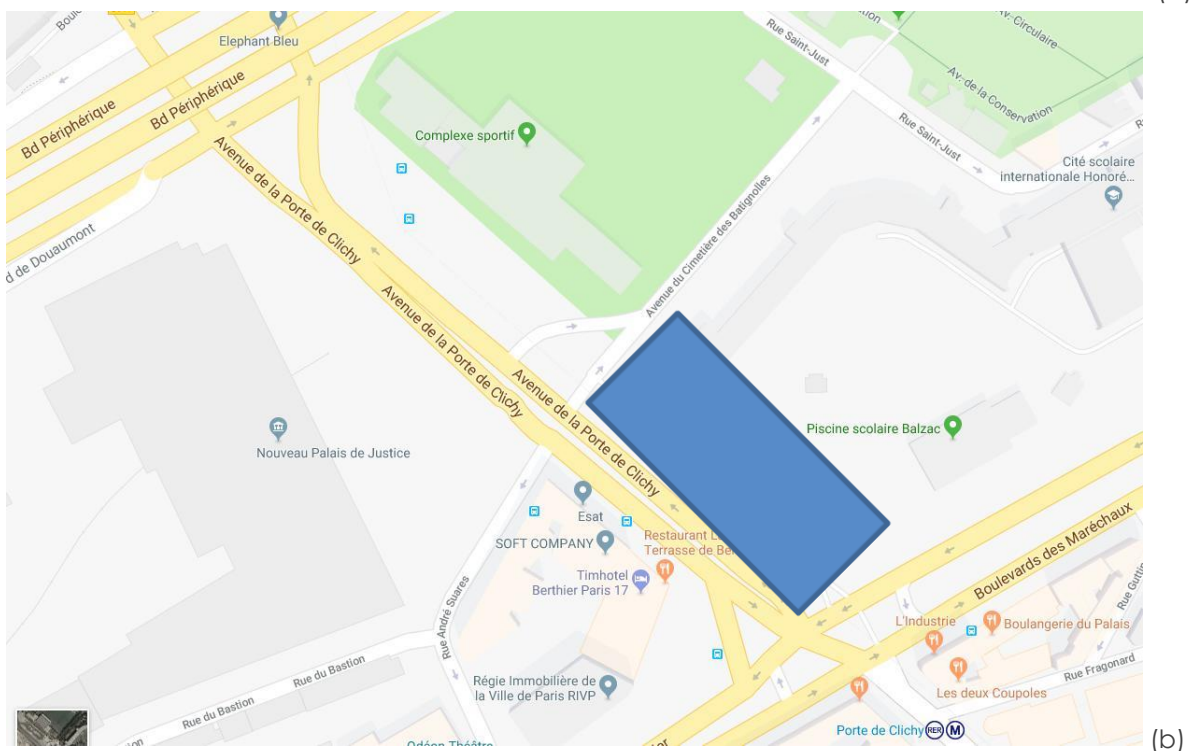


Figure 4 – Illustration des travaux de prolongement de la ligne 14 au niveau de la Porte de Clichy et localisation de la gare par rapport aux axes routiers à proximité. En bleu, zone des travaux du prolongement de la ligne 14

Les concentrations observées à la gare de Magenta sont beaucoup plus faibles que celles de Porte de Clichy, ceci pour l'ensemble des paramètres statistiques. A titre d'exemple, la moyenne en particules PM_{10} est de $32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Magenta, contre $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Porte de Clichy.

La différence de niveaux entre les gares de Saint-Michel-Notre-Dame, Porte de Clichy et Magenta s'explique en partie par les différents modes de ventilation : la ventilation est naturelle en gare de Porte de Clichy et de Saint-Michel-Notre-Dame, mécanique à Magenta. Les niveaux mesurés à Porte de Clichy et Saint-Michel-Notre-Dame sont ainsi plus élevés que ceux de Magenta. La gare de Magenta est également plus grande, d'où un volume de mélange plus important.

Les autres potentiels facteurs d'influence, comme le nombre de trains en circulation, sont étudiés au chapitre 3.

2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

La boîte à moustaches des concentrations de PM_{2,5} relevées à la gare RER C Porte de Clichy est présentée Figure 5, ainsi que celles de Magenta et de Saint-Michel-Notre-Dame.

La boîte à moustaches montre une moyenne supérieure à Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (63 µg/m³ en gare de Porte de Clichy et 43 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame). La dispersion des données est plus grande en gare de Porte de Clichy qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, notamment celle des teneurs horaires au-dessus de la médiane. 50 % des données horaires sont comprises entre 24 et 93 µg/m³ à Porte de Clichy, contre une fourchette de 31 à 54 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame.

Les concentrations en PM_{2,5} en gare de Porte de Clichy sont largement supérieures à celles de Magenta. A titre de comparaison, la moyenne des particules PM_{2,5} à Magenta est de 10 µg/m³.

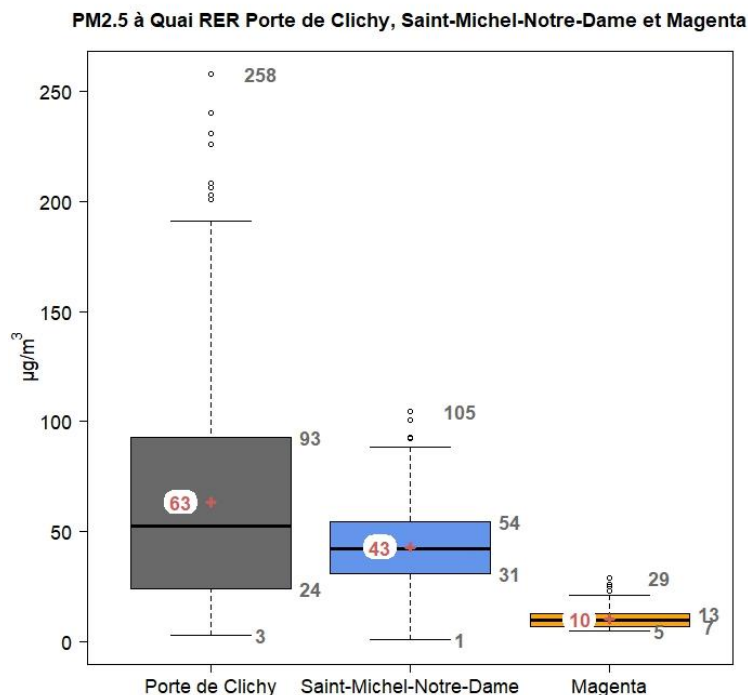


Figure 5 – Boîtes à moustaches des relevés horaires en PM_{2,5}, en µg/m³ à la Gare RER C de Porte de Clichy et aux stations de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du [4 au 22/09/2017](#).

Les teneurs en PM_{2,5} en gare RER C Porte de Clichy dépassent largement celles de Saint-Michel-Notre-Dame (moyenne, percentile 75, maximum). Les travaux à proximité immédiate de l'entrée de la gare de Porte de Clichy (prolongement de la ligne 14) ont probablement une influence sur les niveaux de particules mesurés sur le quai.

La teneur moyenne relevée sur les quais de la gare RER C de Porte de Clichy pendant la campagne est de $194 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM_{10} et de $63 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules $\text{PM}_{2.5}$.

Les niveaux moyens en particules PM_{10} en gare de Porte de Clichy sont supérieurs à ceux de la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame ($119 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et supérieurs à ceux de la station Magenta ($32 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période).

Les niveaux moyens en particules $\text{PM}_{2.5}$ en gare de Porte de Clichy ($63 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont également supérieurs à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame ($43 \mu\text{g}/\text{m}^3$ enregistrés sur la même période) et nettement supérieurs à ceux de Magenta ($10 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les moyennes horaires les plus élevées ont été enregistrées sur le quai de la gare Porte de Clichy pour les PM_{10} , comme pour les $\text{PM}_{2.5}$. Les teneurs sont également plus variables en gare de Porte de Clichy.

Ces niveaux élevés de PM_{10} pourraient en partie s'expliquer par des travaux importants dans l'environnement extérieur 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 PM_{10}

Les relevés horaires des trois stations sont présentés à la Figure 6. 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 Porte de Clichy, les moyennes horaires dépassent $300 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en journée, voire $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ponctuellement, alors que la nuit, les niveaux sont de quelques dizaines de $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La comparaison de l'évolution temporelle des teneurs à la Gare RER C Porte de Clichy avec celle des relevés à la Gare RER C Saint-Michel-Notre-Dame montre des niveaux nettement plus élevés à la station Porte de Clichy en semaine, toute la journée. Les week-ends, les niveaux entre les deux gares sont plus proches.

L'évolution temporelle des relevés de Magenta est analogue à celles des gares de Porte de Clichy 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 Porte de Clichy le 21 septembre ($725 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en semaine à 19h, contre $324 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Saint-Michel-Notre-Dame atteint le 09/09/2017 à 11h).

Ces variations peuvent s'expliquer par les trains en circulation, mais également en partie par les travaux de prolongement de la ligne 14 à proximité de la gare, travaux n'ayant généralement pas lieu le week-end, d'où des teneurs comparables à cette période entre Porte de Clichy et Saint-Michel-Notre-Dame.

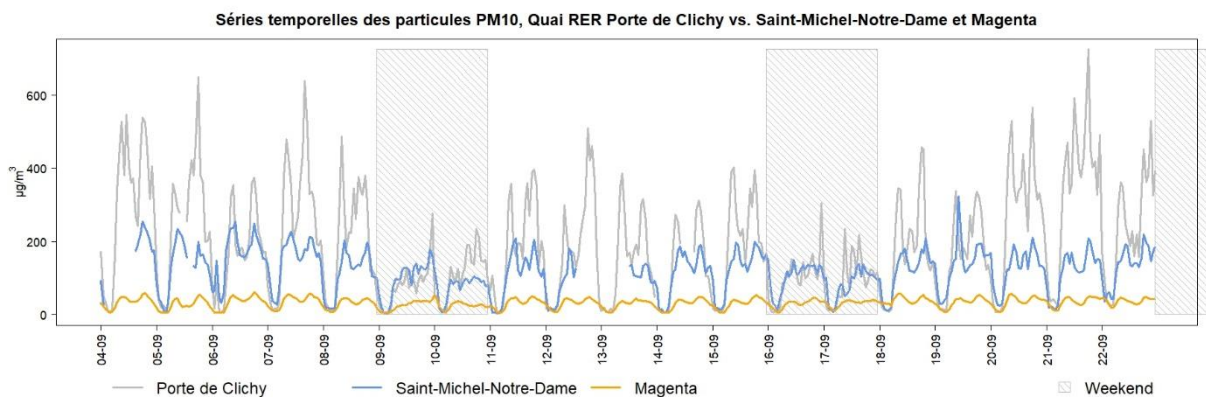


Figure 6 – Evolution des relevés horaires en PM₁₀, en µg/m³ (gare RER C de Porte de Clichy et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 4 au 22/09/2017)

2.2.1.2. PARTICULES PM_{2,5}

Les relevés horaires, présentés en Figure 7, 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). Les travaux à proximité (prolongement de la ligne 14) et la circulation routière dans le secteur peuvent également avoir un potentiel impact sur les concentrations sur le quai. Ainsi, en journée, les teneurs en PM_{2,5} atteignent 50 µg/m³ voire 80 µg/m³ ponctuellement, alors que la nuit, les niveaux sont d'une dizaine de µg/m³.

