

RAPPORT

**MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE
MAGENTA - 2023**

Référence AEF : DOC064042-00 / MES025616

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

GARES & CONNEXIONS

A l'attention de Anais WATBLED

10 rue Camille Moke

93210 SAINT-DENIS

France

MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE MAGENTA - 2023

Résumé :

L'Agence d'Essai Ferroviaire réalise depuis 2016 des mesures de la qualité de l'air en gare de Magenta (site en continu). Les mesures portent sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5. Les concentrations moyennes annuelles en PM10 et PM2,5 pour l'année 2023 ont été respectivement de 97 et 38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La comparaison des données disponibles en 2023 avec les exercices 2021 et 2022 a montré des concentrations moyennes en PM10 et PM2,5 proches, si l'on exclut les mois de juillet et août 2023. La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré des variations importantes des niveaux de particules mesurés notamment lors de la période estivale (juillet et août) qui a montré les concentrations moyennes mensuelles les plus importantes de l'année 2023. Une décroissance des concentrations s'en est suivie jusqu'à obtenir des niveaux inférieurs à ceux mesurés avant la période estivale. Une augmentation de l'ordre de 24% pour les PM10 contre 36% pour les PM2,5 des concentrations moyennes est observée pour l'année 2023 par rapport à l'exercice 2022.

Elaboration du rapport

Rédacteur

Nom : BRUN Ghislain

Fonction : Technicien supérieur

Vérificateur

Nom : GHOZZI Fayes

Fonction : Ingénieur spécialiste

Approbation du rapport

Nom : ARRIGONI Vincent

Fonction : Responsable de pôle

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 précédentes.

Afin d'en empêcher l'usage accidentel, nous vous demandons de détruire les versions précédentes.

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
Airparif Site internet : https://data-airparif-asso.opendata.arcgis.com	Données brutes et évènements sur la station Airparif Paris 18eme.

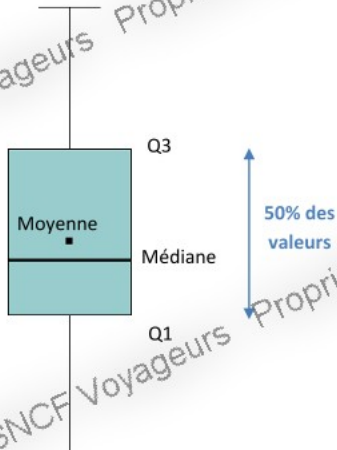
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC047931-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2016)
DOC049057-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2017)
DOC050453-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2018)
DOC054177	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2019)
DOC056443	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2020)
DOC058559	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2021)
DOC061271	Site de mesure de particules en continu en gare de Magenta (2022)
DOC064043	Site de mesure de particules en continu en gare de Sevrans - Beaudottes (2023)

SYMBOLES ET ABRÉVIATIONS

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

DÉFINITIONS

Termes	Définitions
Boîte à moustaches	<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.  <p>Le diagramme illustre une boîte à moustaches. Une boîte rectangulaire est centrée sur une ligne horizontale. À l'intérieur de la boîte, une ligne horizontale est étiquetée 'Médiane'. Un point noir est placé sur cette ligne et est étiqueté 'Moyenne'. Les coins inférieurs de la boîte sont étiquetés 'Q1' et 'Q3'. Des lignes verticales (moustaches) s'étendent de la boîte vers le haut et vers le bas. À droite de la boîte, une double flèche verticale indique la hauteur de la boîte, avec le texte '50% des valeurs' à côté.</p>
Coefficient de Pearson	Le coefficient de corrélation linéaire simple, dit de Bravais-Pearson (ou de Pearson), est une normalisation de la covariance par le produit des écarts-type des variables définition (définition Université Lumière Lyon 2).
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)
Etendue	Une étendue est l'écart entre la plus petite et la plus grande des valeurs observées.
Ecart interquartile	L'écart interquartile est défini comme la différence entre le quartile supérieur (75e percentile) et inférieur (25e percentile) d'une série statistique.
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	Particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 2,5 micromètres (μm)
TEOM	Tapered Element Oscillating Microbalance (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	8
2.5 - Méthodologie d'acquisition et de gestion des données	9
2.6 - Données complémentaires	10
3 - Résultats et commentaires	11
3.1 - Niveaux moyens observés sur le quai en gare de Magenta	11
3.2 - Variabilité temporelle	13
3.3 - Comparaison des principaux résultats avec les campagnes antérieures	20
4 - CONCLUSION	26
ANNEXES	27
SOMMAIRE DES ANNEXES	28

1 - OBJET

La Direction Exécutive des Gares d'Île-de-France (DEX GIF) a sollicité l'Agence d'essai ferroviaire (AEF) concernant la réalisation de différentes études relatives à la pollution particulière 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 mesure 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 la SNCF s'est impliquée depuis 2000. La gare de Magenta a fait l'objet de plusieurs campagnes de mesures de polluants gazeux et particuliers, 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 étudiant les facteurs d'influence. Il n'existe pas de réglementation spécifique à la surveillance de la qualité de l'air dans les EFS, ni de norme en vigueur dans ces lieux recevant du public.

