

AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE



RAPPORT

**SITE DE MESURES DE PARTICULES EN CONTINU EN GARE DE
MAGENTA (2016)**

DOC047931-00 / MES016241

AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE

21 avenue du Président Allende
F - 94407 Vitry sur Seine CEDEX – France
affaire.aef@sncf.fr
TEL : +33 (0)1 47 18 84 11 / FAX : + 33 (0)1 47 18 84 00

Laboratoire Matériaux - Environnement - Structure

Destinataire :
DIRECTION DES GARES D'ILE DE FRANCE
A l'attention de SCHWANGER Emilie
34 RUE DU CDT RENE MOUCHOTTE
75014 Paris
France

SITE DE MESURES DE PARTICULES EN CONTINU EN GARE DE MAGENTA (2016)

Résumé :

L'Agence d'Essai Ferroviaire a réalisé une campagne de mesure de la qualité de l'air (site de mesure en continu) en gare de Magenta sur l'année 2016. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5.

La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré que les niveaux de particules ont été plus importants au second semestre.

Il a été mis en évidence une relation entre les teneurs en particules, la fréquentation voyageurs et le trafic ferroviaire.

Elaboration du rapport

Rédacteur

Nom : GHOZZI Fayes
Fonction : Ingénieur d'essais en qualité de l'air

Vérificateur

Nom : ARRIGONI Vincent
Fonction : Coordinateur technique du Pôle Environnement - Prévention

Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent
Fonction : Responsable d'activité du Pôle Environnement - Prévention

Avertissement :

Les résultats présentés dans ce document ne se rapportent qu'aux produits soumis à l'essai, suivant les conditions indiquées dans son contenu.

La reproduction de ce document n'est autorisée que sous sa forme intégrale.

SUIVI DES MODIFICATIONS

Version	Date de publication	Motivation et Objet de la Modification	Paragraphe(s) concerné(s)
Version 00	Indiquée sur la signature numérique		

La dernière version Annule et Remplace les versions précédentes

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
Airparif	Surveillance & Information sur la qualité de l'air en Île-de-France Bilan année 2016

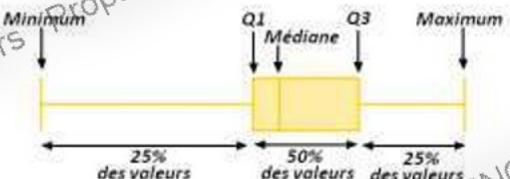
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC035768	Mesures en continu des polluants particulaires et influence de la ventilation en gare Magenta (RER E)
DOC040574	Mesures de concentrations en particules dans les gares souterraines et mixtes d'Île-de-France – Année 2016

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

Symboles (unités)	Définitions
$\mu\text{g}/\text{m}^3$	Micro gramme par mètre cube

DÉFINITIONS

Termes	Définitions
Boîte à moustache	<p>Une boîte à moustache est un graphique représentant la répartition d'une série statistique. Ce traitement de données permet de représenter plusieurs informations :</p> <ul style="list-style-type: none"> - La médiane de l'ensemble des données ; - La moyenne de l'ensemble des données ; - Les percentiles 25 (Q1) et 75 (Q3) qui correspondent aux extrémités de la boîte et qui contiennent 50% des données ; - Les minima et maxima aux extrémités des moustaches. 
Humidité relative	L'humidité relative est donnée par le rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air et la quantité de vapeur d'eau maximale possible (définition Météo France)
Médiane	La médiane est l'indicateur statistique qui partage la distribution d'un ensemble de données statistiques en deux parties égales, de sorte que 50% des données se situent au-dessus de la médiane et 50% des données se situent en dessous de cette valeur. (Définition INSEE)

Moyenne	La moyenne est l'indicateur statistique le plus répandu et le plus simple afin de résumer l'information fournie par un ensemble de données statistiques. Elle est égale à la somme de ces données divisée par leur nombre. (Définition INSEE)
PM10	Particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 10 micromètres (μm)
PM2,5	Particule de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 2,5 micromètres (μm)
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance (signifie microbalance à élément conique oscillant) : principe de mesure qu'utilise l'analyseur automatique de poussières

SOMMAIRE DU RAPPORT:

1 - OBJET	7
2 - METHODOLOGIE	7
2.1 - Descriptif de la gare	7
2.2 - Polluants mesurés	7
2.3 - Moyens de mesure	8
2.4 - Emplacement du site et période de mesure	9
2.5 - Méthodologie d'acquisition et de gestion des données	9
2.5.1 - Acquisition des données	9
2.5.2 - Protocole de surveillance et suivi	9
2.5.3 - Protocole de validation et de traitement des données	9
3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES	11
3.1 - Niveaux moyens observés sur le quai en gare de Magenta	11
3.2 - Variabilité temporelle	12
3.2.1 - Variabilité mensuelle	12
3.2.2 - Variabilité hebdomadaire	16
3.2.3 - Variabilité journalière	17
4 - FACTEURS D'INFLUENCE ET DE CONFORT	22
4.1 - Trafic ferroviaire et fréquentation	22
4.2 - Ventilation	23
4.3 - Qualité de l'air extérieur	24
4.3.1 - Généralités	24
4.3.2 - Gare de Magenta	25
4.4 - Paramètres de confort	27
5 - CONCLUSION	30
ANNEXES	31
SOMMAIRE DES ANNEXES	32

1 - OBJET

La Direction des Gares d'Île-de-France (DGIF) a sollicité l'Agence d'Essai Ferroviaire (AEF) concernant la réalisation de différentes études relatives à la pollution particulaire dans l'air des gares souterraines et mixtes d'Île-de-France afin d'en approfondir les connaissances.

Dans ce cadre, il a été décidé de suivre l'évolution dans le temps de cette pollution. La gare de Magenta (RER E) a ainsi été équipée d'une station de mesures permettant la surveillance en continu des particules fines PM10 et PM2,5.

L'amélioration de la qualité de l'air dans les Enceintes Ferroviaires Souterraines (EFS) est un sujet sur lequel SNCF s'est impliquée depuis 2000. La gare de Magenta a fait l'objet de plusieurs campagnes de mesures en polluants gazeux et particulaires, notamment en 2000, 2002 et 2006. Le programme mis en place depuis 2016 s'inscrit quant à lui dans le cadre du renforcement de la surveillance de la qualité de l'air intérieur, prévu par le Grenelle de l'Environnement, dans le but de mieux renseigner les niveaux d'empoussièrement tout en tenant compte des facteurs d'influence. Il n'existe pas de décret d'application spécifique aux EFS, ni de norme en vigueur dans ces lieux recevant du public.

Le présent rapport restitue les résultats relatifs à la mise en place d'une station de mesures en continu des particules PM10 et PM2,5 dans la gare de Magenta pour l'année 2016.

2 - METHODOLOGIE

2.1 - Descriptif de la gare

La gare de Magenta se situe sur la ligne E du RER, dans le 10^{ème} arrondissement de Paris. Cette gare possède de nombreuses correspondances sur le réseau d'Île-de-France notamment avec les lignes de métro 2, 4 et 5, et les lignes B et D du RER. La gare comporte également deux grands ensembles reliant les quais à la gare du Nord et au quartier proche de la gare de l'Est.

La gare de Magenta comporte deux quais et quatre voies (51, 52, 53 et 54) sur béton. Les quais comprennent un tunnel central (section de 50 m²) à deux voies et deux tunnels latéraux (section de 32 m²) chacun à une voie. Un système de ventilation est en place et assure une ventilation de deux types : désenfumage et ventilation de confort.

Le nombre de voyageurs « montants » lors des jours ouvrables en Gare de Magenta (RER E) est de 76 401 par jour (carte des « montants » 2016 comptage du 04/10/2016 source : SNCF Open data). Le nombre de trains (théorique) circulant par jour en gare de Magenta est de 432 pour les jours ouvrés, et de 407 pour les samedis et dimanches.

Un descriptif des caractéristiques la gare figure en annexe 1.

2.2 - Polluants mesurés

Les mesures de qualité de l'air ont porté sur les concentrations en particules en suspension : PM10 et PM2,5. Ils font partie des polluants, parmi ceux mesurés, dont les concentrations sont plus élevés en général dans les EFS que dans l'air ambiant extérieur.

De par les études menées antérieurement et l'état des connaissances actuelles, il est établi que leur présence est essentiellement due à l'activité ferroviaire :

- lors de l'usure des matériaux de freinage du fait de la friction roue-frein ;
- lors du contact roue-rail ;
- lors des contacts entre le matériel roulant et le système d'alimentation électrique.

La concentration en particules est également sous l'influence de l'air extérieur. Cette influence varie en fonction d'un certain nombre de paramètres qui ont été déterminés lors d'études antérieures, tels que la profondeur de la gare ou encore son fonctionnement aérodynamique (volumétrie de la gare, existence ou non d'un système de ventilation). L'évolution de la concentration dans l'air extérieur, notamment lors de pics de pollution, aura donc un impact plus ou moins fort sur la qualité de l'air dans les EFS. Les voyageurs sont également une source de particules (usure des vêtements, des chaussures, des sols).

Les particules sont capables de pénétrer dans l'appareil respiratoire et peuvent se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (PM_{2,5}).

2.3 - Moyens de mesure

Le site de mesures en continu mis en place en gare de Magenta est équipé d'un analyseur automatique (TEOM 1405-D) installé dans une baie de mesure.



Figure 1 – Baie de mesure en gare de Magenta et visuel sur l'analyseur automatique de particules (TEOM)

Le principe de mesure du TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance – signifie microbalance à élément conique oscillant) porte sur une analyse de la variation de fréquence d'un élément conique oscillant supportant un filtre. La quantité de poussières aspirées et retenues sur le filtre augmente la masse du système oscillant et produit alors une décroissance de la fréquence de vibration de l'élément conique. Cette variation de fréquence mesurée en continu est alors convertie en variation de masse permettant

ensuite d'obtenir une concentration des particules en suspension dans l'air (PM10 et PM2,5).

L'analyseur automatique renseigne les concentrations en particules avec un pas de temps de 15 minutes. Ce pas de temps permet de disposer de données temporelles fines sur les niveaux de particules en gare.

2.4 - Emplacement du site et période de mesure

Le site de mesures a été installé sur le quai de la voie 51, à proximité du local DA61, à l'identique de l'emplacement retenu lors de précédentes campagnes de mesure réalisées en gare de Magenta (octobre 2000, juin 2002 et février 2006). Cet emplacement se situe au milieu du quai, ce qui permet d'obtenir les données les plus représentatives de l'exposition aux particules. La localisation du site de mesures figure en **annexe 2**.

Le site de mesures étant continu, les mesures de pollution atmosphérique en gare de Magenta ont été effectuées du 04/01/2016 au 31/12/2016 inclus. Cette période d'un an permet d'avoir suffisamment de données collectées et validées donnant une robustesse aux statistiques présentées dans les résultats.

2.5 - Méthodologie d'acquisition et de gestion des données

Les protocoles d'acquisition des données de surveillance du site, de traitement et de validation des données sont décrits dans les documents internes de l'AEF et repris brièvement ci-dessous.