La comparaison des teneurs à la Gare RER C Porte de Clichy avec les relevés de la Gare RER C Saint-Michel-Notre-Dame montre des profils temporels comparables, avec des niveaux qui peuvent, certaines heures, être plus élevés en gare de Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

En termes de teneurs maximales, le maximum horaire a été enregistré à Porte de Clichy le 21 septembre entre 18 et 19h (258 µg/m³, en même temps que le maximum en PM₁₀). Le maximum en gare de Saint-Michel-Notre-Dame a été enregistré en même temps (105 µg/m³).

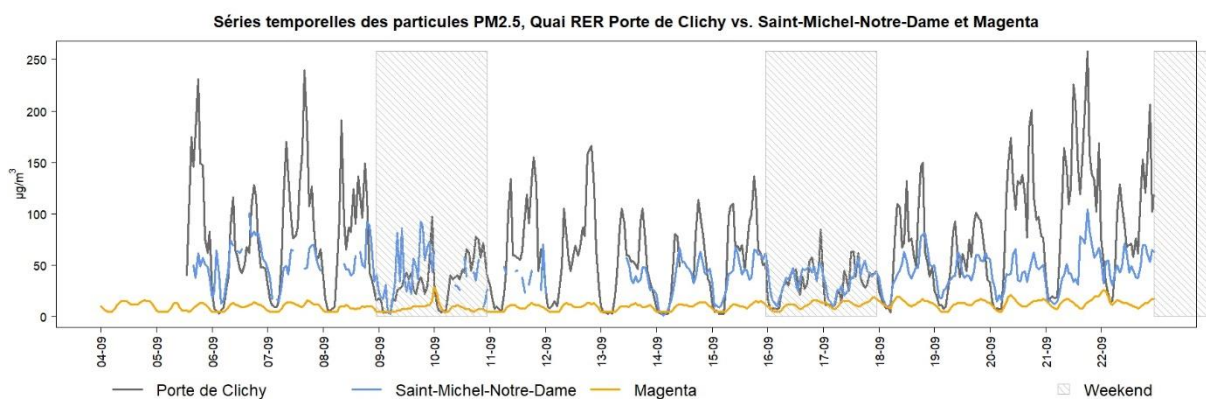
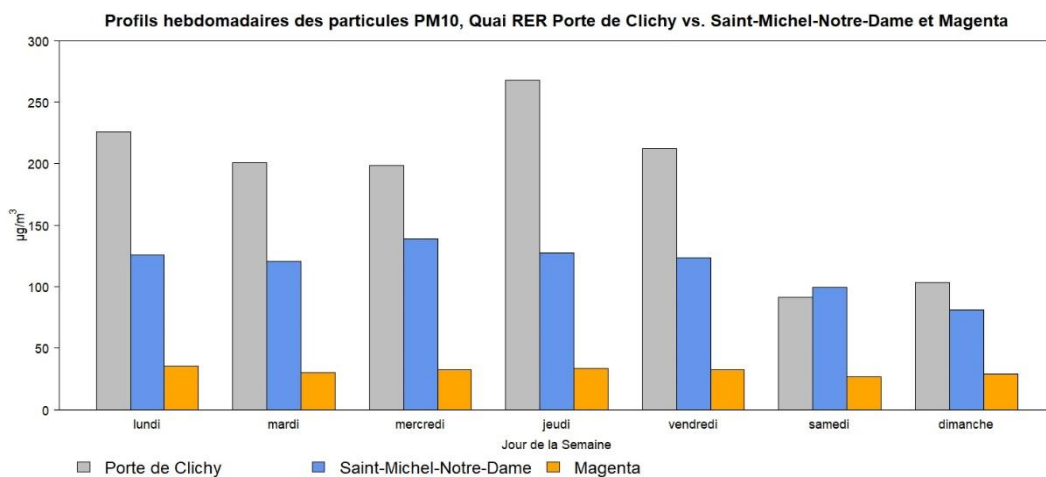


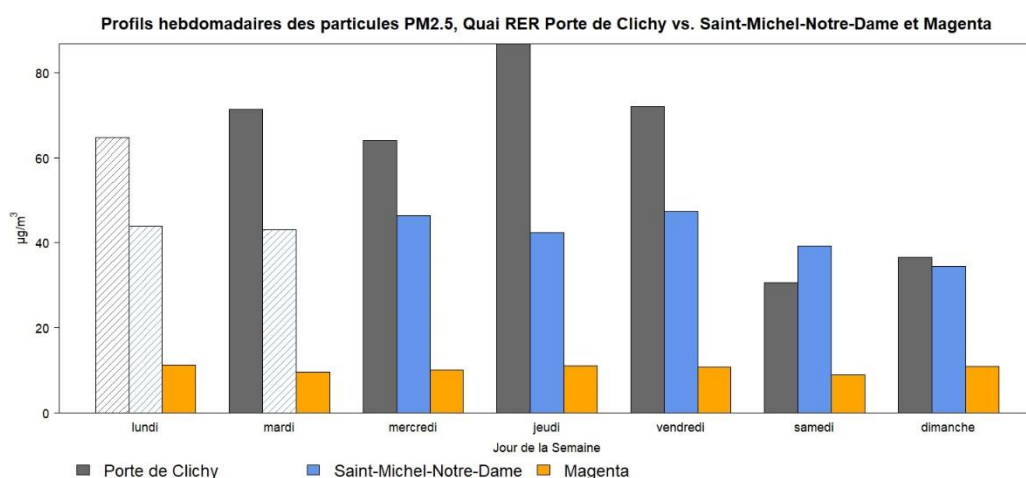
Figure 7 : Evolution des relevés horaires en PM_{2,5}, en µg/m³ (gare RER C de Porte de Clichy et gares de référence Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta, période du 4 au 22/09/2017)

2.2.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les profils hebdomadaires à la gare de Porte de Clichy sont présentés à la Figure 8 pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}. Les graphiques comparent les résultats moyennés par jour à la gare de Porte de Clichy et aux stations de référence.



(a)



(b)

Figure 8 – Évolution des profils hebdomadaires en PM₁₀ (a) et PM_{2.5} (b) à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017, 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 220 µg/m³ en moyenne sur une journée pour les PM₁₀, 72 µg/m³ en moyenne pour les PM_{2.5}), avec un écart type plus important pour les PM₁₀ (28 µg/m³) que pour les PM_{2.5} (10 µg/m³).

Les niveaux moyens diminuent de façon importante les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés, dans des proportions équivalentes pour les PM₁₀ (55 %) et les PM_{2.5} (53 %). La diminution observée sur les PM_{2.5} est particulière. Les campagnes de mesure réalisées jusqu'à présent dans les autres gares montrent que, d'une façon générale, les niveaux de PM_{2.5} sont moins affectés que les PM₁₀ par l'activité ferroviaire et varient habituellement moins entre la semaine et le weekend. L'explication peut provenir d'une source de PM_{2.5} supplémentaire, autre que ferroviaire, en semaine, comme les travaux de prolongement de la ligne 14 ou la circulation routière à proximité. A Saint-Michel-Notre-Dame, la baisse des niveaux entre la semaine et le weekend est moins marquée, de l'ordre de 30 % pour les PM₁₀ et de 15 % pour les PM_{2.5}. Cette différence entre les deux gares est à mettre en lien avec la baisse moins importante du nombre de trains en circulation le week-end en gare de Saint-Michel-Notre-Dame qu'en gare de Porte de Clichy, le nombre de trains ayant davantage d'influence sur la concentration en PM₁₀ que sur celle en 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**.

Les particules PM₁₀ et les particules PM_{2,5} ont des profils journaliers très proches : les maxima horaires sont enregistrés sur deux plages horaires communes aux deux types de particules : le matin (8-10h) et en début de soirée (17h-20h). Les niveaux en PM₁₀ en gare RER C Porte de Clichy sont en moyenne de 370 µg/m³ sur la période de pointe du matin et 395 µg/m³ sur la période de pointe du soir (maximum à 450 µg/m³ en moyenne les jours ouvrés à 19h). Concernant les PM_{2,5}, les niveaux sont respectivement de 117 et 133 µg/m³.

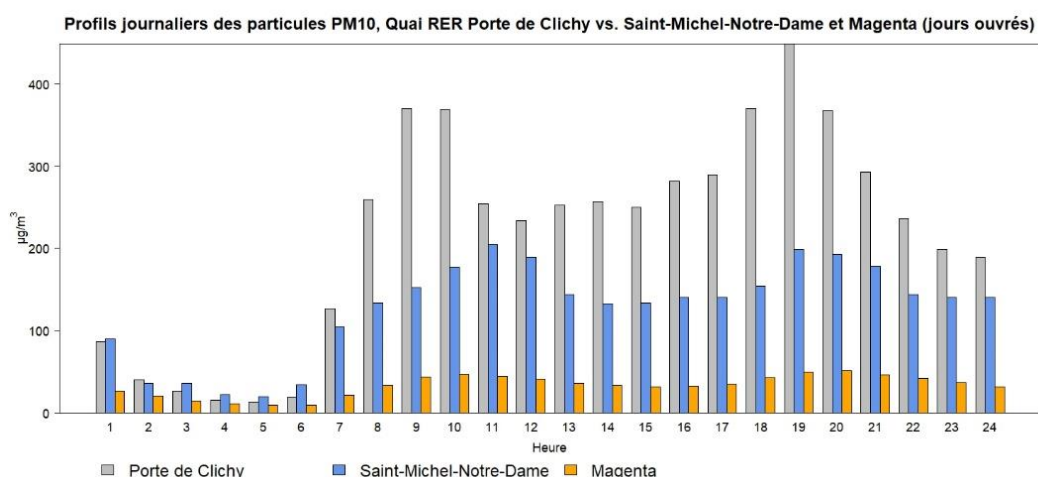
Les heures de pointe à la gare de Notre-Dame-Saint-Michel ne sont pas enregistrées aux mêmes tranches horaires qu'à la gare RER C Porte de Clichy, aussi bien le matin (10-12h) que le soir (18-21h), en lien avec des heures de fréquentation différentes. Les niveaux lors de ces périodes de pointe sont beaucoup moins élevés qu'à la Porte de Clichy : ils atteignent 190 µg/m³ aux cours des deux périodes. Sur les heures de pointe, les niveaux de particules PM₁₀ à Porte de Clichy sont le double des concentrations enregistrées en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les forts niveaux sont observés toute la journée en gare de Porte de Clichy, en comparaison avec ceux de Saint-Michel-Notre-Dame. De 7h à 24h, les niveaux dépassent ceux de la station de référence de 45 % : en moyenne, la concentration en PM₁₀ en gare de Porte de Clichy est de 280 µg/m³, contre 156 µg/m³ à Saint-Michel-Notre-Dame.

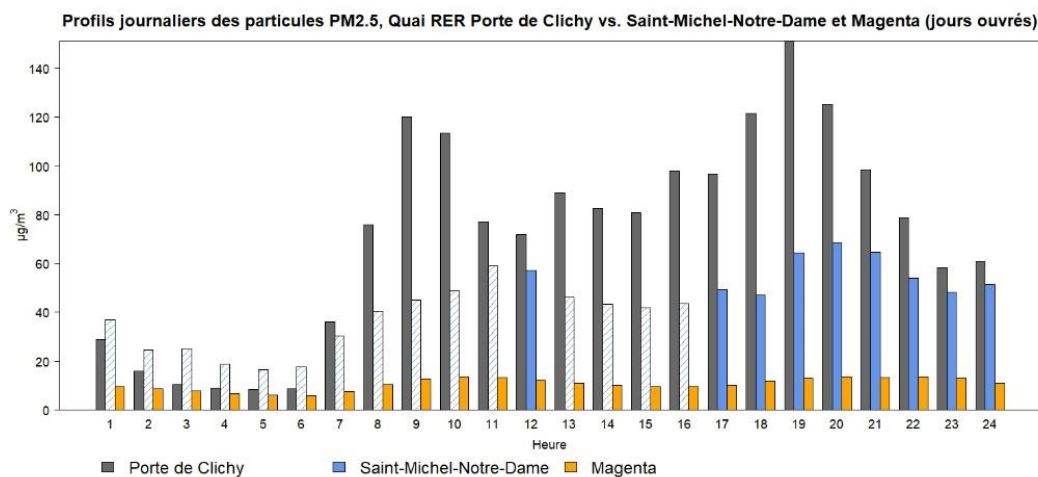
Les niveaux les plus faibles sont enregistrés la nuit (entre 1h et 5h), lors de la fermeture de la gare au public : 24 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀ et 11 µg/m³ pour les PM_{2,5}.