Le présent rapport restitue les résultats relatifs à l'exploitation du site de mesure en continu des particules PM10 et PM2,5 dans la gare de Magenta pour l'année 2023.

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. La gare comporte également deux grands ensembles reliant ses 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 32 m²), chacun à une voie. Un système de ventilation mécanique est en place et assure une ventilation de deux types : désenfumage et confort. Ce dernier fonctionne en mode été en continu pour renouveler l'air au niveau des quais de la gare.

Le volume de voyageurs en Gare de Magenta (RER E) est de 3 484 060 voyageurs en moyenne mensuelle en 2023 (théorique) et 9 065 trains y circulent chaque mois en moyenne.

Un descriptif des caractéristiques la gare figure en Annexe 1.

2.2 - Polluants mesurés

Les mesures ont porté sur les concentrations en particules en suspension dans l'air avec la mesure des fractions PM10 et PM2,5 mais aussi sur la température et le taux d'hygrométrie sur le quai. Les particules font partie des polluants parmi ceux mesurés réglementairement dans l'air extérieur, dont les concentrations sont plus élevées en général dans les EFS que dans l'air ambiant extérieur, en particulier sur les quais souterrains.

Ces 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 mesure en continu mis en place en gare de Magenta est équipé d'un analyseur automatique de particules (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 – ou microbalance à élément conique oscillant) repose 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 PM_{2,5}). L'analyseur automatique renseigne les concentrations en particules, en masse, 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 mesure a été installé sur le quai de la voie 51 dans le sens de circulation Paris-banlieue, en direction de Chelles - Gournay et de Villiers-sur-Marne. Le point de mesure est situé 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, février 2006, site en continu de 2016 à 2022). Cet emplacement se situe au milieu du quai, ce qui permet d'obtenir les données les plus représentatives. La localisation du point de mesure figure en **Annexe 2**.

Le site de mesure fonctionnant en continu, ce rapport détaille les mesures effectuées du 01/01/2023 au 31/12/2023 inclus.

Cette période d'un an permet d'avoir suffisamment de données collectées et validées donnant une robustesse aux statistiques présentées dans les résultats.

Les rapports annuels sont déjà disponibles pour les années précédentes de 2016 à 2022.

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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les deux tailles de particules.

2.5.2 - Protocole de surveillance et de 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 pallier 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 d'un boîtier 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 des données brutes collectées par le TEOM. Les données brutes sont mises en base sur les serveurs de l'AEF au moyen d'un logiciel de traitement associé. Celui-ci permet de mettre en évidence par un code de couleur, la qualité de la donnée brute fournie par l'analyseur de particules et d'effectuer par la suite une validation des données. Ainsi 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

supérieures à 15 minutes traduisant un arrêt de l'alimentation électrique (valeurs manquantes) sont renseignées dans l'interface logiciel.

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 nécessaires pour maintenir la qualité des mesures.
à des arrêts des analyseurs pour cause de travaux en gare (gare fermée au public pendant ces travaux).

Les données validées de concentrations en particules, température et hygrométrie sont ensuite exportées au sein de fichiers Excel sous forme de rapports hebdomadaires simplifiés. Ces rapports simplifiés contiennent la mise en forme des données à travers des tableaux de moyennes horaires et quarts horaires ainsi que des tableaux de moyennes par périodes (24 heures, nuit, pointes du matin et du soir, service commercial). Le fichier final comporte l'ensemble de ces éléments sur une semaine d'acquisition de données.

2.6 - Données complémentaires

Des données complémentaires ont été collectées en parallèle de l'exploitation des résultats de mesures. Ces données figurent en annexes.

En **Annexe 3**, une comparaison mensuelle entre le trafic ferroviaire et les concentrations moyennes montre une similitude des profils pour une majorité de l'année.

En **Annexe 4**, une représentation schématique de la ventilation en gare de Magenta décrit le fonctionnement global de l'apport et de l'extraction d'air en gare.

En **Annexe 5**, une comparaison entre les concentrations moyennes mensuelles en PM10 en gare et en extérieur fait apparaître les différences entre les deux environnements.

En dernier lieu, l'**Annexe 6**, traite des paramètres de confort mesurés que sont l'hygrométrie et la température en gare.