2.5.1 - Acquisition des données

L'intervalle d'acquisition des données des TEOM a été fixé à quinze minutes. Ce pas de temps a été retenu car il correspond à un compromis entre la sensibilité de l'analyseur TEOM (liée à la masse minimale détectable et à la concentration en particules pendant les périodes d'ouverture au public de la gare) et le suivi des évolutions des concentrations sans perte d'information notable sur les phénomènes ponctuels ou transitoires. Cet intervalle d'acquisition des données conduit à une concentration minimale détectable de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

2.5.2 - Protocole de surveillance et suivi

Le protocole de surveillance du matériel de mesure et de suivi des données est basé sur les connaissances préalables de l'AEF sur la maintenance des TEOM et sur l'évolution des niveaux des concentrations en particules dans les gares souterraines.

La nécessité d'un niveau élevé de disponibilité des données impose une surveillance régulière des analyseurs pour palier à toute défaillance (la plus fréquente étant la rupture d'alimentation électrique). La récupération des données est réalisée à distance depuis le site de mesure au moyen du système SUPAIR (constitué d'un nano-ordinateur Raspberry Pi® et d'un modem 3G) connecté à l'analyseur. Il permet la récupération automatique et le rapatriement des données de qualité de l'air vers les serveurs informatiques situés à l'AEF. Ce système a permis de suivre le bon fonctionnement de l'analyseur à distance au cours de l'année.

2.5.3 - Protocole de validation et de traitement des données

Le protocole de validation est basé sur un traitement par tableur des données brutes collectées. Ces données sont exportées au format Excel dans un fichier adapté. Celui-ci

permet de mettre en évidence par un code de couleur (formats conditionnels) tous les éventuels dysfonctionnements du matériel de mesure (bruit électronique, colmatage du filtre de collection, dépassement de valeurs limites en débit, température, hygrométrie, etc.), ainsi que les intervalles entre deux données supérieurs à 15 minutes traduisant un arrêt de l'alimentation électrique (valeurs manquantes).

Les valeurs manquantes sont liées :

- aux coupures de courant. Ces coupures sont dues à des arrêts volontaires pour maintenance des installations électriques ou des arrêts involontaires suite à des défaillances ;
- aux périodes de maintenance des analyseurs, ce sont des maintenances nécessaires pour maintenir la qualité des mesures.

Les données validées de concentrations en particules, de températures et d'hygrométries sont ensuite transférées dans une autre feuille excel qui réalise la mise en forme des données à travers des tableaux de moyennes horaires, des tableaux de moyennes par périodes (24 heures, nuit, pointes du matin et du soir, service commercial) et des graphiques journaliers (concentrations en PM10 et PM2,5 ; températures et hygrométrie). Le fichier final comporte l'ensemble de ces éléments sur une semaine d'acquisition de données.

3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES

Les résultats sont dans un premier temps représentés sous forme de statistiques, boîtes à moustaches, du fait du grand nombre de données disponibles (site continu). Les boîtes à moustaches sont des représentations graphiques qui permettent d'observer plus facilement la distribution d'une série de données. Une définition ainsi qu'une illustration sont fournies en début de rapport et rappelées en Figure 2.

Ce paragraphe contient également les profils de concentrations en particules à différentes échelles : journalière, hebdomadaire et mensuelle.

3.1 - Niveaux moyens observés sur le quai en gare de Magenta

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules PM_{2,5} et PM₁₀ est présenté sous forme de boîte à moustache pour l'année 2016 en Figure 2.

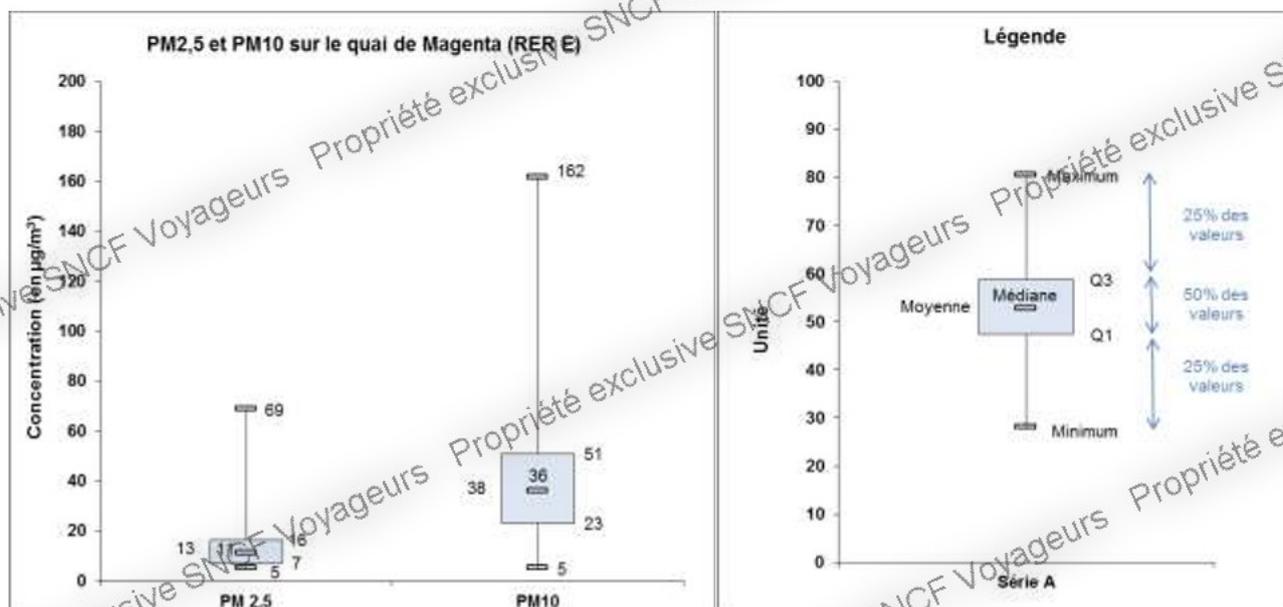


Figure 2 - Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM_{2,5} et en PM₁₀ exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Magenta pour l'année 2016.

Les boîtes à moustaches montrent une distribution « équilibrée » des concentrations pour les PM_{2,5} et les PM₁₀. Concernant les PM₁₀, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **23 et 51 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , avec une moyenne de **38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane à **36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Pour les PM_{2,5}, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **7 et 16 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , pour une moyenne de **13 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane à **11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

Deux phénomènes sont à noter, liés à des concentrations maximales en PM₁₀ et PM_{2,5} atteintes.

Le 09 mars 2016 à 1h00, période durant laquelle la gare est fermée au public, le maximum atteint en PM₁₀ est de **162 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . La concentration en PM_{2,5} mesurée lors de ce pic de PM₁₀, est de **30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , soit une concentration 2,3 fois supérieure à la concentration moyenne en PM_{2,5} en gare de Magenta. Ce pic semble être en lien avec une tournée de surveillance de la voie en semaine 10 faisant suite à des travaux de voie réalisés de nuit en semaine 09.

Le 26 décembre 2016 à 5h00, période durant laquelle la gare est fermée au public, le maximum atteint en PM_{2,5} est de **69 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . La concentration moyenne horaire en PM₁₀

mesurée durant ce pic de PM_{2,5} est de 115 µg/m³, soit 3 fois la concentration moyenne en PM₁₀ mesurée en gare de Magenta. Ce pic semble être en lien avec des travaux de voie réalisés de nuit avec la présence de trains de travaux en semaine 52.

Conclusion :

La proportion de particules PM_{2,5} dans les particules PM₁₀ est de 34%, **soit un ratio moyen PM_{2,5}/PM₁₀ de 0,34**

Les valeurs maximales mesurées pour chacune des deux fractions de particules PM₁₀ et PM_{2,5} ne sont pas représentatives d'une situation « normale » et sont très supérieures aux concentrations moyennes mesurées en gare de Magenta. Ces valeurs sont synonymes de l'existence de **pics ponctuels de concentrations en particules** dont l'origine supposée a parfois pu être établie.

3.2 - Variabilité temporelle

Pour une question de lisibilité, il est difficile de présenter les relevés horaires sur l'ensemble de la campagne de mesures du fait de la nature du site (site continu) et de la période couverte lors de cette campagne (1 an). Les données présentées contiennent des profils journaliers, hebdomadaires et mensuels.

3.2.1 - Variabilité mensuelle

Les profils mensuels en particules PM_{2,5} et PM₁₀ mesurés en gare de Magenta sont présentés en Figure 3. La Figure 4 renseigne l'évolution mensuelle du volume de voyageurs (ou fréquentation voyageurs) et du nombre de trains (ou circulations ferroviaires) en gare de Magenta pour l'année 2016.

Les niveaux moyens mensuels présentés en Figure 3 ont été calculés en effectuant la moyenne des concentrations hebdomadaires sur chaque mois. Une distinction a été effectuée entre les niveaux moyens hebdomadaires obtenus à partir des moyennes journalières sur 24 heures et des moyennes journalières calculées sur la période correspondante à l'ouverture de la gare (5h00 (J) à 1h00 (J+1)).

Cette distinction permet de tenir compte de l'absence de circulations des trains de voyageurs en dehors des périodes d'ouverture de la gare. Les niveaux observés en service commercial sont plus importants car les niveaux les plus faibles, qui sont principalement observés lors des périodes de fermeture de la gare, n'entrent pas dans le calcul des concentrations moyennes mesurées en service commercial.