Les 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 Porte de Clichy, l'est également aux gares de référence.

Le profil journalier en PM_{2,5} présente des variations horaires moindres (écart type de 42 µg/m³) que celui de PM₁₀ (écart type de 129 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).



(a)



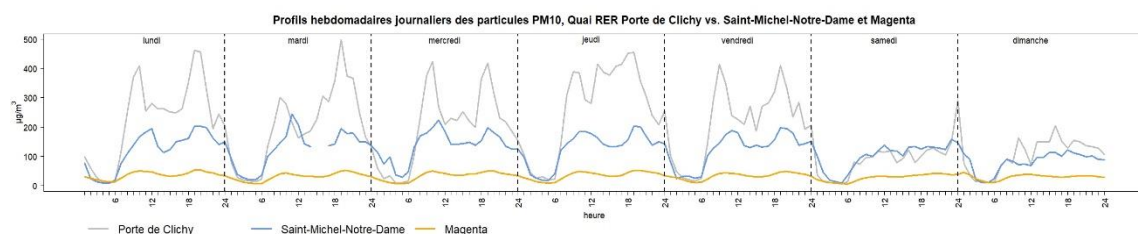
(b)

Figure 9 – Évolution des profils journaliers en PM_{10} (a) et $PM_{2.5}$ (b) à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017 – jours ouvrés, et comparaison avec les résultats des stations de référence. En hachuré, données disponibles < 75%

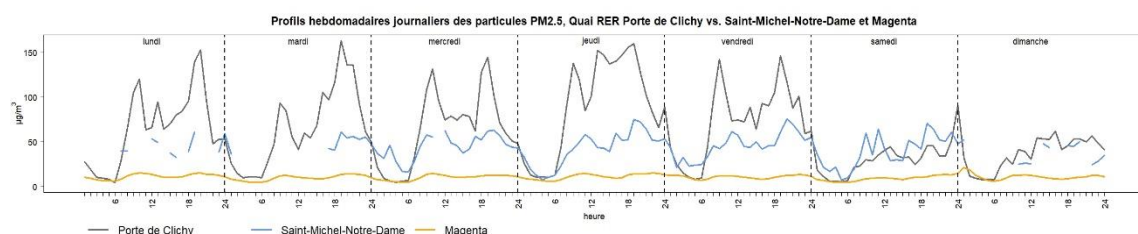
2.2.3.1. ZOOM SUR LES VARIATIONS HORAIRES SUR UNE SEMAINE

Le détail des variations horaires des concentrations sur une semaine (moyenne sur les trois semaines de la campagne) est présenté en Figure 10. Ces graphiques traitent des résultats pour les PM_{10} et des $PM_{2.5}$, aussi bien en gare de Porte de Clichy 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, décalées entre Porte de Clichy et Saint-Michel-Notre-Dame) et les niveaux plus faibles les samedis et dimanches. Les jours ouvrés, les niveaux mesurés à Porte de Clichy sont plus élevés qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.



(a)



(b)

Figure 10 – Évolution des profils des concentrations horaires en PM_{10} (a) et $PM_{2.5}$ (b) à la gare RER C de Porte de Clichy, à Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 4 au 22/09/2017.

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).

A l'échelle hebdomadaire, les profils montrent des teneurs plus faibles les samedis et dimanches, comparativement aux jours de semaine. Cette diminution est observée pour les PM₁₀ (-55 %), en lien avec la baisse de fréquentation le week-end, mais aussi de manière aussi marquée pour les PM_{2.5} (-53 %), en lien en partie avec le trafic des trains mais aussi probablement avec une source externe. Les émissions de PM_{2.5} sont moins liées au trafic des trains et une telle différence de concentrations entre semaine et weekend n'a pas été observée jusqu'à présent dans d'autres gares.

Sur une journée ouvrée moyenne, les niveaux nocturnes (entre 1h et 5h) sont les plus faibles, avec, en moyenne de 24 µg/m³ en PM₁₀ et de 11 µg/m³ en PM_{2.5}. Les niveaux augmentent en journée. Les concentrations sont maximales lorsque la fréquentation de la gare est maximale : entre 8 et 10h le matin et entre 17h et 20h le soir en gare de Porte de Clichy. Pendant ces plages horaires, les concentrations sur le quai atteignent 385 µg/m³ en moyenne pour les PM₁₀ et 126 µg/m³ pour les PM_{2.5}. Il apparaît que les concentrations en PM₁₀ et PM_{2.5} lors des heures de pointe en gare de Porte de Clichy sont largement supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame : le double pour les PM₁₀. Ces teneurs plus fortes en gare de Porte de Clichy sont observées toute la journée, de 7h à 24h : 280 µg/m³ en PM₁₀ (moyenne sur la période 7-24h), contre 160 µg/m³ en gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

2.3 TENEURS DE METAUX DANS LES PARTICULES

De manière générale, les particules sont composées des cinq types d'éléments suivants : le carbone élémentaire, les ions, la matière organique (dont le carbone organique), les métaux et les composés minéraux. Les métaux sont clairement caractéristiques des enceintes 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 Porte de Clichy chaque jour ouvré pendant une semaine (du 11 au 15 septembre). 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 simultanément, 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. En lien avec les potentielles sources (semelles de freinage par exemple), l'Aluminium a été ajouté à cette liste pour toutes les campagnes entre septembre 2017 et août 2018.

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.

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 Porte de Clichy et de Saint-Michel-Notre-Dame.

En gare de Porte de Clichy, la concentration des métaux a varié, pendant la semaine de prélèvement, de 89 µg/m³ (le 14/09/17) à 121 µg/m³ (le 11/09/17). En comparaison avec la concentration en particules PM₁₀ enregistrée les mêmes journées, la part des métaux varie de 47 à 55%.

Sur la même période, à la station de Saint-Michel-Notre-Dame, la concentration des métaux a varié entre 50 µg/m³ (le 13/09/17) et 72 µg/m³ (le 15/09/17), soit des valeurs beaucoup plus faibles qu'à la gare de Porte de Clichy. La part de métaux moyenne est de 46% (pas de donnée de particules les 12 et 13/09/2017).

Ainsi, les teneurs en particules PM₁₀ et celles de métaux étaient plus importantes en gare de Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame ; la part des métaux dans les particules y est également plus élevée (comparaison sur les 3 derniers jours de mesure).

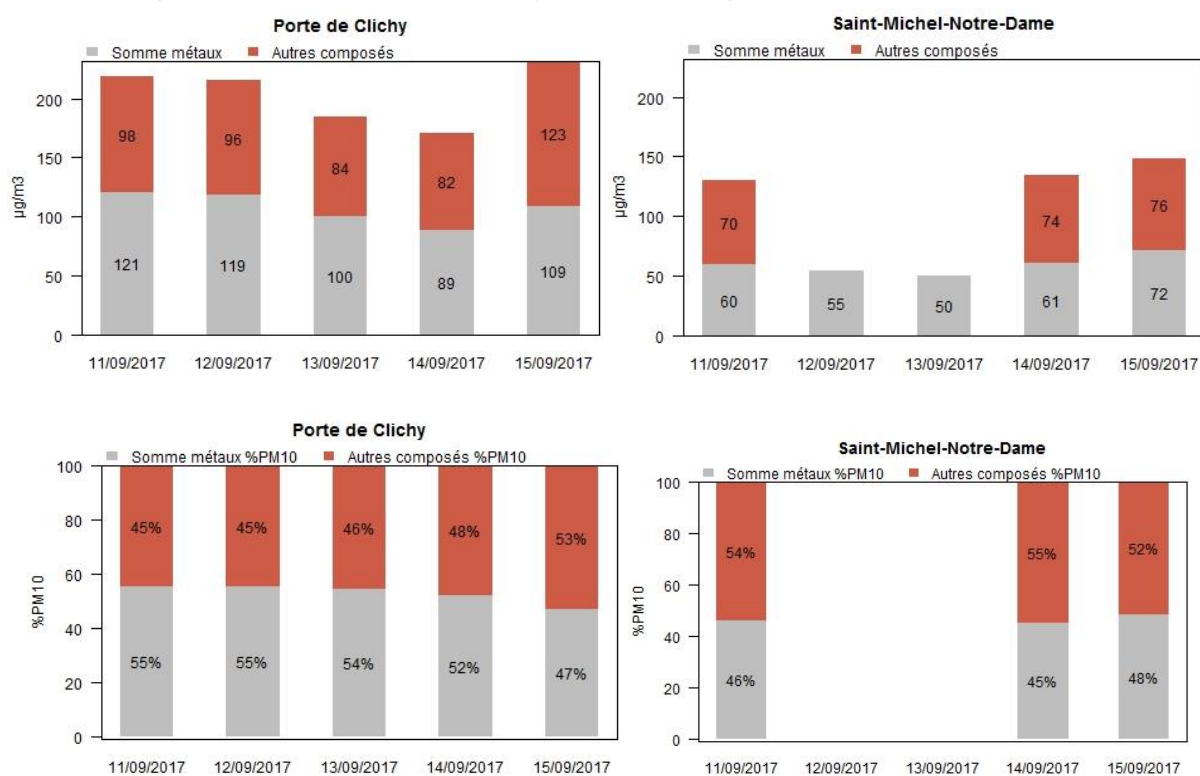


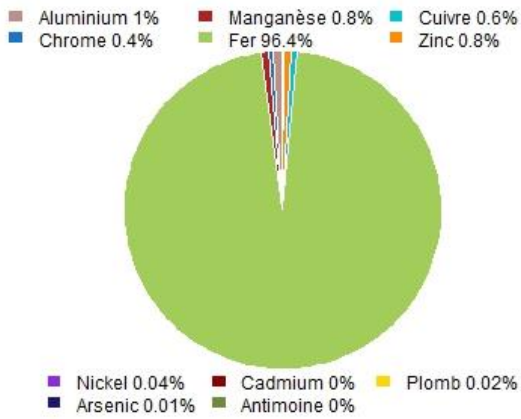
Figure 11 – Part des métaux dans les particules PM₁₀ et évolution des relevés journaliers sur la semaine de prélèvement en concentration et en % de particules PM₁₀, à la gare RER C de Porte de Clichy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11 au 15/09/2017.

2.3.2. REPARTITION DES METAUX

La figure suivante (Figure 12) représente la répartition moyenne des composés métalliques mesurés entre le 11 et le 15/09/2017, aussi bien en gare de Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les détails par jour sont présentés en ANNEXE 4.

La contribution moyenne de chaque métal est proche à Porte de Clichy et Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre (1,4% à Saint-Michel-Notre-Dame contre 0,6% à Porte de Clichy) et l'Aluminium (1,5% à saint-Michel-Notre-Dame contre 1% Porte de Clichy). Les graphiques journaliers montrent une répartition en métaux stable sur les différentes journées de mesure.