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 en 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 (voir en page 5).

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

Le traitement des données de concentrations en moyenne horaire en particules PM10 et PM2,5 est présenté sous forme de boîte à moustaches pour l'année 2023 en **Figure 2** avec les valeurs statistiques remarquables dans le **Tableau 1**.

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

PM10 et PM2,5 sur le quai de Magenta (RER E) - Année 2023

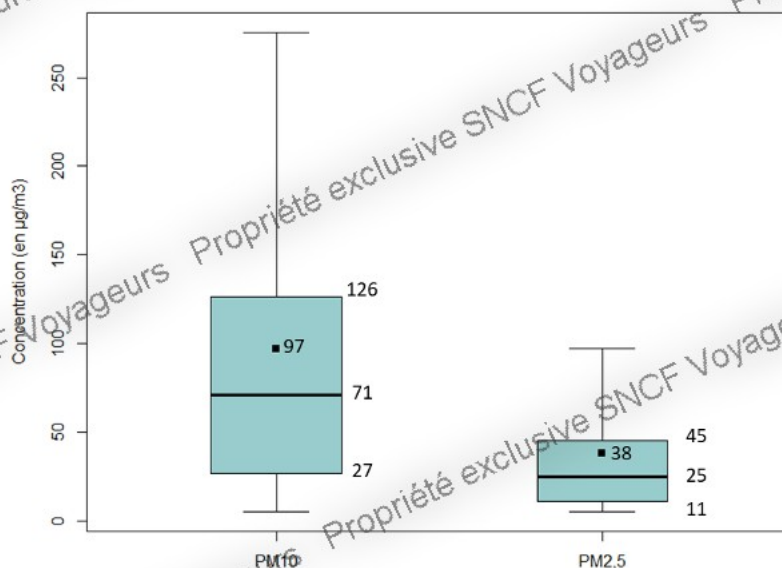


Figure 2 - Boîtes à moustaches des concentrations en moyennes horaires en PM10 et en PM2,5 exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Magenta pour l'année 2023

Il est à noter que les valeurs aberrantes ont été retirées de la représentation des données en boîtes à moustaches pour simplifier la lisibilité. Cependant le **Tableau 1** fournit les principales valeurs statistiques et tient compte des maximums mesurés pour chacune des fractions de particules.

Tableau 1 – Valeurs statistiques remarquables des concentrations moyennes horaires en PM10 et PM2,5 en gare de Magenta 2023

	PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM2,5 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Minimum	5	5
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	27	11
Médiane	71	25
Moyenne	97	38
3 ^{eme} quartile ou percentile 75 (Q3)	126	45
Maximum	2005	560

Les boîtes à moustaches montrent une asymétrie positive de la distribution des concentrations pour les particules PM10 et PM2,5. Cela se traduit par une moustache supérieure plus importante que la moustache inférieure et par des concentrations moyennes supérieures aux valeurs médianes pour chaque fraction de particules. D'une manière générale cela témoigne de l'influence sur les concentrations moyennes de l'existence de valeurs maximales très élevées. Concernant les PM10, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **27 et 126 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , avec une moyenne de **97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane de **71 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Pour les PM2,5, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **11 et 45 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , avec une moyenne de **38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane à **25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . La proportion moyenne de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de **44%**, **soit un ratio moyen PM2,5/PM10 de 0,44** calculé à partir des ratios horaires PM2,5/PM10 tout au long de l'année. A titre de comparaison, durant l'année 2023, le ratio moyen PM2,5/PM10 a été de 0,69 en extérieur. Ce ratio a été calculé d'après les données extraites en 2023 de la station Airparif Paris 18 – Paris 18^{eme} qui est une station urbaine de fond au nord de Paris. Ces résultats montrent qu'en air extérieur la proportion de PM2,5 comparé aux PM10 est plus importante qu'au niveau des quais de la gare de Magenta.

Les concentrations maximales en PM10 et PM2,5 ont été mesurées lors de la journée du mardi 27 juin 2023 de 3h00 à 4h00 et sont isolées. La concentration en PM10 a atteint **2005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en moyenne horaire soit **plus de 20 fois la concentration moyenne annuelle** mesurée en gare de Magenta. La concentration en particules fines PM2,5 maximale mesurée durant l'année a atteint **560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** **soit plus de 14 fois la concentration moyenne annuelle en PM2,5.**

Conclusion :

Les concentrations moyennes annuelles en PM10 et en PM2,5 sont respectivement de **97 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et **38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les concentrations horaires maximales mesurées pour chacune des deux fractions de particules PM10 (**2005 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**) et PM2,5 (**560 $\mu\text{g}/\text{m}^3$**) ne sont pas représentatives d'une situation ordinaire et sont nettement supérieures aux concentrations moyennes mesurées en gare de Magenta. Ces concentrations ont été mesurées le mardi 27 juin 2023 de 3h à 4h et sont des valeurs isolées dont l'origine n'a pu être formellement identifiée bien que l'hypothèse la plus probable pouvant être formulée soit la circulation ou le stationnement d'un train de travaux dans ou à proximité de la gare de Magenta.