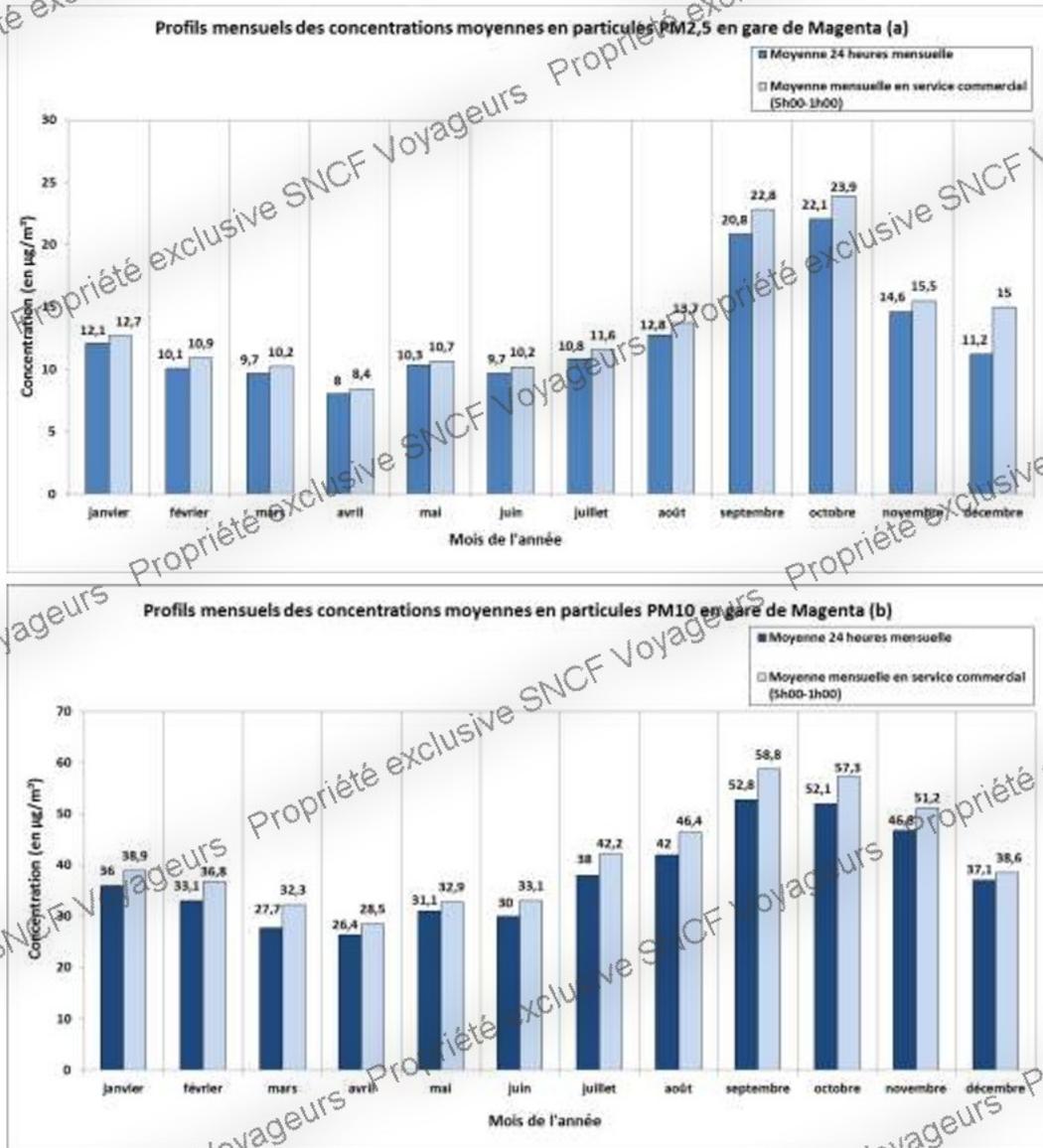


Figure 3 - Evolution des profils mensuels en PM2,5 (a) et en PM10 (b) exprimés en µg/m³ en gare de Magenta (RER E) pour l'année 2016.

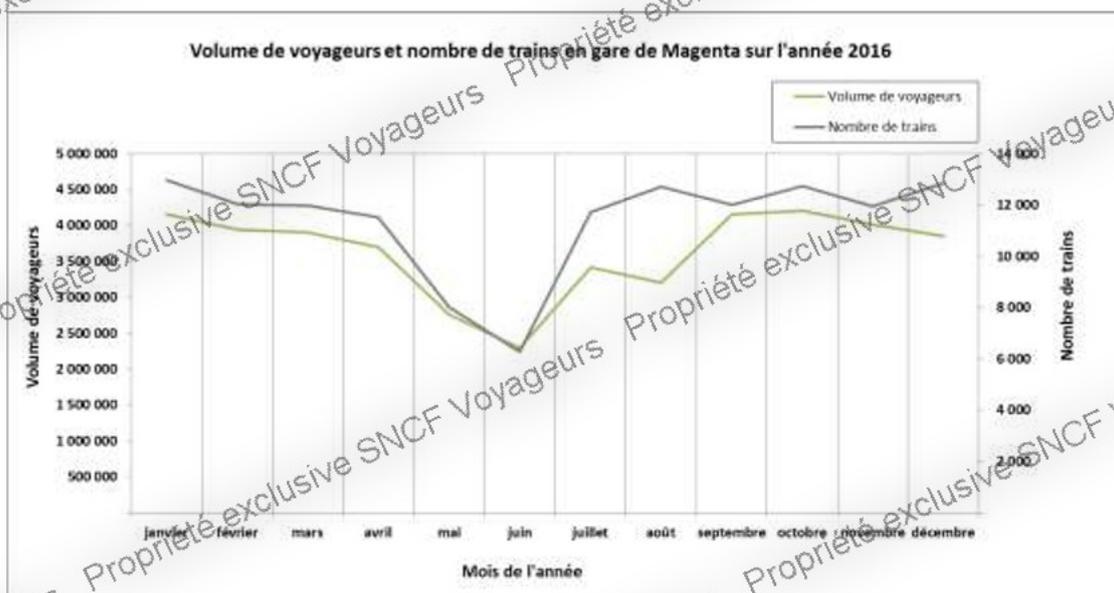


Figure 4 - Evolution mensuelle du volume de voyageurs et du nombre de trains en gare de Magenta pour l'année 2016.

L'observation des niveaux moyens mensuels en particules PM10 et PM2,5 sur la période d'ouverture de la gare permettent d'établir les constats suivants :

- Les concentrations moyennes mensuelles sont marquées par une **faible tendance à la baisse** sur la période qui couvre les mois **de janvier à avril** ;
- **Légère hausse** qui s'accompagne d'une **stabilisation des concentrations** est ensuite observée durant les mois **de mai et juin** ;
- Une période d'**augmentation des concentrations** moyennes mensuelles est ensuite constatée sur la période allant des mois **de juillet à octobre** ;
- Une dernière période marquée cette fois-ci par une **baisse des concentrations** moyennes mensuelles **amorcée en novembre et plus marquée en décembre**. Pour les PM2,5, le mois de novembre montre une baisse des concentrations plus marquée par rapport à la baisse des concentrations en PM10.

La comparaison des profils présentés en Figures 3 et 4 montre les points suivants :

- Le volume de voyageurs et le nombre de trains ont une évolution globalement similaire sur l'ensemble de l'année 2016.
- Sur la période de janvier à avril, les concentrations en particules (PM10 et PM 2,5), le volume de voyageurs et le nombre de trains en circulation montrent des profils semblables. En effet les trois paramètres ont tendance à diminuer légèrement. Malgré une légère **tendance à la baisse (de l'ordre de 10%)** observée sur cette période, le volume moyen mensuel de voyageurs est proche de **4 000 000** et le nombre moyen mensuel de trains est d'environ **12 000**.
- Sur la période mai-juin une **baisse de 35% du volume moyen mensuel de voyageurs et de 40% du nombre de trains** est constatée avec une moyenne de 2 500 000 voyageurs et 7000 trains par mois. Cette baisse est due à d'importants **mouvements de grève** ayant eu lieu à cette période, couplée à la présence de **jours fériés**. Les mois de mai et juin montrent des concentrations parmi les plus faibles.
- Suite à la baisse du nombre de voyageurs et de trains observée en mai/juin, la période juillet-août se traduit par une augmentation du volume moyen de voyageurs et du nombre moyen de train par mois. Sur cette période, le nombre moyen de trains en circulation en gare de Magenta est similaire à celui observé sur la période janvier-avril avec **environ 12 000 trains**. Le nombre de voyageurs est cependant moindre que sur la période janvier-avril avec en moyenne **3 300 000 voyageurs**. Sur cette même période **une augmentation** conjointe des concentrations moyennes mensuelles en PM2,5 et PM10 est observée.
- Les mois de septembre et octobre présentent les volumes moyens mensuels de voyageurs parmi les plus importants de l'année 2016. Sur cette période les concentrations moyennes mensuelles en particules les plus importantes ont été mesurées avec **environ 60 µg/m³ pour les PM10 et 25 µg/m³ pour les PM2,5**. Le nombre de trains et le volume de voyageurs sont proches de ceux observés sur la période allant de janvier à avril 2016. Cependant, les concentrations moyennes mensuelles en particules sont plus importantes durant la période automnale que

lors des quatre premiers mois de l'année, avec une différence de l'ordre de **40%**. Ce constat montre que les niveaux de concentrations en particules mesurés sur cette période, ne s'expliquent pas uniquement par la fréquentation voyageurs et la circulation ferroviaire.

- Lors des mois de novembre et décembre, une baisse du volume moyen mensuel de voyageurs est à nouveau observée avec un peu moins de **4 000 000 de voyageurs** en gare de Magenta. Cette baisse marque un retour de la fréquentation moyenne de voyageurs à un niveau similaire par rapport à celle observée sur le début d'année 2016 (de janvier à avril). Le nombre moyens de trains en circulation sur la fin d'année est resté **supérieur à 12 000 trains par mois**. En parallèle, les concentrations en PM_{2,5} et en PM₁₀ montrent également une **tendance à la baisse** sur les mois de novembre et décembre.

Conclusion :

Les concentrations moyennes mensuelles mesurées sur la période de **janvier à juin** sont environ comprises entre **26 et 39 µg/m³ pour les PM₁₀** et entre **8 et 13 µg/m³ pour les PM_{2,5}**. Les concentrations moyennes mensuelles mesurées sur la période de **juillet à décembre** sont environ comprises entre **37 et 59 µg/m³ pour les PM₁₀** et entre **10 et 24 µg/m³ pour les PM_{2,5}**. Les mois de septembre et octobre montrent les concentrations mensuelles les plus importantes de l'année.

Les paramètres étudiés que sont la **fréquentation des voyageurs** (volume de voyageurs) et le **trafic ferroviaire** (nombre de trains) montrent des profils dont l'évolution est semblable tout au long de l'année 2016 en gare de Magenta. Le parallèle effectué entre les niveaux moyens en particules mesurés durant l'année en gare de Magenta et ces deux paramètres montrent que ces derniers ne sont pas les seuls **facteurs d'influence** de la pollution particulaire en gare.

3.2.2 - Variabilité hebdomadaire

Les profils hebdomadaires en particules PM_{2,5} et PM₁₀ (moyennes annuelles par jour) en gare de Magenta sont présentés en Figure 5.