Porte de Clichy, moyenne du 11/09/2017 au 15/09/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, moyenne du 11/09/2017 au 15/09/2017

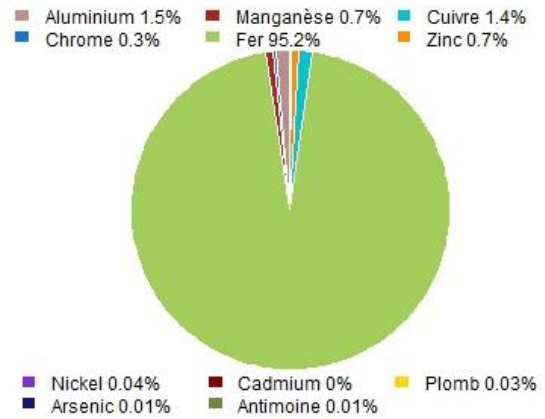


Figure 12 – Part de chaque métal dans les relevés en particules, en moyenne sur les mesures du 11 au 15/09/2017, en gare de Porte de Clichy et à la station de Saint-Michel-Notre-Dame.

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

En dehors du **Fer**, les métaux dont les concentrations sont les plus élevées sont l'Aluminium, le Cuivre, le Zinc et le Manganèse, mais dans des proportions beaucoup moins importantes que le Fer : 1% pour l'**Aluminium**, 0,8 % pour le **Manganèse et le Zinc** et 0,6 % pour le **Cuivre** en gare de Porte de Clichy. Les proportions diffèrent légèrement à Saint-Michel-Notre-Dame, avec respectivement 1,5 % pour l'Aluminium, 0,7% pour le Manganèse et le Zinc et 1,4 % pour le Cuivre.

Le **Chrome** représente 0,4% des métaux sur les deux sites.

Les proportions des autres métaux, à savoir en **Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb** sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués, que ce soit à Porte de Clichy ou à Saint-Michel-Notre-Dame (inférieures à 0,05%).

La Figure 13 présente la part de chaque métal (Aluminium, Chrome, Manganèse, Cuivre et Zinc) par rapport à la somme totale en métaux, en gare de Porte de Clichy 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.

A Porte de Clichy, **la part relative de chacun des métaux est stable sur les cinq jours de mesure**, excepté pour l'Aluminium le 15/09/2017. A Saint-Michel-Notre-Dame, des variations sont observés pour le Cuivre.

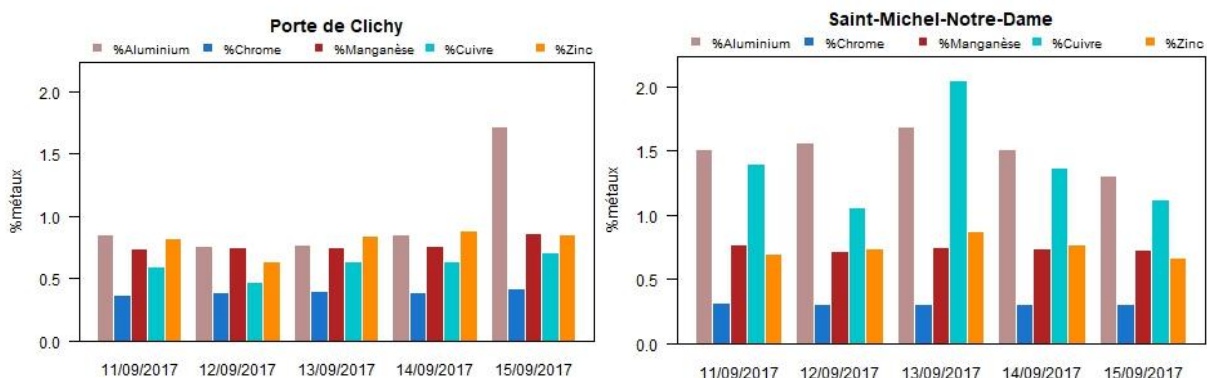


Figure 13 – Part journalière d'Aluminium, Cuivre, Zinc, Manganèse et Chrome par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Porte de Clichy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11 au 15/09/2017.

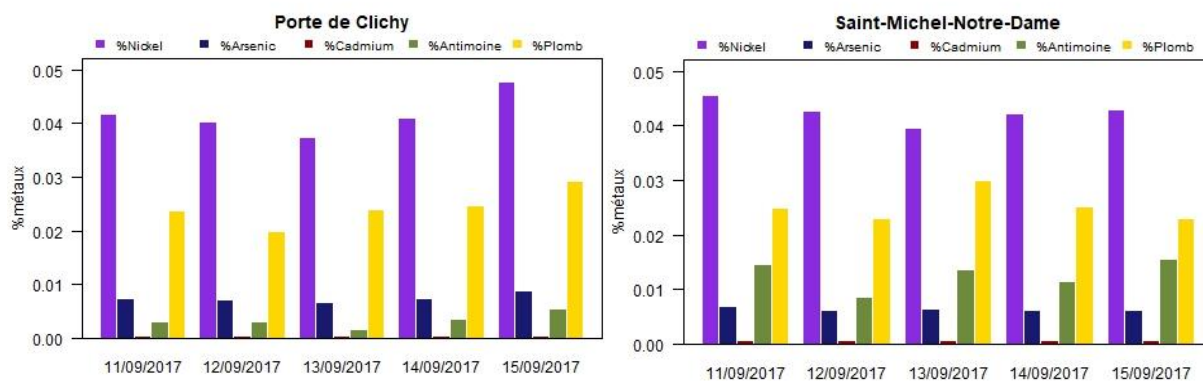


Figure 14 – Part journalière de Nickel, Arsenic, Plomb, Antimoine et Cadmium par rapport à la somme des métaux, à la gare RER C de Porte de Clichy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11 au 15/09/2017.

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

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

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

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

2.3.3. NIVEAUX OBSERVES ET VARIATIONS TEMPORELLES

Le graphique suivant (Figure 15) présente les concentrations observées pour le Fer pendant la semaine de mesure, en gare de Porte de Clichy et à la station de référence Saint-Michel-Notre-Dame. Les teneurs en **Fer** sont plus élevées à Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Les moyennes journalières ont varié entre 86 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (14/09/2017) et 117 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (11/09/2017) en gare de Porte de Clichy (moyenne 104 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). A Saint-Michel-Notre-Dame, elles ont varié entre 47 et 69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyenne 57 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), teneurs comparables aux précédentes mesures dans cette gare.

Les niveaux enregistrés en gare de Porte de Clichy sont les plus élevés parmi ceux mesurés jusqu'à présent. Des teneurs comparables ont été observées en gare de Grigny Centre (RER D).

Ces forts niveaux sont essentiellement liés aux concentrations de particules PM_{10} , elles-mêmes élevées en gare de Porte de Clichy.

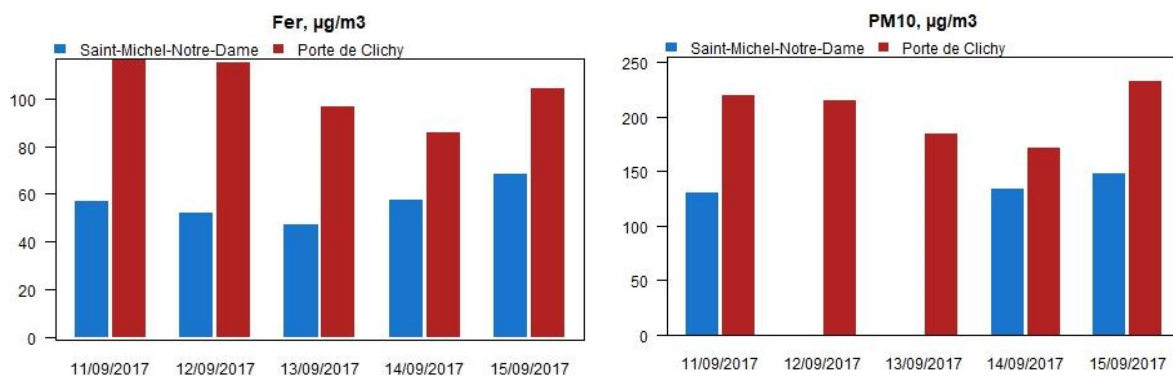


Figure 15 – Relevés journaliers en Fer et en PM₁₀ à la gare RER C de Porte de Clichy et à Saint-Michel-Notre-Dame, période du 11 au 15/09/2017.

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

Les concentrations journalières en **Aluminium** ont varié de 751 à 1860 ng/m³. Les résultats sont du même ordre de grandeur dans les deux gares, mais avec des concentrations de PM₁₀ plus importantes à Porte de Clichy. La part d'Aluminium est plus faible en gare de Porte de Clichy.

Les concentrations journalières en **Cuivre** ont varié de 546 à 761 ng/m³. Les résultats sont du même ordre de grandeur dans les deux gares. Comme précédemment, la différence en termes de concentration de particules entre les deux gares se traduit par une différence en termes de part de Cuivre dans les métaux. Les résultats à la station de référence sont similaires aux relevés des campagnes précédentes.

Les teneurs journalières en **Zinc** sont 2 fois plus importantes à Porte de Clichy (749 à 890 ng/m³) qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, comme celles en Manganèse (668 à 929 ng/m³ à Porte de Clichy).

Enfin, les concentrations journalières en **Chrome** sont comprises entre 341 et 453 ng/m³, à nouveau 2 fois supérieures à celles de Saint-Michel-Notre-Dame.

Ces différences s'expliquent par des niveaux de PM₁₀ 1,5 fois plus élevés en moyenne à Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame.

Pour les cinq autres métaux, les niveaux journaliers à Porte de Clichy varient :

- Entre 36 et 52 ng/m³ pour le **Nickel** ;
- Entre 22 et 32 ng/m³ pour le **Plomb** ;
- Entre 1 et 6 ng/m³ pour l'**Antimoine** ;
- Entre 6 et 10 ng/m³ pour l'**Arsenic** ;
- Pour le **Cadmium**, les relevés journaliers sont tous inférieurs à 1 ng/m³ (limite de quantification).

Les relevés journaliers sont présentés en ANNEXE 5.

La part des métaux dans les relevés journaliers en particules PM_{10} en gare de Porte de Clichy varie de 47 à 55% sur la semaine de mesure, part plus importante qu'en gare de Saint-Michel-Notre-Dame (46 % en moyenne).

Le **Fer** est l'élément majoritaire : il représente environ 95% des métaux mesurés, aussi bien à Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame. Viennent ensuite l'**Aluminium** (1 % à Porte de Clichy), le **Manganèse et le Zinc** (0.8 %) et le **Cuivre** (0,6%), suivi du **Chrome** (0,4%). Les proportions en Nickel, Arsenic, Cadmium, Antimoine et Plomb sont très faibles par rapport aux métaux précédemment évoqués (inférieurs à 0.05 %).

Les parts respectives des métaux sont similaires entre les deux gares, sauf pour l'Aluminium et le Cuivre (respectivement 1,5 % et 1.4 % à Saint-Michel-Notre-Dame).

Les teneurs de métaux à Porte de Clichy sont aussi plus élevées, liées essentiellement aux niveaux de PM_{10} .

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. En moyenne, en gare de Porte de Clichy, le ratio $PM_{2,5}/PM_{10}$ est de 0,39. A titre de comparaison, ce ratio est de 0,4 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,38 à Magenta. En air extérieur, le ratio est plus proche de 0,7. Le ratio des trois gares est proche sur cette période de mesure.