3.2 - Variabilité temporelle

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

3.2.1 - Variabilité mensuelle

Les profils mensuels des concentrations en particules PM10 et PM2,5 mesurées en gare de Magenta sont présentés en **Figure 3**.

Les niveaux moyens mensuels 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 circulation des trains de voyageurs en dehors des périodes d'ouverture de la gare. Les niveaux observés en service commercial sont plus importants (+14,4% en moyenne sur l'année pour les PM10 et +13,9% en moyenne sur l'année pour les PM2,5) que ceux observés sur 24 heures car ils incluent les périodes de mesures de nuit durant lesquelles une décroissance des concentrations en particules est observée quotidiennement.

Propriété exclusive SNCF Voyageurs

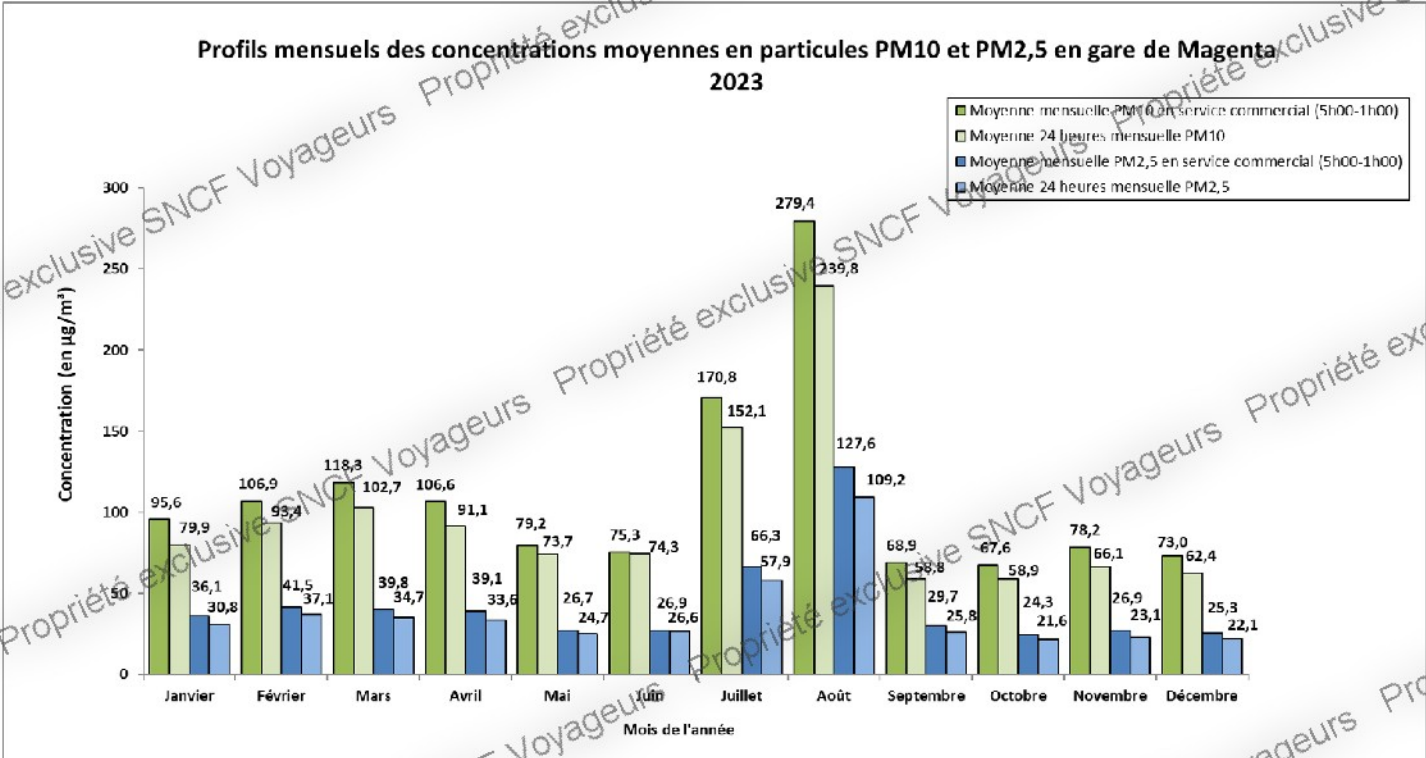


Figure 3 - Evolution des profils mensuels en PM10 et en PM2,5 exprimés en µg/m³ en gare de Magenta (RER E) pour l'année 2023.