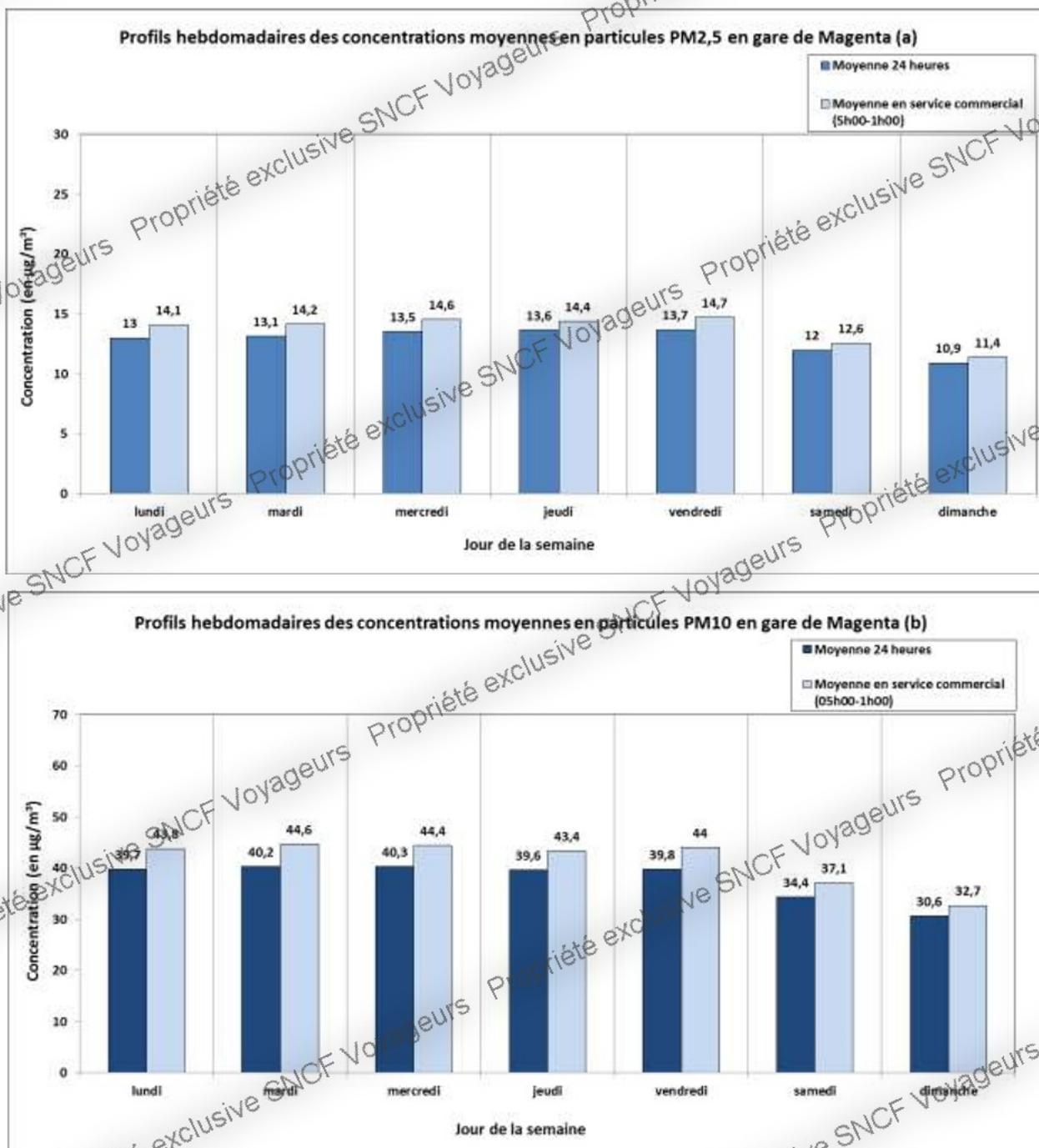


Figure 5 - Evolution des profils hebdomadaires en PM_{2,5} (a) et en PM₁₀ (b) exprimés en µg/m³ en gare de Magenta (RER E) pour l'année 2016.

Les niveaux moyens en particules sont stables les jours ouvrés (du lundi au vendredi) : environ 15 µg/m³ pour les PM_{2,5} ; environ 45 µg/m³ pour les particules PM₁₀ sur la période d'ouverture au public de la gare (en service commercial). Une faible diminution s'observe les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés aussi bien pour les concentrations en PM₁₀ qu'en PM_{2,5}. Elle est :

- de l'ordre de 15% pour les PM_{2,5} avec une concentration moyenne de 12 µg/m³ ;
- de l'ordre de 20% pour les PM₁₀ avec une concentration moyenne de 35 µg/m³.

Ces résultats sont en partie liés à la baisse du nombre de trains en circulation durant le week-end. En effet, le trafic théorique en gare de Magenta durant la campagne de mesure est de 432 trains par jour pour les jours ouvrés (du lundi au vendredi), contre 407 trains par jour pour les week-ends. En relatif, la diminution des concentrations en particules est plus importante que la baisse de circulations entre les jours de semaine et les week-ends.

La fréquentation des voyageurs (volume de voyageurs) est un autre paramètre qui peut expliquer cette différence. La fréquentation moyenne de voyageurs en gare de Magenta est moins importante les week-ends par rapport aux jours ouvrés. Par exemple, sur la période du 05/12/2016 au 18/12/2016, le volume moyen de voyageurs a atteint 77 016 voyageurs les jours ouvrés contre 38 363 voyageurs les week-ends, soit une fréquentation moyenne deux fois moins importante les week-ends.

3.2.3 - Variabilité journalière

Le profil journalier des concentrations en particules PM2,5 et PM10 est présenté en Figure 6. Il représente les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés pour l'ensemble de l'année 2016.

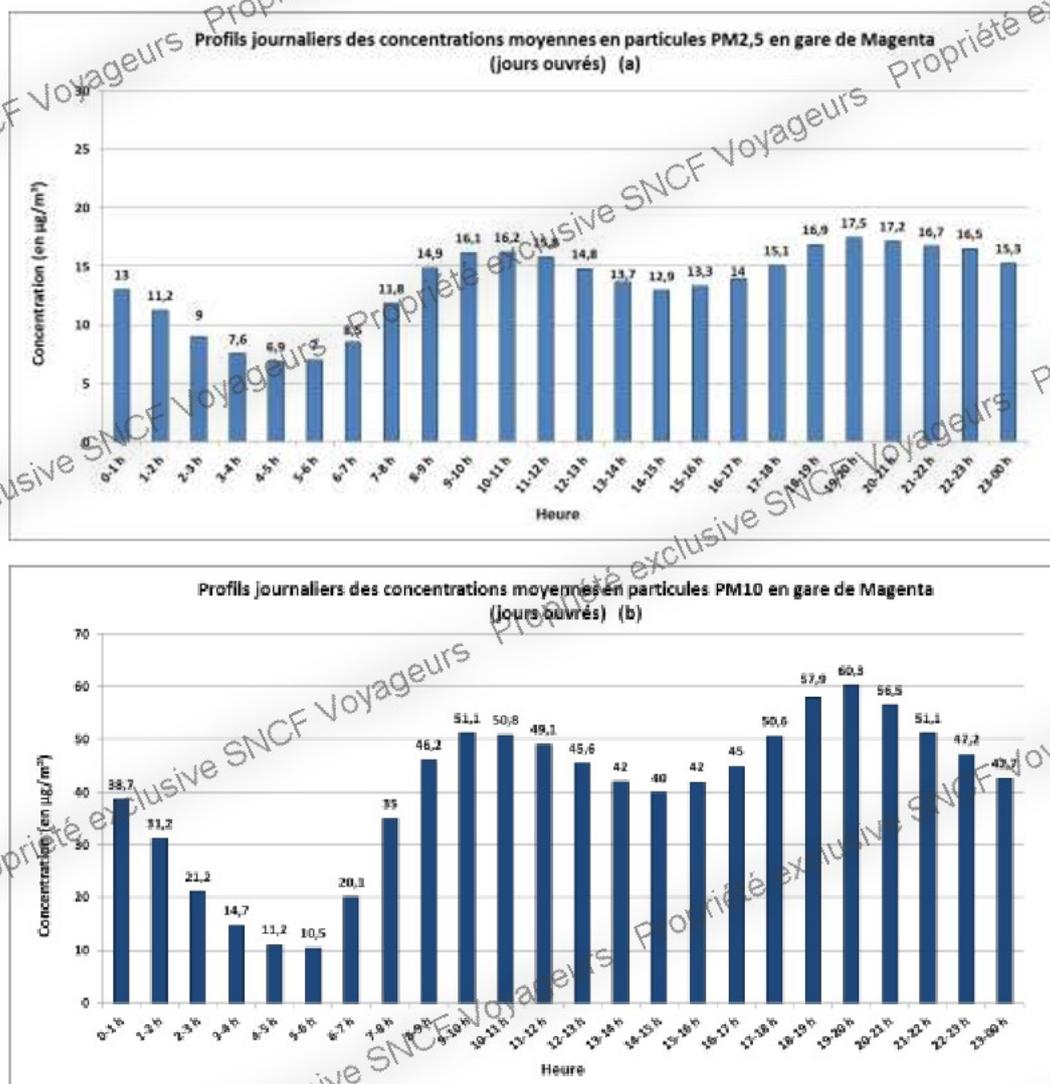


Figure 6 - Evolution des profils journaliers en PM2,5 (a) et PM10 (b) en gare de Magenta pour l'année 2016 (jours ouvrés).

Les profils journaliers présentés en Figure 6 pour les particules PM_{2,5} et les particules PM₁₀ sont comparables. Ils montrent la même évolution, à la fois pendant et en dehors des périodes d'ouverture de la gare. Les profils journaliers montrent 3 périodes importantes :

- une **période de pointe le matin**, approximativement de **8h00 à 12h00** ;
- une **période de pointe le soir** d'environ **18h00 à 22h00** ;
- une **période de fermeture de la gare** au public de **01h00 à 05h00** (absence de circulations)

Durant les périodes de pointe, les maxima de concentrations sont mesurés pour les deux types de particules sur les créneaux horaires 9h – 11h et 19h – 20h. Ainsi, aux heures de pointe, les concentrations moyennes maximales en particules sont d'environ **18 µg/m³ en PM_{2,5} et 60 µg/m³ pour les PM₁₀**.

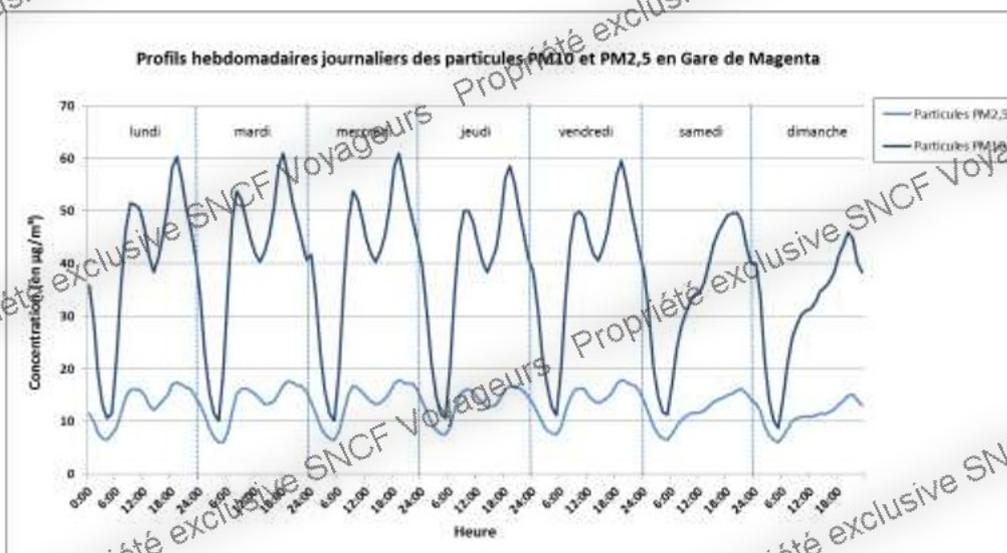
Les concentrations les plus faibles sont mesurées durant la période de fermeture de la gare au public. Sur cette période, les niveaux diminuent jusqu'à 7 µg/m³ pour les particules PM_{2,5} et environ 11 µg/m³ pour les PM₁₀.

Les fluctuations observées sur le profil PM_{2,5} sont de plus faible amplitude que celles observées pour les PM₁₀. Ceci peut s'expliquer par la taille des particules émises lors des circulations ferroviaires qui sont majoritairement des particules grossières.

Les fluctuations mises en évidence au sein des profils journaliers en particules, aux heures de pointe du matin et du soir, sont en lien avec les activités dans la gare et particulièrement avec la circulation ferroviaire. Le temps de dépôt des particules en suspension varie selon leur taille, ainsi la différence observée concernant l'amplitude des variations horaires peut en partie s'expliquer du fait que les particules les plus grosses se déposent plus rapidement.

3.2.3.1 - Variations horaires sur une semaine

Le détail des variations horaires des concentrations en particules sur une semaine (moyenne des 52 semaines de l'année 2016) est présenté en Figure 7.