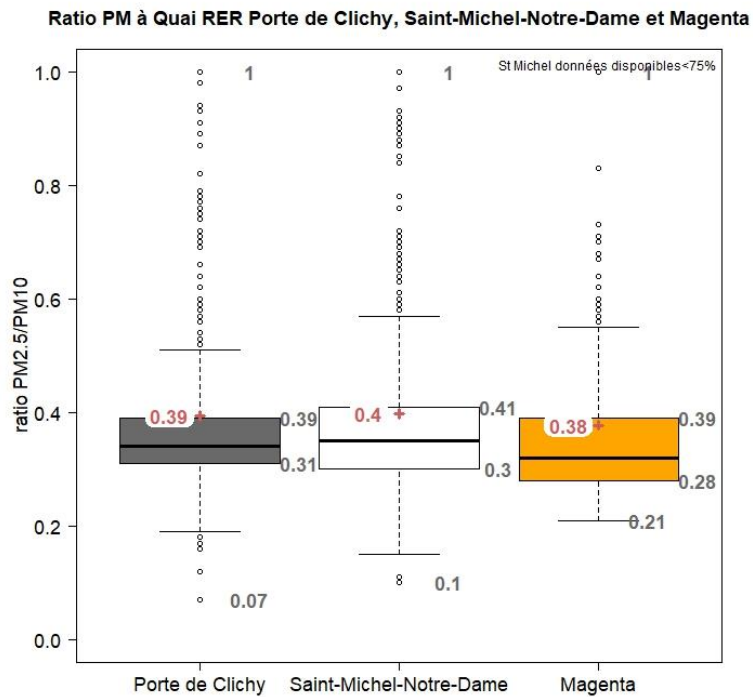


Figure 16 – Boîtes à moustaches des ratios horaires en PM_{2,5}/PM₁₀, à la Gare RER C de Porte de Clichy et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 4 au 22/09/2017.

2.4.2. VARIABILITE HEBDOMADAIRE

Les fluctuations hebdomadaires des ratios horaires de PM_{2,5}/PM₁₀, présentées à la Figure 17, sont faibles en semaine (entre 0,37 et 0,41 Porte de Clichy) et le week-end (0,41), aussi bien en gare de Porte de Clichy qu'aux stations de référence (à Saint-Michel-Notre-Dame, le ratio moyen les jours ouvrés est de 0,38, contre 0,44 le week-end ; à Magenta, le ratio moyen les jours ouvrés est de 0,37, contre 0,4 le week-end). Cela s'explique par des sources stables de PM_{2,5} et PM₁₀ en semaine. Une tendance à la hausse le weekend par rapport à la semaine du gradient est notable aux trois gares, de l'ordre de 8 % (Porte de Clichy et Magenta) à 15 % (Saint-Michel-Notre-Dame).

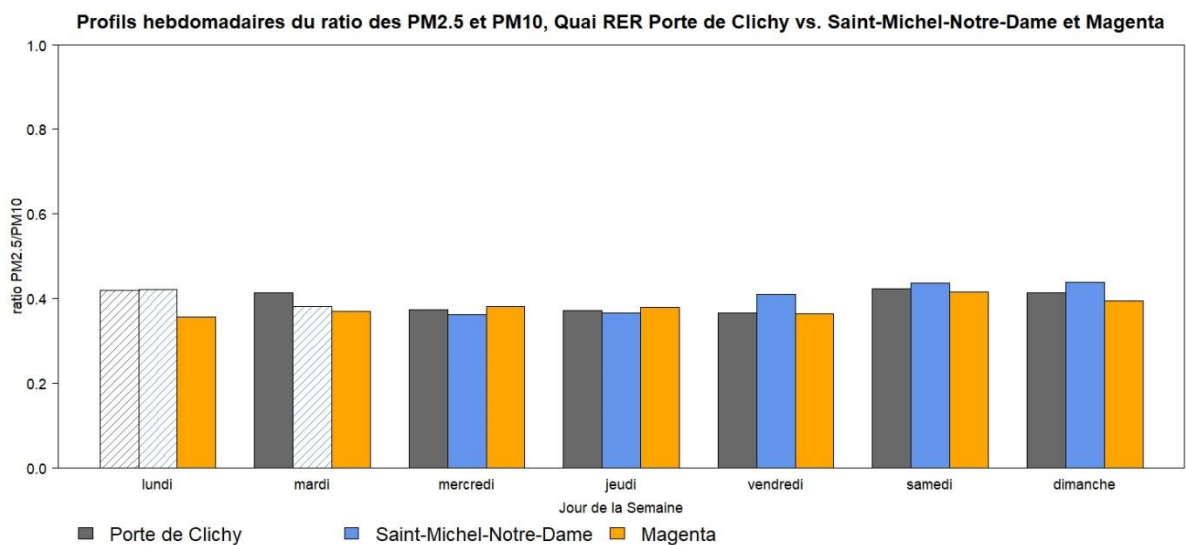


Figure 17 – Évolution du profil hebdomadaire des ratios PM_{2,5}/PM₁₀ à la gare RER C de Porte de Clichy et aux stations de référence de Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 4 au 22/09/2017. En hachuré, données disponibles < 75%.

2.4.3. VARIABILITE DES RATIOS HORAIRES

Les fluctuations horaires (ratios horaires moyennés sur une semaine) sont présentées à la Figure 18. Les profils sont proches dans les trois gares : sur la plage horaire 7-24h, le ratio à Porte de Clichy est de 0,34, contre 0,36 à Saint-Michel-Notre-Dame et 0,3 à Magenta.

Les ratios ont tendance à être plus élevés la nuit et plus faibles en journée à Magenta : sur la plage horaire 2-6h, le ratio à Porte de Clichy est de 0,56, contre 0,63 à Magenta.

Le profil montre des ratios stables en journée, qui 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.

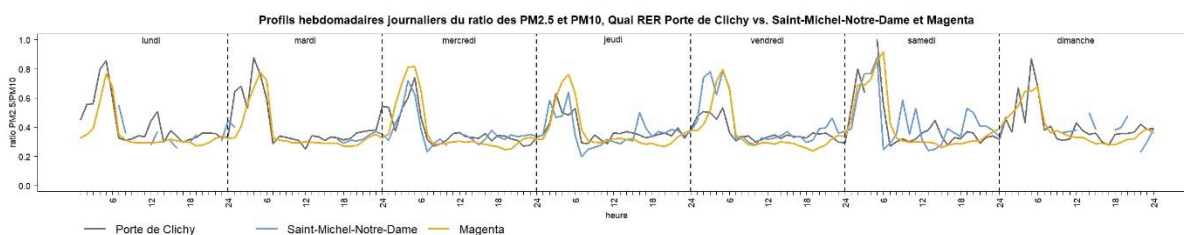


Figure 18 – Evolution des profils horaires des ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Porte de Clichy et aux stations de référence, période du 4 au 22/09/2017.

L'étude des profils moyens journaliers est présentée à la Figure 19. Une certaine stabilité des ratios est observée en journée (de 7h à 24h), aussi bien en gare de Porte de Clichy qu'à Saint-Michel-Notre-Dame, autour de 0,3. Les heures de pointe n'ont pas d'effet sur le ratio. La nuit (entre 2h et 6h, lors de la fermeture au public), les ratios augmentent jusqu'à 0,7 (0,8 à Magenta). Le temps de déposition des particules, potentiellement différent pour les particules PM_{10} et les $PM_{2,5}$, peut expliquer en partie ces différences entre le ratio nocturne et celui en journée.

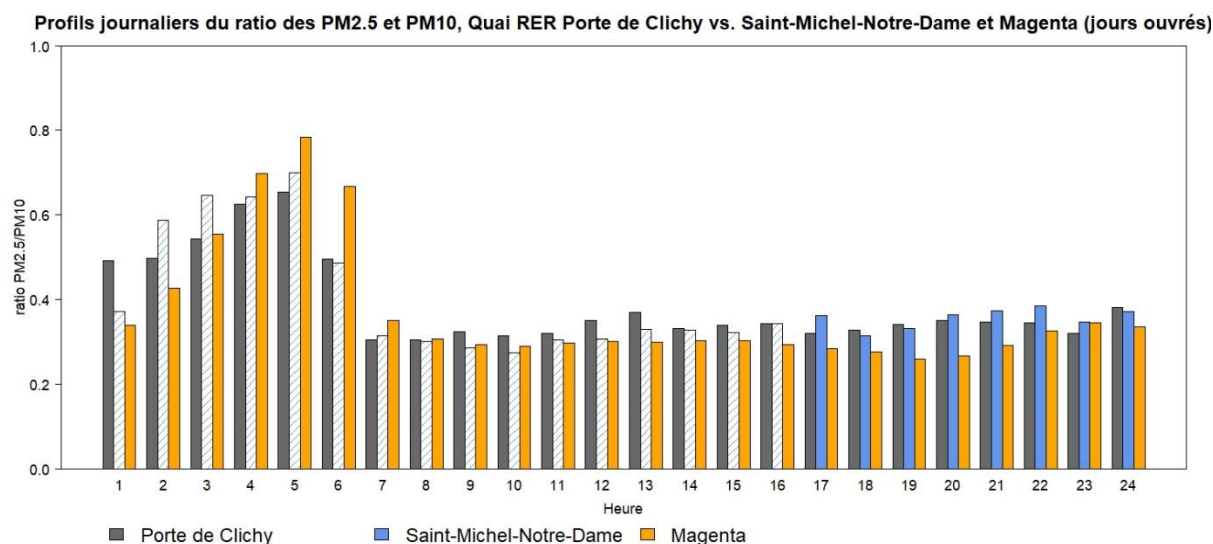


Figure 19 – Évolution des profils journaliers des ratios $PM_{2,5}/PM_{10}$ à la gare RER C de Porte de Clichy et aux stations de référence Magenta et Saint-Michel-Notre-Dame, période du 4 au 22/09/2017 – jours ouvrés. En hachuré, données disponibles < 75%

Parmi les particules mesurées en gare de Porte de Clichy, les particules sont essentiellement celles dont la taille est comprise en 2,5 et 10 microns. Le ratio $PM_{2.5}/PM_{10}$ atteint 0,39 à Porte de Clichy, proche de ceux de Saint-Michel-Notre-Dame et Magenta.

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

A l'échelle horaire, des fluctuations classiques existent sur les trois gares, avec un ratio stable autour de 0,3 en journée, qui augmente la nuit jusqu'à 0,7, lorsque les concentrations en PM_{10} 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, et les imports de polluants (essentiellement pour les particules). Aussi il est important de préciser si les paramètres météorologiques observés pendant la période de mesure ont été ou non favorables à l'accumulation de la pollution atmosphérique. Des conditions dispersives des polluants atmosphériques correspondent à des états dépressionnaires, avec un temps pluvieux ou venteux. A l'inverse, des temps anticycloniques, avec peu de vents ou des inversions de température, sont souvent synonymes de conditions météorologiques défavorables pour la qualité de l'air extérieur.

Pendant cette campagne de mesure, les paramètres météorologiques enregistrés ont été globalement conformes à ceux observés habituellement au cours d'un mois de septembre, avec toutefois des précipitations excédentaires et une insolation légèrement déficitaire. Les températures étaient conformes 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 75% du temps de la campagne de mesure (16 jours, soit 76% du temps). L'indice « moyen » a été enregistré pendant 6 jours (29% du temps), à la fin de la campagne (du 20 au 24/09/2017).