R-M-RF_V1 du 13/02/2024
OR DOC064042

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

Trois périodes distinctes ont été identifiées tout au long de l'année 2023 :

- La période de janvier à juin ;
 - La période de juillet à août ;
 - La période de septembre à décembre.
- Sur la période de janvier à juin, des variations relativement conséquentes des concentrations moyennes mensuelles ont été observées avec des concentrations maximales mesurées autour des mois de février et mars 2023 selon la fraction de particules considérée. Durant cette période les concentrations moyennes mesurées en service commercial sont comprises entre 75,3 et 118,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et entre 26,7 et 41,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5. Pour les PM10, les concentrations moyennes mensuelles ont progressivement augmenté entre les mois de janvier à mars (hausse totale de 23,7%), pour atteindre la concentration moyenne mensuelle la plus élevée du 1^{er} semestre en mars (118,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations vont ensuite décroître d'abord progressivement entre mars et avril (baisse de l'ordre de 10% pour une concentration de 106,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) avant de connaître une décroissance plus marquée entre les mois d'avril et mai (baisse de 25,7% pour atteindre 79,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Le mois de juin est quant à lui caractérisé par les concentrations moyennes mensuelles en PM10 les plus faibles du 1^{er} semestre (75,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Pour la fraction de particules PM2,5, les concentrations les plus importantes ont été mesurées lors du mois de février 2023 (41,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations ont ensuite été en légère baisse durant les mois de mars et avril (respectivement 4,1% (39,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) et 5,8% (39,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$)) avant de décroître de manière plus marquée entre les mois d'avril et mai (baisse de 31,7%) pour atteindre la concentration moyenne mensuelle la plus faible du 1^{er} semestre (26,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).
- Sur la période de juillet à août, de fortes augmentations des concentrations sur les deux fractions de particules apparaissent : les niveaux moyens de PM10 mesurés en août (279,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont 3,7 fois plus importants que ceux mesurés en juin (75,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations moyennes de PM2,5 mesurées en août (127,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont 4,7 fois plus importantes que celles mesurées lors du mois de juin (26,9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cette hausse importante de la pollution particulaire est probablement en lien avec différents événements liés à des travaux ayant eu lieu à proximité de la zone géographique de la gare mais pas directement en gare (travaux EOLE, transport de ballast et ballastage réalisé sans mouillage, ...).
- Sur la période septembre – décembre, les concentrations moyennes mensuelles ont montré des variations moins importantes que lors du 1^{er} semestre, et ont été comprises entre 67,6 et 78,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et entre 24,3 et 29,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5. Après la baisse importante des concentrations moyennes mesurées entre les mois d'août et de septembre ces dernières se sont stabilisées lors de la période septembre/octobre avant de montrer une légère hausse en novembre, qui montre les concentrations moyennes mensuelles les plus importantes sur la période septembre – décembre.

Les concentrations moyennes mensuelles les plus faibles de l'année ont été observées lors du mois d'octobre 2023 avec respectivement 67,6 et 24,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et les PM2,5.

L'écart entre la concentration mensuelle en service commercial la plus faible et la plus élevée est de 211,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 (67,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octobre contre 279,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en août) et de 103,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5 (24,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en octobre contre 127,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en août).

Conclusion :

Les résultats du premier semestre de l'année ont montré des variations de concentrations relativement conséquentes entre janvier et juin (compris entre 75,3 et 118,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et entre 26,7 et 41,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5).

Sur la période juillet - août, les concentrations ont fortement augmenté dès le mois de juillet (augmentation de l'ordre de trois et cinq fois pour les deux fractions de particules en service commercial entre les mois de juin et août). Ces mois correspondent à la période ayant les concentrations mensuelles les plus élevées de l'année 2023. Les concentrations les plus importantes ont dû être en lien avec différents événements liés à des travaux à proximité de la gare.

Lors du dernier quadrimestre les concentrations moyennes mensuelles mesurées ont été proches de celles observées durant la période printanière (mois de mai et juin).

Les concentrations moyennes mensuelles en particules en service commercial ont été les plus faibles lors du mois d'octobre 2023. Elles sont proches de 68 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et de 24 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5.

Le mois d'août est caractérisé par les concentrations moyennes en particules PM10 et PM2,5 les plus élevées de l'année avec une moyenne mensuelle maximale en service commercial de 279,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM10 et 127,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en PM2,5.