Ce graphique montre d'une part les variations journalières avec l'existence de deux pics de concentration aux heures de pointes et les niveaux les plus faibles mesurés la nuit. D'autre part, il montre également la différence entre les variations observées les jours ouvrés et celles observées les samedis et dimanches (absence d'un réel pic de concentration le matin et atténuation des maximaux aux heures de pointe en fin de journée).

3.2.3.2 - Zoom sur deux semaines de mesures

La Figure 8 présente l'évolution des variations horaires des concentrations en particules PM10 sur les périodes du 07/11/2016 au 13/11/2016, puis du 14/11/2016 au 20/11/2016. Ces résultats sont présentés dans le but de confronter deux semaines de mesures :

- une semaine présentant un fait marquant (du 07/11/2016 au 13/11/2016) avec la journée fériée du vendredi 11 novembre 2016 ;
- une semaine « type » (du 14/11/2016 au 20/11/2016).

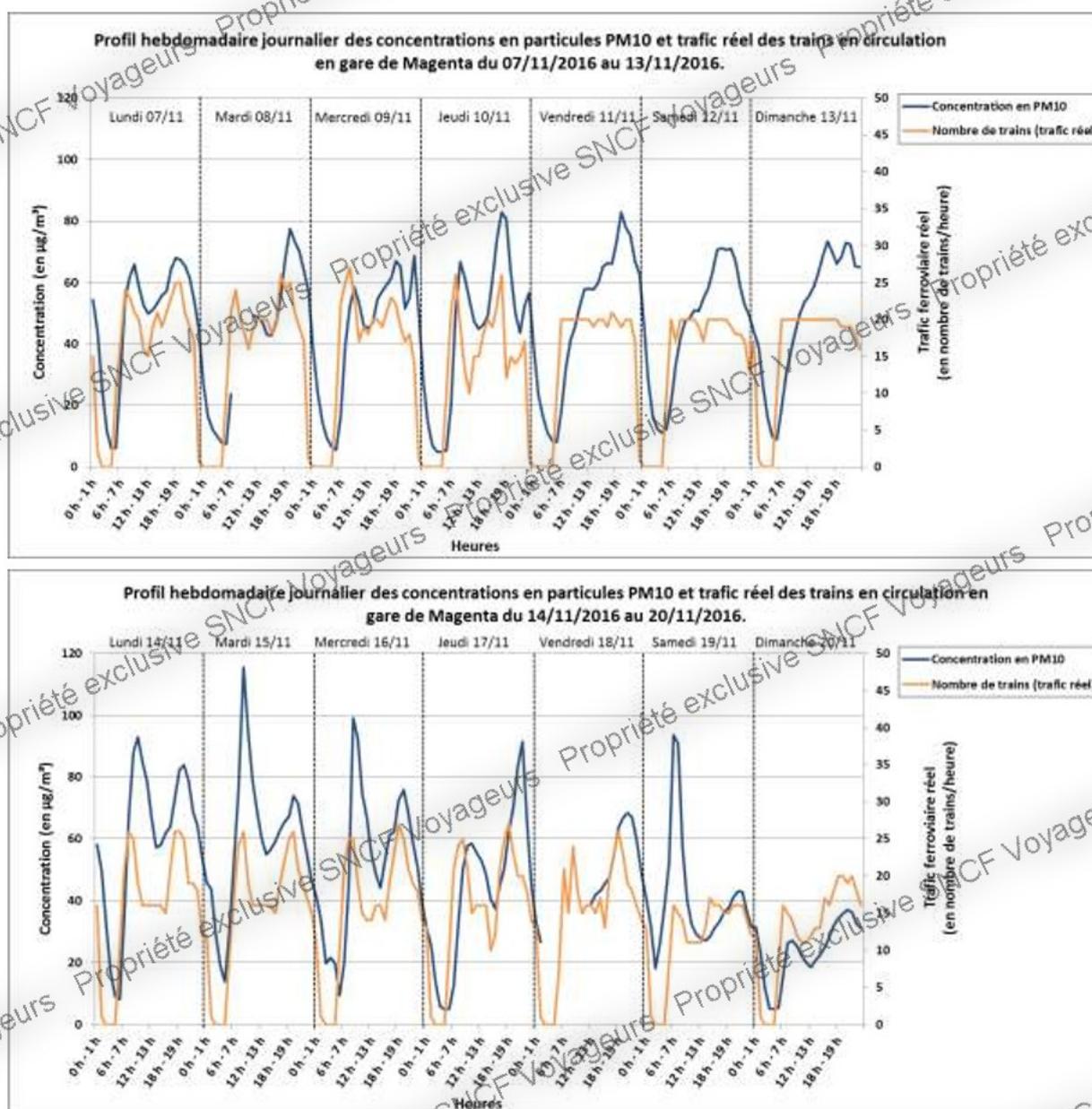


Figure 8 – Evolution des profils horaires en PM10 et trafic réel de trains en gare de Magenta du 07/11/2016 au 20/11/2016.

La Figure 8 permet de rendre compte du lien entre les concentrations en particules PM10 mesurées et le nombre réel de trains ayant circulé en gare de Magenta sur la période du 07/11/2016 au 20/11/2016.

Analyse de la semaine du 07/11/2016 au 13/11/2016 :

Les résultats de la semaine du 07/11/2016 au 13/11/2016 montrent un profil similaire sur les quatre premières journées. Chacune de ces journées montre l'existence de **deux pics de concentration aux heures de pointes**, de 8h00 à 10h00 puis de 18h00 à 20h00, ainsi que d'une **chute des niveaux de particules PM10 la nuit** (de 00h00 à 05h00). Les concentrations en particules PM10 aux heures de pointes sont globalement comprises entre **60 et 85 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Sur ces quatre premières journées, les pics de concentration en PM10 surviennent lorsque le nombre de trains en circulation est également à son maximum (en moyenne 25 trains/heure aux heures de pointe). Les concentrations les plus faibles sont observées la nuit. Une décroissance des concentrations se produit de 00h00 à 05h00 du matin pour atteindre des niveaux de particules inférieurs à $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Le profil observé lors de la journée du 11/11/2016 (jour férié) révèle quant à lui **un seul pic de concentration** sur la tranche horaire 19h00 - 20h00. Les circulations ferroviaires ont été stables durant cette journée puisqu'environ 20 trains/heure ont circulé de 6h00 à 23h00. Le profil du vendredi est proche de ceux observés le samedi et le dimanche que des autres jours de la semaine.

La différence des niveaux mesurés en particules PM10 entre les jours de semaine et le week-end habituellement observée n'est pas visible durant cette semaine. Cela est probablement lié au maintien des circulations ferroviaires à un niveau proche du nombre maximum de trains ayant circulés aux heures de pointe en semaine (environ 20 trains par heure pour le vendredi et le week-end contre 25 trains par heure en heures de pointe pour les autres jours).

Analyse de la semaine du 14/11/2016 au 20/11/2016 :

La semaine du 14/11/2016 au 20/11/2016 est plus représentative d'une semaine type. Chaque jour est en effet marqué par **deux pics de concentration en PM10 observés aux heures de pointes**, de 8h00 à 10h00 puis de 18h à 20h00, **d'une chute des concentrations mesurées pendant la nuit**, et des niveaux moyens mesurés en PM10 qui sont **moins importants le week-end que jours ouvrés**. Les concentrations en particules PM10 aux heures de pointes sont globalement comprises entre **70 et 120 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les concentrations les plus faibles sont observées la nuit. Une décroissance des concentrations se produit de 00h00 à 05h00 du matin pour atteindre des niveaux de particules inférieurs à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Sur ces quatre premières journées, les pics de concentration en PM10 surviennent lorsque le nombre de trains en circulation est à son maximum (en moyenne 25 trains/heure aux heures de pointe). La journée du samedi (19/11) montre des concentrations de l'ordre de $90 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur la période 6h00-8h00 alors que le nombre de trains en circulation sur cette période est d'environ 15 trains/heure. Lors de cette période, la seule circulation des trains n'explique pas les niveaux de concentrations mesurées.

Bien que la journée du 18/11/2016 ne soit pas complète (absence de données de 2h00 à 12h00 en raison d'une coupure de courant), on note que les cinq premiers jours de la

semaine (du lundi au vendredi) ont des profils très proches qui diffèrent de ceux observés le week-end.

4 - FACTEURS D'INFLUENCE ET DE CONFORT

4.1 - Trafic ferroviaire et fréquentation

Le trafic théorique en gare de Magenta (nombre théorique de trains par heure) pour l'année 2016 a été transmis par Transilien en fonction des jours ouvrés, samedis et dimanches sur la période couvrant la campagne de mesure. Le nombre théorique de trains circulant par jour en gare de Magenta est de 432 pour les jours ouvrés et de 407 pour les samedis et dimanches.

La Figure 9 reprend sur un même graphique le nombre de trains en circulation avec les profils journaliers des concentrations moyennes en particules PM_{2,5} et PM₁₀ pour les jours ouvrés.

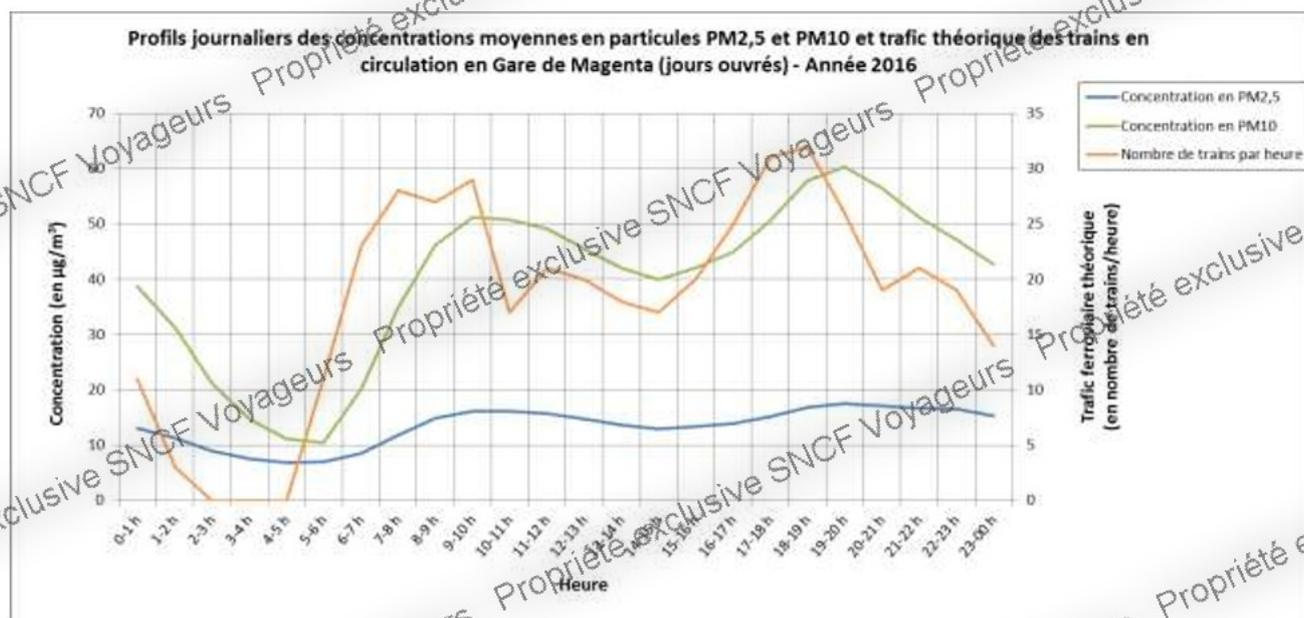


Figure 9 – Comparaison entre les profils journaliers en particules PM_{2,5} et PM₁₀ et le trafic théorique des trains en circulation en gare de Magenta sur les jours ouvrés pour l'année 2016.