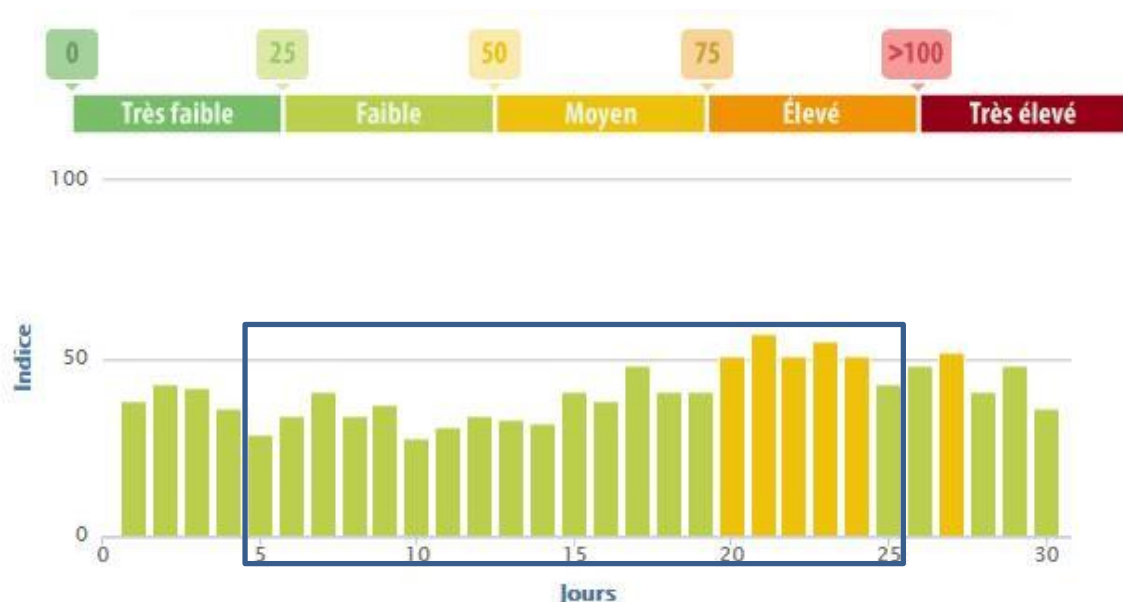


Figure 20 – Historique de l'indice CITEAIR pour le mois de septembre 2017.

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 Porte de Clichy **avec les niveaux enregistrés en air extérieur** est présentée Figure 21, pour les particules PM₁₀ et les particules fines PM_{2,5}.

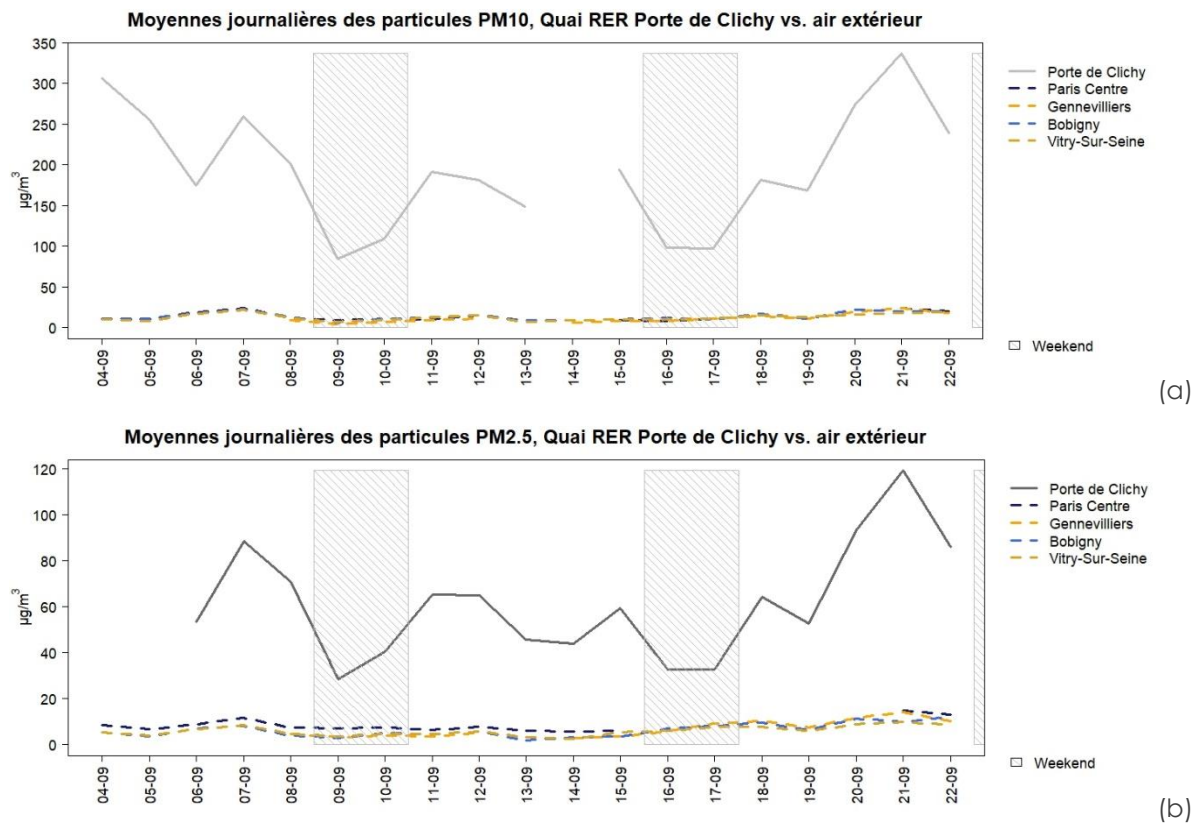


Figure 21 – Evolution des teneurs journalières en PM₁₀ (a) et en PM_{2,5} (b) en gare de Porte de Clichy et en air extérieur (situation de fond), période du 4 au 22/09/2017.

Les teneurs moyennes enregistrées sur le quai à Porte de Clichy ne sont pas liées aux niveaux enregistrés en air extérieur par les stations du réseau Airparif en situation de fond (il n'y a pas de station Airparif à Porte de Clichy). Les coefficients de corrélation entre les concentrations horaires de Porte de Clichy et des stations extérieures vont de 0,2 à 0,36 pour les PM₁₀, de 0,14 à 0,29 pour les PM_{2,5}. Des mesures en air extérieur à proximité de la gare Porte de Clichy auraient été impactées par les importants travaux ayant eu lieu en septembre dans le cadre du prolongement de la ligne 14 (cf. 2.1.1. PARTICULES PM₁₀). Il est toutefois difficile d'estimer l'impact de ces travaux sur les niveaux observés sur le quai de la gare Porte de Clichy. De plus, la profondeur moyenne du quai (-3) permet difficilement à l'air extérieur de descendre jusqu'aux quais via les entrées/sorties de la gare (cette gare bénéficie d'une ventilation naturelle).

3.2 CONFINEMENT DE LA GARE, PARAMETRES DE CONFORT

Le confinement de la gare a été observé via les teneurs en CO₂, qui permettent de suivre le renouvellement de l'air dans des espaces soumis potentiellement à diverses sources de CO₂ (combustion, respiration humaine, source extérieure). Les paramètres de confort (température ambiante et humidité) ont également été suivis. Les relevés horaires sont présentés à la Figure 22. La température moyenne en gare de Porte de Clichy est de 22°C, les relevés horaires ayant varié entre 19 et 27°C (comparable à ceux de Saint-Michel-Notre-Dame). L'humidité relative moyenne en gare de Porte de Clichy est de 53%, les relevés horaires ayant varié de 41% à 68%. Ces relevés sont comparables à ceux de la gare de Saint-Michel-Notre-Dame.

Les relevés horaires en CO₂ sont relativement stables en comparaison avec les relevés de Saint-Michel-Notre-Dame, la fluctuation observée étant liée à la fréquentation de la gare. En moyenne de 483 ppm sur la période de mesure, les relevés varient entre 407 ppm et 706 ppm (heure 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.

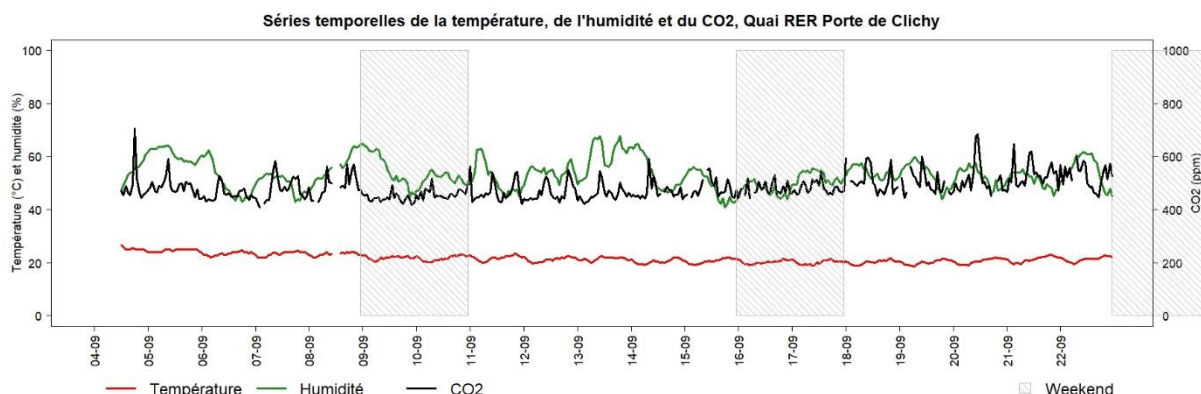


Figure 22 – Relevés horaires de dioxyde de carbone (CO₂) de température (T) et d'humidité relative (H) à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017.

Les variations des concentrations de CO₂ sont faibles dans la gare de Porte de Clichy (cf. Figure 23). La comparaison des concentrations horaires en particules (PM₁₀) et en CO₂ les jours ouvrés montre que les teneurs maximales en particules et en CO₂ sont observées le matin, avec un décalage pour le CO₂ (entre 11-12h pour le CO₂, contre 9-10h pour les particules). La corrélation entre les teneurs en CO₂ et les PM₁₀ est plus faible à Porte de Clichy (0,38) qu'à Saint-Michel-Notre-Dame (0,51).

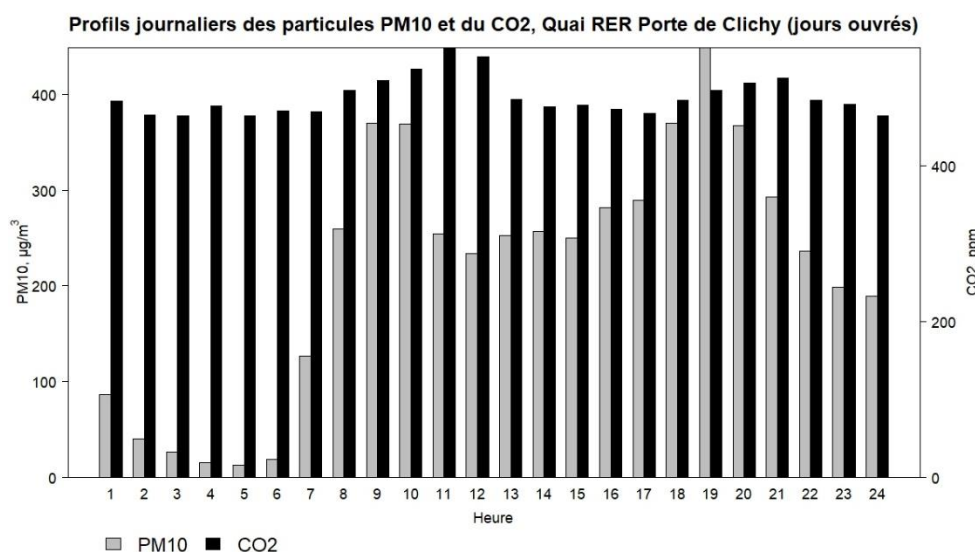


Figure 23 – Profils journaliers en PM₁₀ et CO₂ à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017 – jours ouvrés.