3.2.2 - Variabilité hebdomadaire

Les profils hebdomadaires en particules PM10 et PM2,5 (moyennes annuelles par jour) en gare de Magenta sont présentés en **Figure 4**.

Profils hebdomadaires des concentrations moyennes en particules PM10 et PM2,5 en gare de Magenta 2023

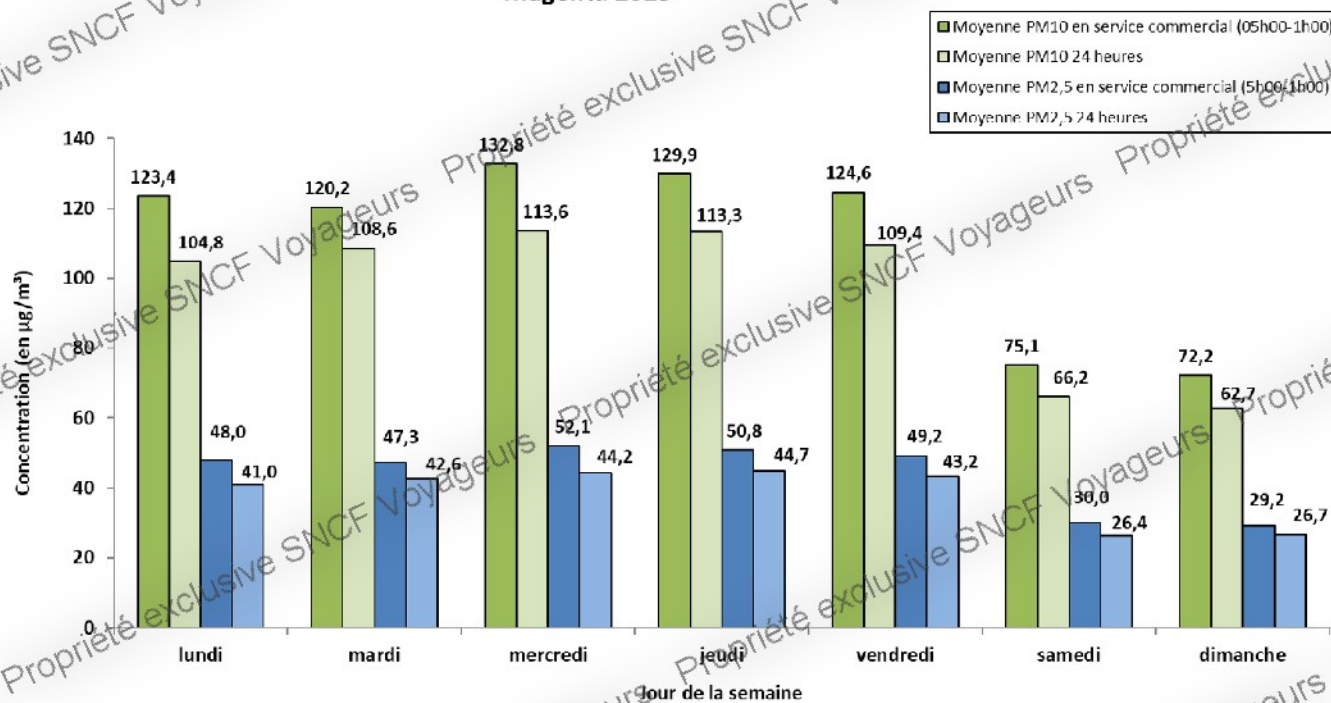


Figure 4 - Evolution des profils hebdomadaires en PM10 et en PM2,5 exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Magenta (RER E) pour l'année 2023.

DOC064042-00 / MES025616

Les niveaux moyens en particules sont relativement stables les jours ouvrés (du lundi au vendredi). Ces derniers se situent entre **120 et 133 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM10** et **sont de l'ordre de 47 à 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5** sur la période d'ouverture au public de la gare (moyenne en service commercial). Les niveaux moyens en PM10 mesurés sur l'ensemble des mercredis de l'année semblent légèrement plus importants que pour les autres jours de la semaine (hausse de l'ordre de 5%). Tandis que les niveaux moyens sur l'ensemble des mardis sont, au contraire, plus faibles (baisse de l'ordre de 5%).

Une diminution s'observe les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés aussi bien pour les concentrations en PM10 qu'en PM2,5. Elle est :

- **de l'ordre de 40%** pour les PM2,5 avec une concentration moyenne de $29,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- **de l'ordre de 41%** pour les PM10 avec une concentration moyenne de $73,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Ces résultats sont en partie liés à la baisse du nombre de trains en circulation durant les week-ends (447 trains en semaine contre 306 le samedi et dimanche, en moyenne).