Les profils journaliers des concentrations en particules sont corrélés au nombre théorique de trains en circulation en gare de Magenta. Il apparaît un décalage d'une heure entre les pics de concentration en PM₁₀ et PM_{2,5} et les pics de circulations des trains. Ceci s'explique en partie par le délai de la mesure. La valeur lue à 19h00 correspond aux valeurs mesurées entre 18h00 et 19h00.

Les niveaux en particules mesurés sur le quai en période d'ouverture de la gare au public (de 5h00 (J) à 1h00 (J+1)) sont plus importants que ceux mesurés en dehors de la période d'ouverture. Durant les périodes de pointe (de 8h00 à 10h00 et de 18h00 à 20h00), la densité du trafic est plus importante et l'émission de particules, ainsi que la remise en suspension le sont également. Au vu de ces résultats, la circulation des trains est une source importante d'émission en particules.

La Figure 10 renseigne sur l'évolution mensuelle des concentrations en particules PM10 et PM2,5 et du nombre de voyageurs en gare de Magenta pour l'année 2016.

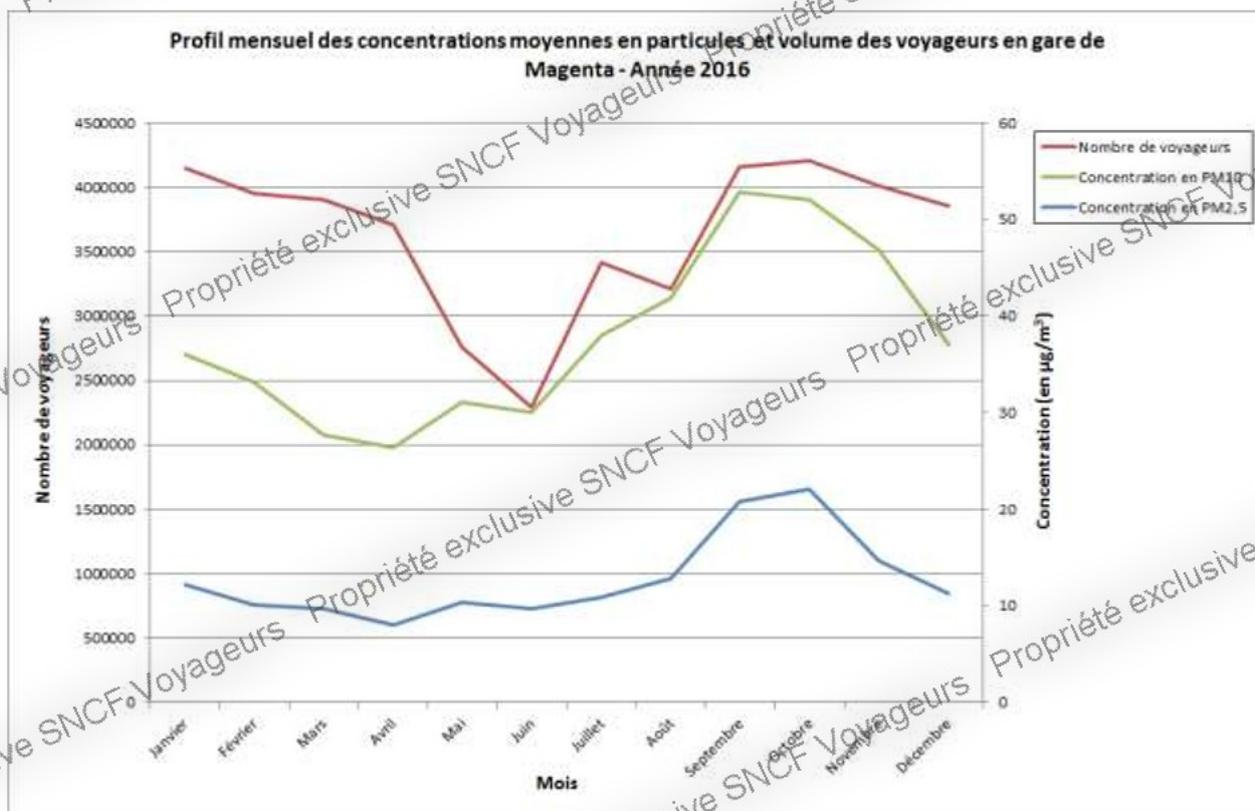


Figure 10 – Evolution mensuelle de la concentration en particules et du nombre de voyageurs en gare de Magenta pour l'année 2016.

Les profils mensuels des concentrations en particules PM10 et PM2,5 montrent une corrélation au nombre de voyageurs ayant fréquenté la gare de Magenta. Les particules sont sans cesse remises en suspension dans l'air par l'activité qui existe en gare et le flux de voyageurs (friction des vêtements, usures des chaussures et des sols).

La corrélation semble fidèle sur la période de mai à décembre 2016 mais il existe un écart entre les concentrations mesurées en PM 10 et la fréquentation de voyageurs sur les 4 premiers mois de l'année en comparaison avec la période de mai à décembre. Ces éléments rejoignent les données présentées en figure 3 et 4.

4.2 - Ventilation

Il existe 2 types de ventilation en gare de Magenta :

La ventilation de désenfumage. Cette ventilation a pour but d'évacuer les fumées produites par un incendie. Pour cela, divers scénarios de ventilation sont pilotés via un poste de commandement. Il est choisi en fonction de la localisation de l'incendie. Les scénarios et le fonctionnement des divers ventilateurs sont validés périodiquement par des essais de désenfumage effectués de nuit, hors périodes d'ouverture de la gare.

- La ventilation de confort. Son rôle est de renouveler l'air des gares et des tunnels. Elle joue également un rôle de régulation de la température en extrayant l'air chaud par les puits Papillon. Les particules générées par la circulation ferroviaire en tunnel sont donc

dirigées, préférentiellement vers l'extérieur plutôt que vers la gare. Ce trajet élimine également la chaleur produite par les rames en tunnel pour éviter de réchauffer la gare.

Un schéma descriptif est repris en Figure 11

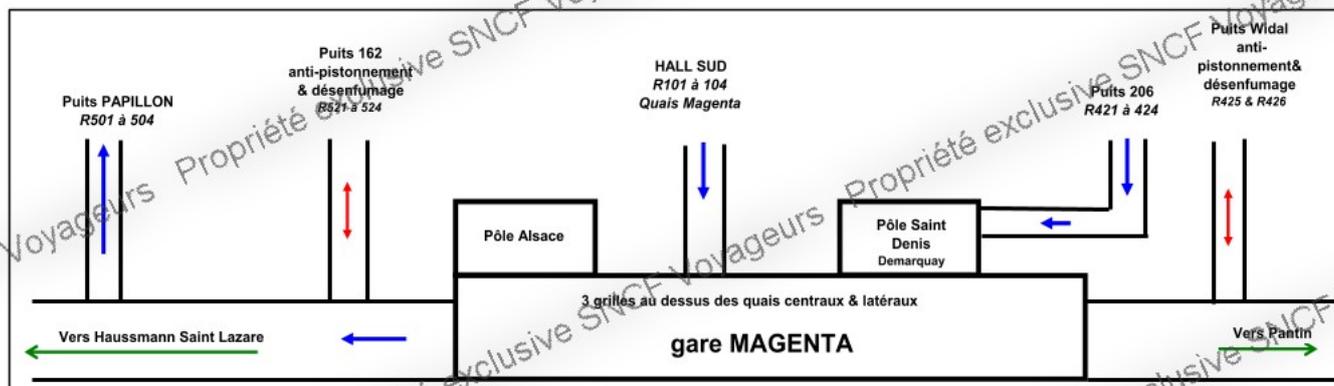


Figure 11 - Représentation schématique de la ventilation du RER E.

Sur ce schéma, les **flèches bleues** correspondent au sens de l'air induit par les ventilateurs via les grilles, couloirs et tunnels. Les **flèches rouges** correspondent aux puits de désenfumage où le sens de l'air alterne en fonction de l'effet piston produit par la circulation ferroviaire.

Il n'a pas été noté de dysfonctionnement du système de ventilation durant l'année 2016.

4.3 - Qualité de l'air extérieur

4.3.1 - Généralités

La qualité de l'air ambiant mesurée à l'extérieur diffère de celle mesurée dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS), mais les polluants de l'air extérieur peuvent tout de même influencer la qualité de l'air mesurée en ces lieux.

Dans les EFS, la qualité de l'air dépend principalement des caractéristiques suivantes :

- la typologie de la gare : souterraine ou mixte (c'est-à-dire à la fois aérienne et souterraine) ;
- sa profondeur ;
- son système de ventilation (entretien et maintien des performances) ;
- sa fréquentation voyageurs ;
- la fréquence de circulation du matériel roulant ;
- son ancienneté.

L'influence de la pollution extérieure sera d'autant plus marquée que la gare est peu profonde et qu'il existe divers accès vers l'extérieur. De manière générale, les émissions anthropiques (relatives aux activités humaines) et les conditions météorologiques conditionnent la qualité de l'air ambiant.

Les conditions météorologiques sont variables d'une année à l'autre et peuvent à elles seules être synonymes de conditions favorables ou défavorables à l'accumulation des polluants atmosphériques, comme les polluants particuliers (PM10 et PM2,5). En effet, des conditions météorologiques dépressionnaires associées généralement à un temps pluvieux ou venteux sont en général favorables à la dispersion des polluants atmosphériques. Alors qu'à l'inverse, des conditions anticycloniques associées à des

vents de faible intensité et/ou à la présence d'inversions de températures sont souvent favorables à l'accumulation de la pollution dans les basses couches de l'atmosphère.

4.3.2 - Gare de Magenta

Les niveaux moyens mensuels en PM10 mesurés en gare de Magenta sont comparés à ceux mesurés par la station extérieure Airparif la plus proche géographiquement.

Cette station de fond urbain est située au **7 rue Ferdinand Flocon**, dans le 18^{ème} arrondissement parisien. Une représentation est fournie en Figure 12.