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.

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 Porte de Clichy 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 Porte de Clichy (et aux stations de référence) a été transmis par 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 Porte de Clichy, mise à part la fermeture de la gare pour travaux le week-end du 22-23/09/2017, période non prise en compte dans le traitement des données.

En moyenne, les jours ouvrés, 177 trains circulent en gare de Porte de Clichy (contre 477 en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, sur la même période, et 432 en gare de Magenta). Le samedi, ce sont 143 trains qui circulent (430 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta), comme le dimanche (369 à Saint-Michel-Notre-Dame et 407 à Magenta). Les chiffres sont présentés en Figure 24, pour la gare de Porte de Clichy uniquement.

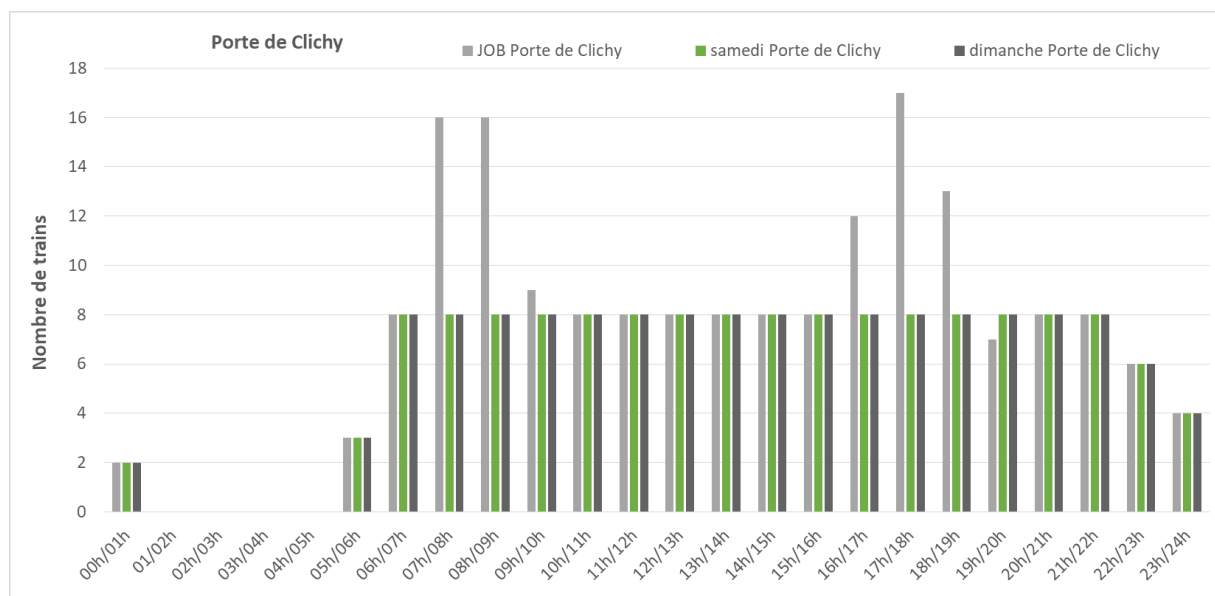


Figure 24 – Nombre de trains enregistrés chaque heure à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations en particules à l'échelle journalière est présenté à la Figure 25, pour les jours ouvrés, en gare de Porte de Clichy. Les concentrations en particules PM₁₀ sont clairement corrélées au nombre de trains en circulation.

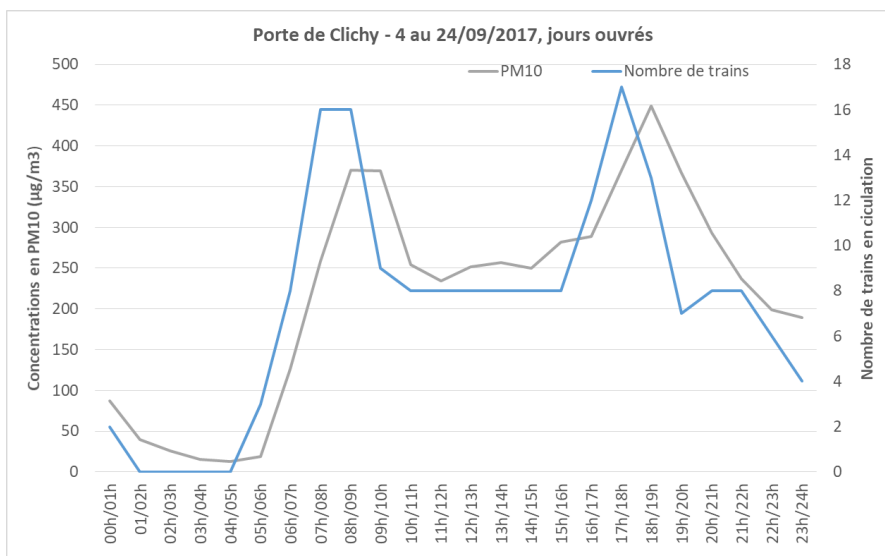


Figure 25 – Croisement entre les teneurs horaires en particules PM₁₀ observés les jours ouvrés et le nombre de trains en circulation à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017.

Un croisement du nombre de trains en circulation avec les concentrations en particules en fonction du jour de la semaine est présenté à la Figure 26. En gare de Porte de Clichy, la diminution du nombre de trains en circulation les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés (20 %) se traduit par une baisse de 55 % des teneurs en particules (PM₁₀).

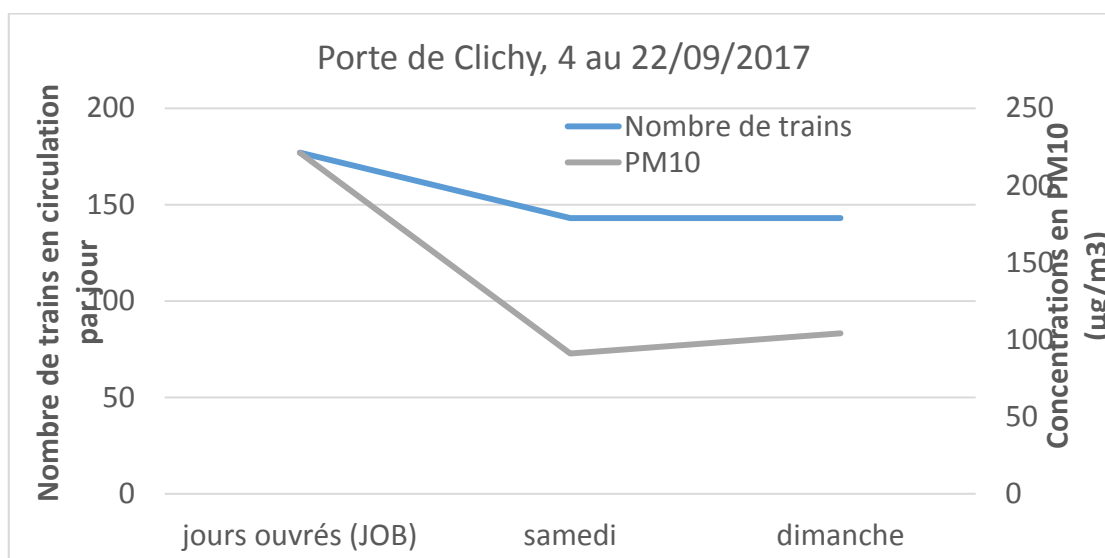


Figure 26 – Croisement entre les teneurs en particules PM₁₀ observées et le nombre de trains en circulation, pour les jours ouvrés, le samedi et le dimanche, à la gare RER C de Porte de Clichy, période du 4 au 22/09/2017.

L'influence de paramètres comme les concentrations en air extérieur, le trafic ou la fréquentation dans la gare de Porte de Clichy 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, sont modérément corrélés (0,38) avec les niveaux de particules en gare de Porte de Clichy.
- Les teneurs en particules mesurées sur le quai de Porte de Clichy ne sont pas corrélées à celles mesurées en air extérieur dans l'ambiance générale de fond. Cependant, les concentrations extérieures prises en compte ne prennent pas en considération les travaux de prolongement de la ligne 14, non mesurée par les stations du réseau Airparif.

4. CONCLUSION

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

- Les teneurs en particules fines PM₁₀ mesurées sur les quais du RER C en gare de Porte de Clichy au cours des mois de septembre 2017 étaient en moyenne de 194 µg/m³, le maximum horaire atteint étant de 725 µg/m³ (enregistré lors d'une heure de pointe en soirée).
- Les niveaux moyens en particules très fines PM_{2,5} atteignent 63 µg/m³, pour un maximum horaire de 258 µg/m³ (maximum atteint à la même heure pour les PM₁₀ et les PM_{2,5}).

Les concentrations en particules PM₁₀ à la gare Porte de Clichy sont plus élevées que celles enregistrées sur la même période à la station de référence de Saint-Michel-Notre-Dame (RER C, station non ventilée), notamment les jours ouvrés. Ceci pourrait s'expliquer par une ventilation naturelle moins efficace (gare de Porte de Clichy au -2, contre -1 pour Saint-Michel-Notre-Dame), mais également par les travaux à proximité de la gare de Porte de Clichy en lien avec le prolongement de la ligne 14.

Les concentrations en PM_{2,5} en gare de Porte de Clichy sont, comme pour les PM₁₀, largement supérieures aux niveaux enregistrés aux stations de référence (Saint-Michel-Notre-Dame, gare non ventilée et Magenta, station ventilée) sur la même période.

Comme pour les autres gares étudiées, l'analyse des teneurs en métaux des particules PM₁₀ confirme la présence majoritaire du Fer (96 % des métaux mesurés). Suivent ensuite dans des proportions nettement moins importantes l'Aluminium (1 % des métaux), le Manganèse et le Zinc (0.8 %), le Cuivre (0.6 %) et le Chrome (0.4 %). Ces résultats sont proches de ceux observés en gare de Saint-Michel-Notre-Dame, excepté pour le Cuivre que l'on retrouve en plus faible proportion à Porte de Clichy (0.6 % contre 1.4 % à Saint-Michel-Notre-Dame) et l'Aluminium (1 % contre 1.5 % à Saint-Michel-Notre-Dame).

L'étude des paramètres potentiellement influents confirme la corrélation entre les concentrations en particules et le nombre de trains en circulation. Cependant, les différences de niveaux entre les gares s'expliquent également par le système de ventilation (naturelle ou mécanique), le volume de la gare, et les activités environnantes.

Ce rapport concerne les résultats de la neuvième campagne de mesure Gare et la quatrième réalisée sur la ligne du RER C (après Austerlitz, Saint-Ouen et Neuilly-Porte Maillot).

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 dans les microenvironnements fréquentés.