3.2.3 - Variabilité journalière

Les profils journaliers des concentrations en particules PM10 et PM2,5 sont présentés en Figure 5. Ils représentent les niveaux moyens observés chaque heure de la journée pour les jours ouvrés sur l'ensemble de l'année 2023.

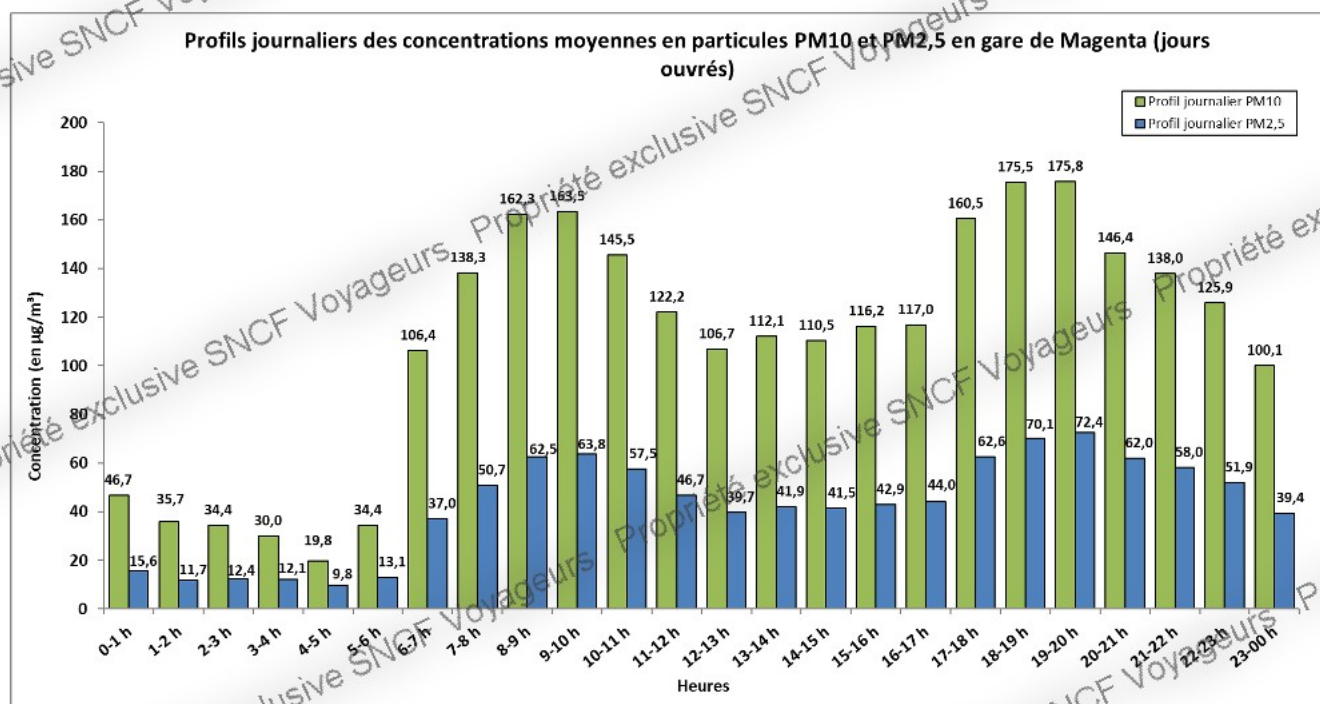


Figure 5 - Evolution des profils journaliers en PM10 et PM2,5 en gare de Magenta pour l'année 2023 (jours ouvrés)

Les profils journaliers présentés en **Figure 5** montrent une évolution comparable pour les particules PM10 et PM2,5 tout au long de la journée.

Les profils journaliers montrent 3 périodes importantes :

- une **période de pointe le matin**, approximativement de **7h00 à 11h00** avec une **moyenne horaire maximale sur les tranches 8h00-10h00** ;
- une **période de pointe le soir** d'environ **17h00 à 21h00** avec une **moyenne horaire maximale sur les tranches 18h00-20h00** ;

- une **période de fermeture de la gare au public de 01h00 à 05h00** (absence de circulations)

Durant les périodes de pointes, les concentrations horaires moyennes sont comprises entre **138 et 176 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les PM10 et entre **51 et 72 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les PM2,5.

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 environ **20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les PM10 et **10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** en PM2,5 juste avant la réouverture de la gare au public (4h-5h).

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.

3.2.4 - Variations horaires sur une semaine

Le détail des variations horaires des concentrations moyennes en particules sur une semaine (moyennes des 52 semaines de l'année 2023) est présenté en **Figure 6**.