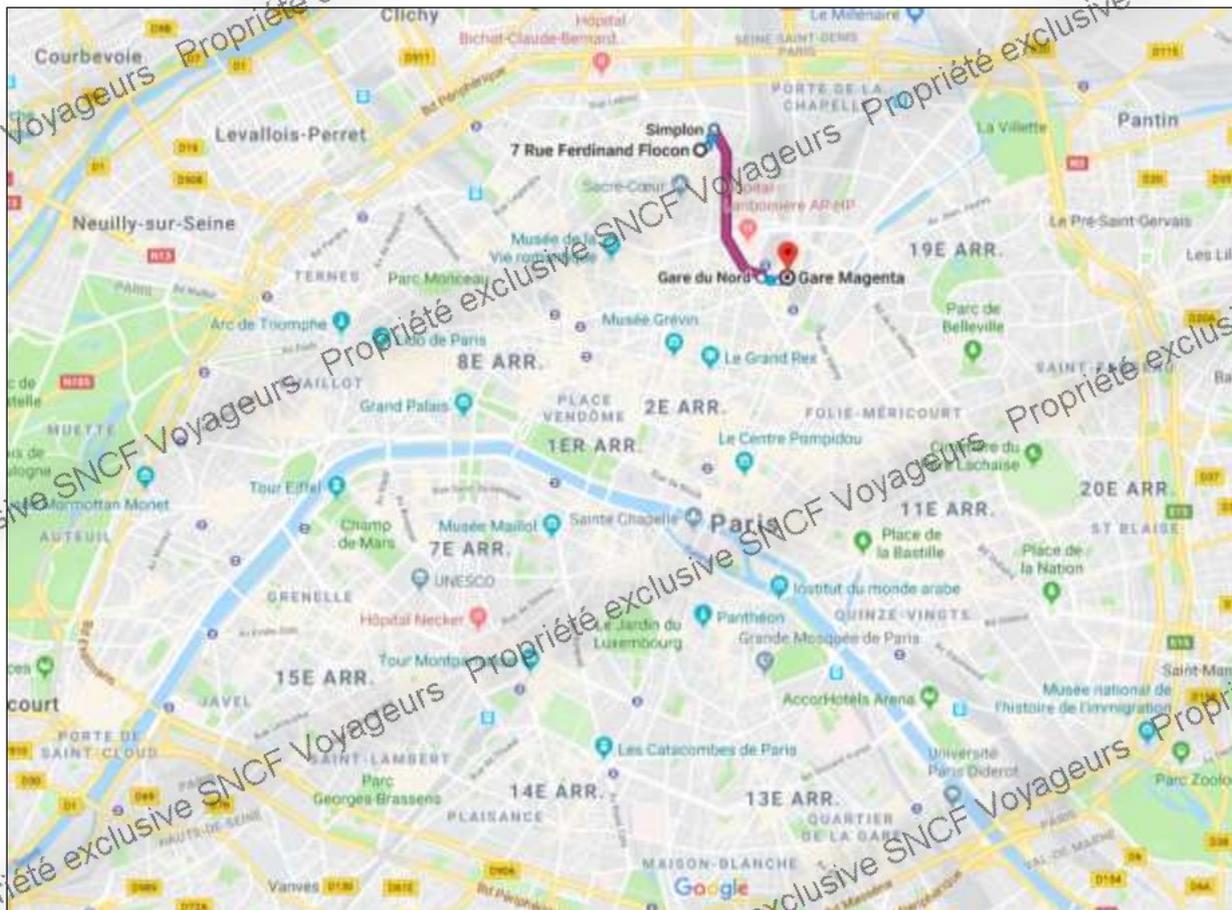


Figure 12 Localisation de la station urbaine Airparif la plus proche de la gare de Magenta (source image : Google Maps)

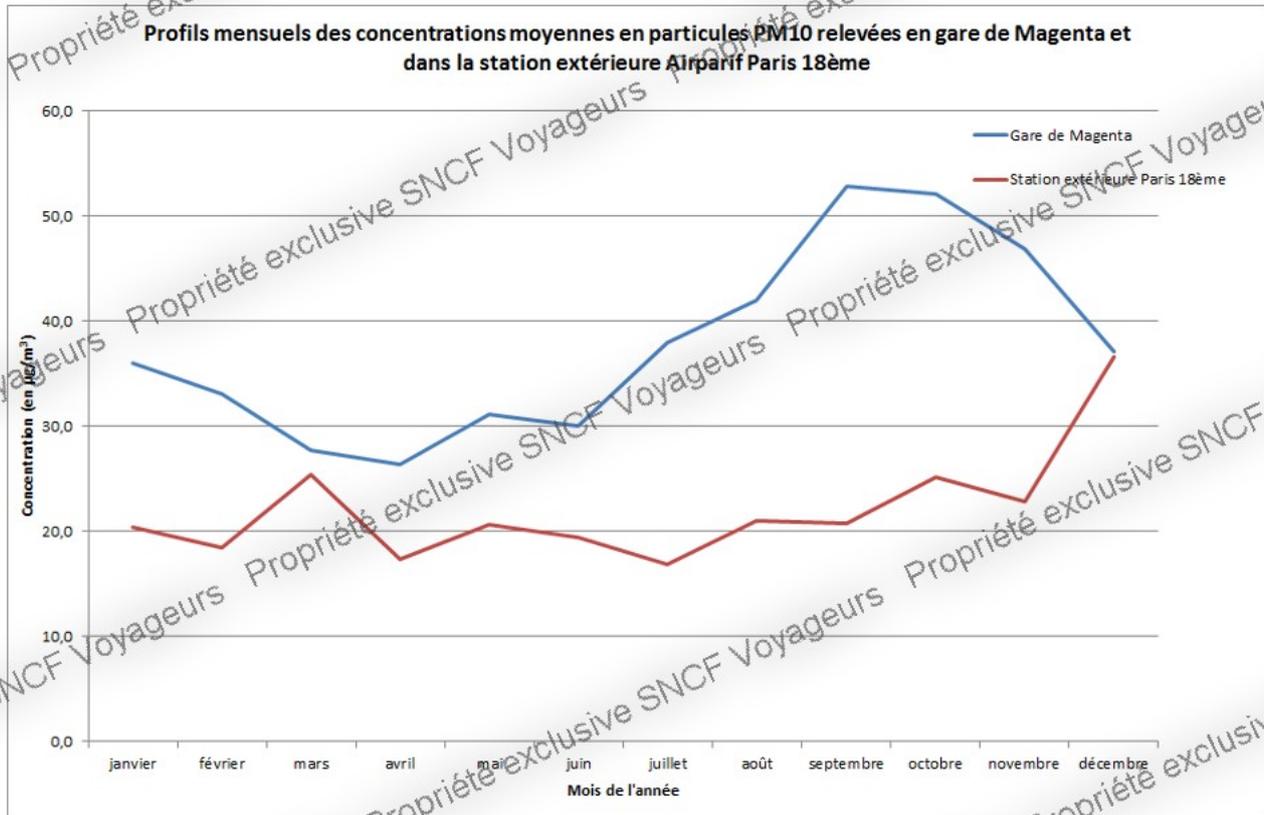


Figure 13 – Evolution mensuelle de la concentration en PM10 en gare de Magenta et en station urbaine Airparif

Bien que la qualité de l'air extérieur puisse influencer celle de l'air intérieur, la comparaison des courbes de la Figure 13 montre que l'impact de l'air ambiant sur celui de la gare de Magenta reste limité. On peut constater une certaine similitude dans l'évolution de la concentration en PM10 entre certains mois (janvier, avril, mai, août et novembre).

Cependant, l'intensité de cette évolution n'est pas la même. Pour le mois de décembre, pour lequel il y a une forte concentration liée aux épisodes de pollution, on constate une diminution de la concentration en particules en gare. Un équilibre est alors atteint entre les niveaux mesurés en station urbaine et en gare de Magenta. Il en est de même pour les concentrations en PM10 observées au mois de mars, avec une augmentation de la concentration en air ambiant alors que les concentrations moyennes en gare de Magenta montrent une tendance à la baisse.

4.4 - Paramètres de confort

Les paramètres de confort (température ambiante et humidité relative) ont été mesurés durant toute la période de la campagne de mesure. Le traitement des données de température et d'humidité relative à partir des relevés quart-horaires sont présentées dans la boîte à moustaches en Figure 14.

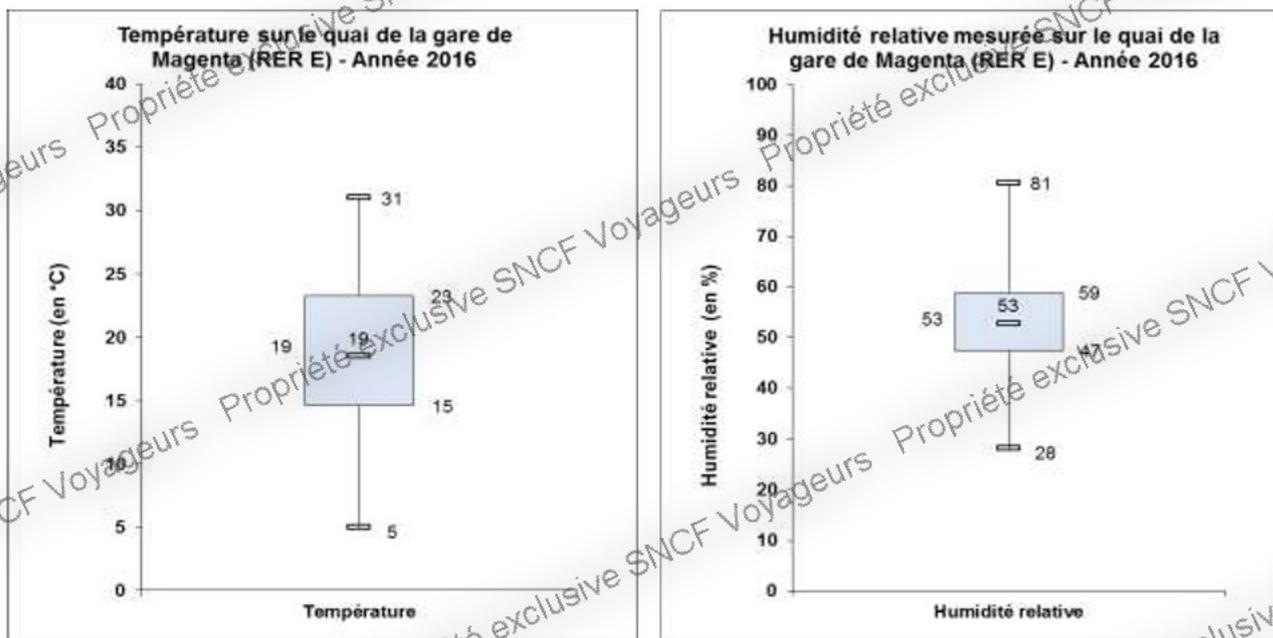


Figure 14 - Boîte à moustaches des relevés quart-horaires en température ambiante (en °C) et en humidité relative (en %) en gare de Magenta pour l'année 2016.

La température moyenne en gare de Magenta est de 19°C, avec des valeurs mesurées comprises entre 5 et 31°C.

L'humidité relative moyenne en gare de Magenta est quant à elle de 53%, avec des valeurs mesurées comprises entre 28 et 81%.