ANNEXE 1 :

ELEMENTS TECHNIQUES DE LA GARE DE PORTE DE CLICHY

Configuration de la gare :

Pas de portes palières

Ventilation : Naturelle

Fréquentation de la gare :

Nombre de voyageurs /jour (montants par station/j) : 8133 (source : SNCF, carte des montants 2016)

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

Matériel : type RER

Modèle : automotrices Z5600, Z8800, Z20500, Z20900

Véhicules compartimentés (4 à 6 voitures par rame)

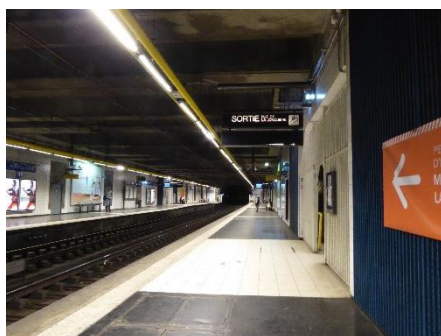
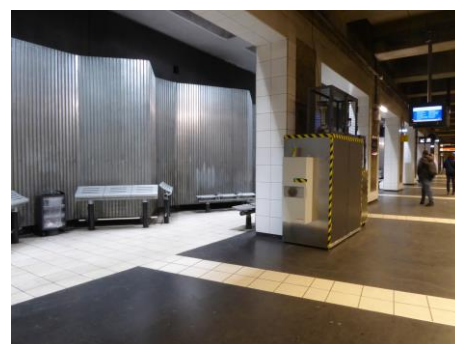
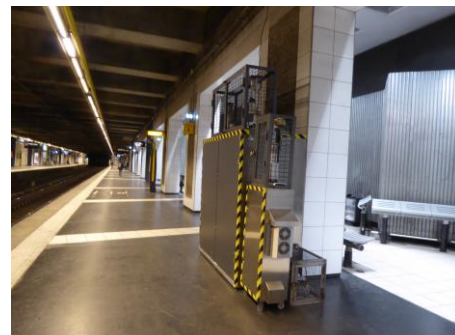
Véhicules à étage (2 niveaux), entre 872 et 1536 places totales par train.

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, exceptée la fermeture de la gare les 22 et 23 septembre pour cause de travaux.



ANNEXE 2 :

DETAILS TECHNIQUES DES MESURES

Indicateurs de la pollution retenus

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

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

Dans le cadre du partenariat, les particules fines PM₁₀ et très fines PM_{2,5} sont mesurées.

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

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

Moyens techniques mis en œuvre

ANALYSEURS AUTOMATIQUES

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

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

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



Les concentrations en particules (PM₁₀)⁶ et particules fines (PM_{2,5}) ont été mesurées par analyseurs automatiques, ainsi que les NO_x sur le site de Saint-Michel-Notre-Dame.

PRELEVEMENTS MANUELS

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

Pour la réalisation de ces mesures, un préleveur LECKEL a été mis en place. Les prélèvements de métaux sont réalisés sur des filtres quartz. L'analyse est réalisée selon une méthode normalisée par le laboratoire Micropolluant⁷.

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

La liste des métaux étudiés s'appuie en particulier sur les recommandations de l'ANSES³ dans les enceintes souterraines ferroviaires, à savoir :

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

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

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



VALIDATION DES MESURES

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

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

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

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

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

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

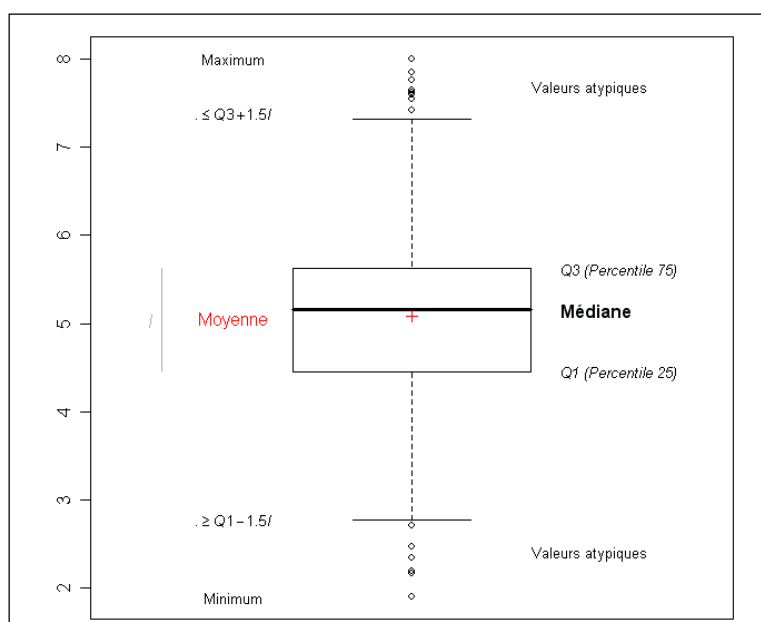
⁷ Micropolluant : <http://www.micropolluants-tech.fr/>

ANNEXE 3 :

BOITE A MOUSTACHE

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

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

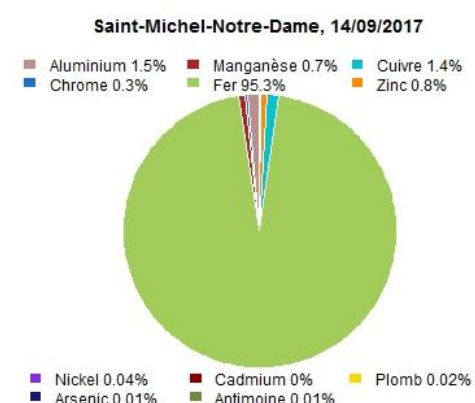
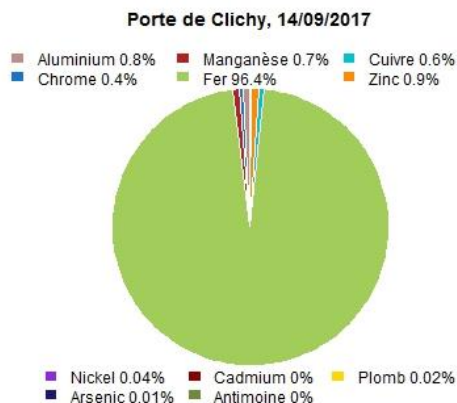
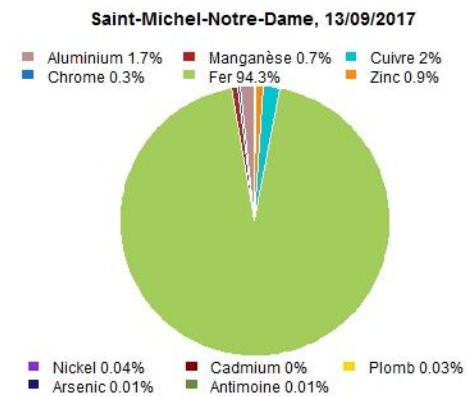
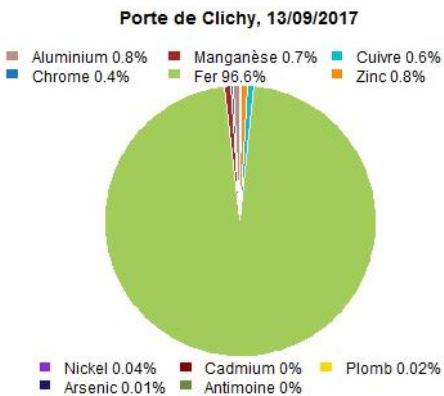
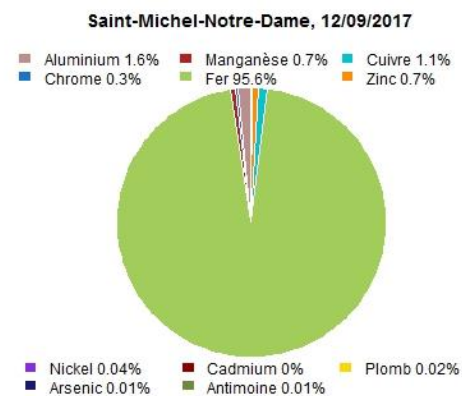
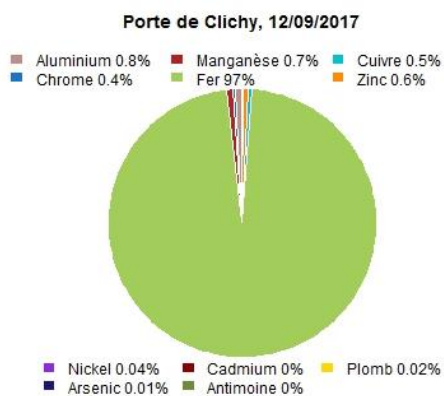
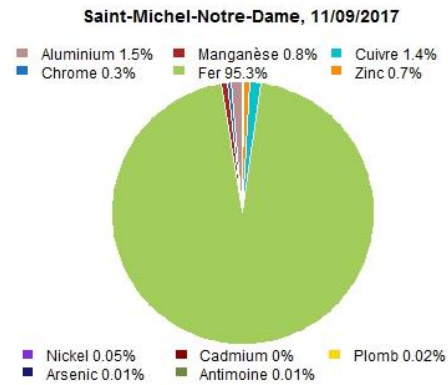
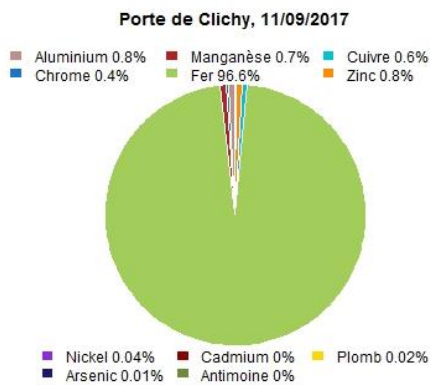


La partie centrale correspondant à une « boîte » représente 50 % des données. Ces données se situent dans les 2^{ème} et 3^{ème} quartiles. La différence entre les deux est appelée l'écart inter quartiles. Les moustaches réparties de chaque côté de la boîte représentent généralement près de 25 % des données, mais n'excèdent pas en terme de longueur, $1,5 * I$ (I étant l'écart interquartile, c'est-à-dire la longueur de la boîte), ce qui peut amener la présence de points atypiques en dehors des moustaches. La fin de la moustache supérieure correspond donc soit à la valeur $3Q+1,5I$ (3^{ème} quartile + une fois et demi l'intervalle inter quartile), soit au maximum de l'échantillon s'il est plus faible que cette valeur.

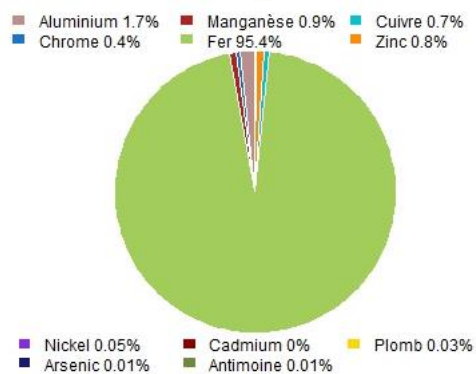
La fin des moustaches est très proche des centiles 1 et 99, lorsque la distribution de l'échantillon est gaussienne (suit une loi Normale).

ANNEXE 4 :

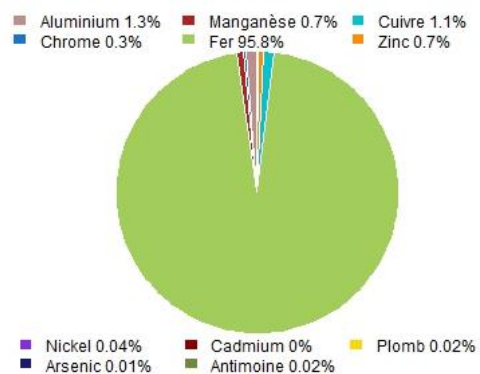
REPARTITION EN METAUX SUR LA PERIODE DE MESURE



Porte de Clichy, 15/09/2017



Saint-Michel-Notre-Dame, 15/09/2017



ANNEXE 5 :

RELEVES JOURNALIERS DE CUIVRE, ZINC, MANGANESE, CHROME, NICKEL, ANTIMOINE, ARSENIC, CADMIUM, PLOMB ET ALUMINIUM A LA GARE RER C DE PORTE DE CLICHY ET A SAINT-MICHEL-NOTRE-DAME, PERIODE DU 11/09/2017 AU 15/09/2017.