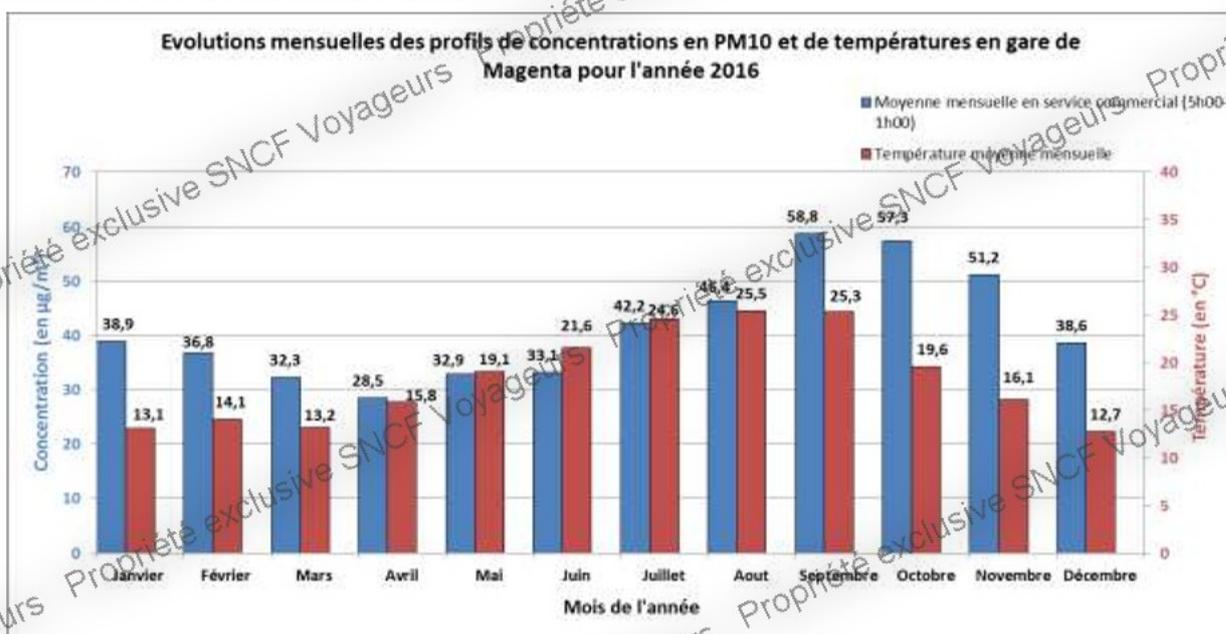


Figure 15 - Profils de concentrations en PM10 et de températures en gare de Magenta pour l'année 2016

La Figure 15 présente sur un même graphique, l'évolution mensuelle des concentrations en particules PM10 et des températures mesurées en gare de Magenta pour l'année 2016.

Sur la période de **janvier à avril**, les concentrations en PM10 montrent une tendance à la baisse. Les concentrations passent progressivement de d'environ **40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ à environ 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , alors que les températures moyennes **restent stables entre 13 et 16°C**.

Sur la période mai à août, les concentrations en particules ont d'abord été **stables de mai à juin autour de 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , pour ensuite connaître une hausse avec une concentration moyenne en PM10 sur la période **juillet-août d'environ 46 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Durant la période de mai à août, la température n'a cessé d'augmenter pour atteindre un **niveau moyen mensuel maximum**, en août, avec une température de **25,5°C**.

La période **septembre-octobre** a précédemment été identifiée comme étant la période avec des concentrations en particules les plus importantes de l'année, proches de **60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . En parallèle, la température moyenne mensuelle en gare de Magenta au mois de septembre est très proche de celle du mois d'août (25,3 °C en septembre contre 25,5 °C en moyenne sur le mois d'août), puis une baisse importante des températures est notée au mois d'octobre, marquant le début de la période automnale. La température moyenne mensuelle au mois d'octobre est de 19,6 °C alors que la concentration moyenne en PM10 reste proche de **60 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

Les mois de **novembre et décembre** sont marqués par une baisse conjointe des températures moyennes et des concentrations moyennes en PM10. Pour le mois de novembre, les concentrations moyennes en PM10 restent élevées par rapport au reste de l'année, **de l'ordre 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , alors que la **température moyenne a baissé** pour atteindre un niveau très proche des températures mesurées sur les quatre premiers mois de l'année, d'environ 15°C en moyenne.

Influence des conditions météorologiques extérieures (paramètre température)

Il a été mentionné en paragraphe 4.3.1 que les conditions météorologiques extérieures peuvent influencer de manière favorable ou défavorable les niveaux de pollution vis-à-vis de certains polluants.

Dans son bilan annuel relatif à la pollution de l'air en Île-de-France publié en 2016, l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Île-de-France, Airparif, révèle que « *Au-delà de l'évolution des émissions, l'impact des conditions météorologiques d'une année à l'autre est très marqué sur les particules (PM10 et PM2,5) en raison de l'importance de la chimie atmosphérique et des phénomènes de transferts inter-régionaux pour ces polluants* » .

Les données météorologiques contenues dans ce bilan annuel relatif à l'année 2016, montrent que : « *l'année 2016 illustre une situation météorologique globalement proche de la normale, marquée toutefois par deux semestres bien contrastés* ». Il ressort également de ce bilan que « *L'année 2016 a débuté avec des températures moyennes mensuelles très douces, plaçant ainsi l'hiver 2015-2016 au premier rang des hivers les plus chauds depuis le début des relevés thermométriques franciliens. Le reste de l'année s'est révélé globalement sans excès, avec toutefois une succession d'épisodes de*

fraîcheur (cas du mois de mars) et de chaleur record (en août et septembre) sur l'ensemble de la région Île-de-France ».

Enfin il apparaît que « Les conditions anticycloniques puissantes et durables qui ont régné sur l'Île-de-France tout au long du mois de décembre 2016 [...] cette situation météorologique a été propice à une élévation importante des niveaux de concentrations en particules PM10. »

Conclusion :

L'examen de l'évolution des profils de températures et des concentrations en PM10 en gare de Magenta montre qu'il n'existe pas de corrélation directe entre les deux paramètres. Deux exemples peuvent illustrer ce constat :

La différence de concentrations en PM10 lors des mois d'août et de septembre alors que la température moyenne est similaire. La différence entre les températures moyennes mesurées lors des mois de septembre et novembre ou encore août et novembre, alors que les concentrations en PM10 restent respectivement assez proches pendant les mois concernés.

Les informations relatives aux conditions météorologiques extérieures et notamment en matière de température montrent certaines analogies entre la température extérieure et la température mesurée en gare mais ces phénomènes n'expliquent pas les différences mesurées en matière de polluants particuliers (PM10 et PM2,5).

La hausse des niveaux de concentrations mesurés en septembre et octobre 2016 est probablement en lien avec des phénomènes particuliers survenus en gare dont l'origine n'a pas pu être identifiée.

5 - CONCLUSION

Ce rapport présente les niveaux de concentration observés en gare de Magenta pour les particules PM_{2,5} et PM₁₀ dans le cadre de la campagne de mesure réalisée en continu sur l'année 2016. La gare de Magenta constitue un site de référence, tout comme la gare de Saint-Michel Notre Dame instrumentée par Airparif, dans le cadre du partenariat avec SNCF Gares d'Île-de-France. La comparaison des données sur les deux sites de référence (Magenta – Saint-Michel Notre Dame) n'a pas été effectuée en 2016 en raison de l'absence de station de mesure sur le site de Saint-Michel Notre Dame sur le premier semestre 2016.

La concentration moyenne annuelle en gare de Magenta sur l'ensemble de la période de mesure a été de **38 µg/m³ en PM₁₀ et de 13 µg/m³ en PM_{2,5}**. La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré que les niveaux de particules ont été plus importants au **second semestre, avec des concentrations maximales aux mois de septembre et octobre 2016**. L'évolution des profils hebdomadaires a montré l'existence de différences de niveaux particulaires mesurés entre les jours ouvrés et les week-ends : une baisse de l'ordre de **20% pour les PM₁₀ et de 15% pour les PM_{2,5} est observée les week-end par rapport aux jours ouvrés**. Le détail des profils journaliers a révélé l'existence de deux pics de concentrations en particules mesurés aux heures de pointes du matin (8h-12h) et du soir (18h-22h). Ces profils ont révélé également une chute des niveaux mesurés la nuit, lors de la période de fermeture de la gare.

La circulation ferroviaire et la fréquentation voyageur sont les principaux paramètres ayant permis d'étayer les niveaux en polluants particulaires observés en gare de Magenta au vu de sa configuration (gare souterraine, construite à 30 mètres de profondeur, équipée d'un système de ventilation de confort). L'examen des données produites en 2017 permettra d'en apprendre plus sur les différences de niveaux observés.

ANNEXES

RAPPORT

SITE DE MESURES DE PARTICULES EN CONTINU EN GARE DE MAGENTA (2016)

SOMMAIRE DES ANNEXES

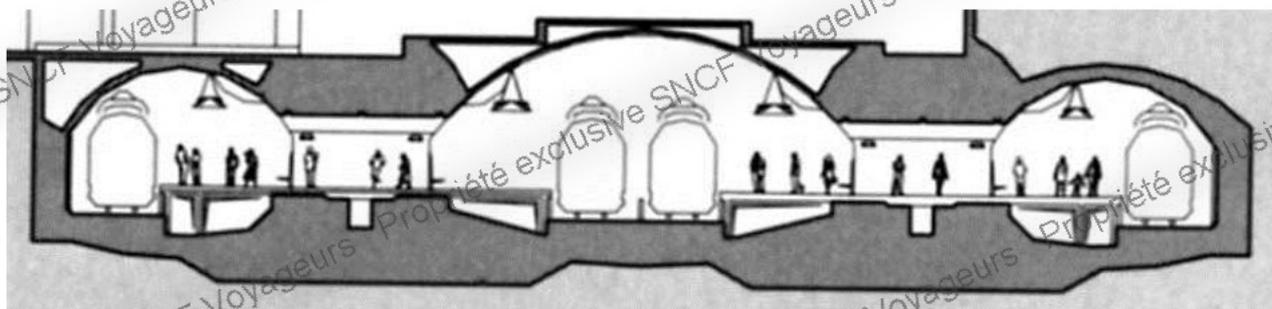
ANNEXE 1 : Descriptif de la gare de Magenta	33
ANNEXE 2 : Localisation du point de mesure	34

GARE DE MAGENTA (RER E)

Caractéristiques architecturales

Le niveau des quais est situé à 30,1 m sous le niveau de la rue (rue du Faubourg Saint Denis). La gare comporte 2 quais et 4 voies (51, 52, 53 et 54) sur béton. Les quais comprennent un tunnel central (section 50 m²) à deux voies et deux tunnels latéraux (section 32 m²), chacun à une voie (voir coupe ci-dessous). Le volume au niveau des quais, calculé par l'AREP en 2011, est de 49 248 m³.

Les circulations ferroviaires s'effectuent dans les 3 tubes selon les besoins. Aux heures de pointes, les 4 voies sont utilisées. Aux heures creuses, les 2 tubes latéraux sont utilisés et des rames terminus stationnent dans le tube central. Ces divers mouvements induisent des mouvements d'air variables, en particulier dans les passages reliant les quais.



Vue en coupe des quais de la gare de Magenta

La gare comporte également deux grands ensembles reliant les quais à la gare du Nord et au quartier proche de la gare de l'Est :

- le « pôle Saint Denis » qui comprend un niveau supérieur, une passerelle intermédiaire et un niveau inférieur ;
- le « pôle Alsace » qui comprend une terrasse haute, une terrasse médiane et une terrasse basse.

Matériel roulant

Le type de matériel circulant en service commercial en gare de Magenta est constitué des rames MI2N (Z22 500) ainsi que des rames NAT (Z50 000).

En conditions normales de circulation, le nombre de trains par jour ouvré est de 432.

Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la gare accueille chaque année 76401 voyageurs montants par jour ouvrable (2016).



Photographie 1 : Vue générale de la gare



Photographie 2 : Emplacement de la baie de mesure