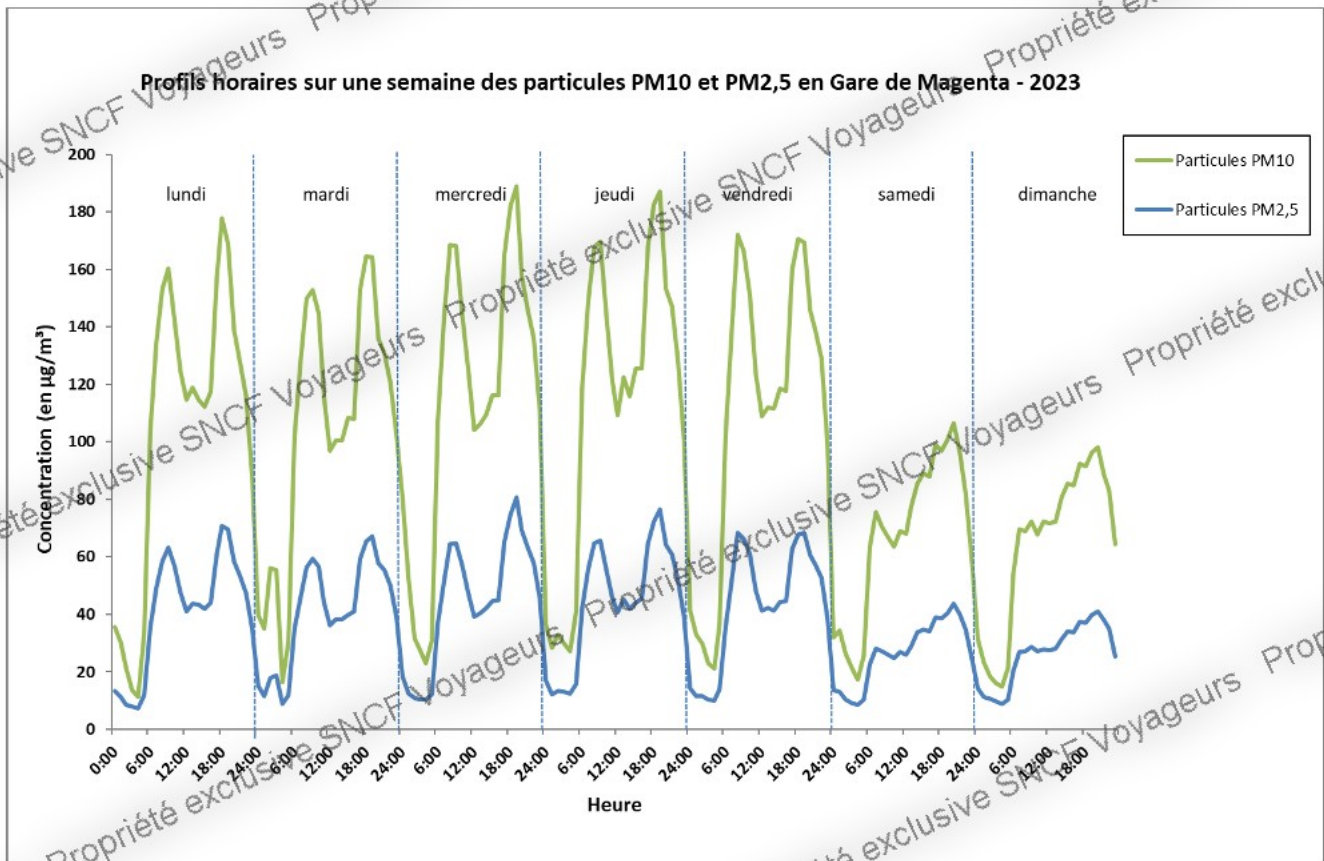


Figure 6 – Evolution des profils horaires sur une semaine complète en PM10 et en PM2,5 en gare de Magenta sur l'ensemble de l'année 2023

Ce graphique montre d'une part les variations journalières avec l'existence de deux pics de concentrations 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 les samedis et dimanches matin et atténuation des maximaux aux heures de pointe en fin de

journée). Cette représentation graphique des données complète les informations fournies en Figure 4.

3.3 - Comparaison des principaux résultats avec les campagnes antérieures

Les campagnes de mesures en continu réalisées de 2016 à 2023 ont permis de collecter des données en quantité suffisante chaque année, rendant possible la comparaison des résultats obtenus lors de ces six exercices sur divers pas de temps.

3.3.1 - Comparaison de la distribution des données

Les **Figures 7 et 8** et les **tableaux 2 et 3** permettent de confronter la distribution des données de PM10 et PM2,5 lors des campagnes effectuées ces dernières années entre 2016 et 2023.

PM10 sur le quai de Magenta (RER E) - Années de 2016 à 2023

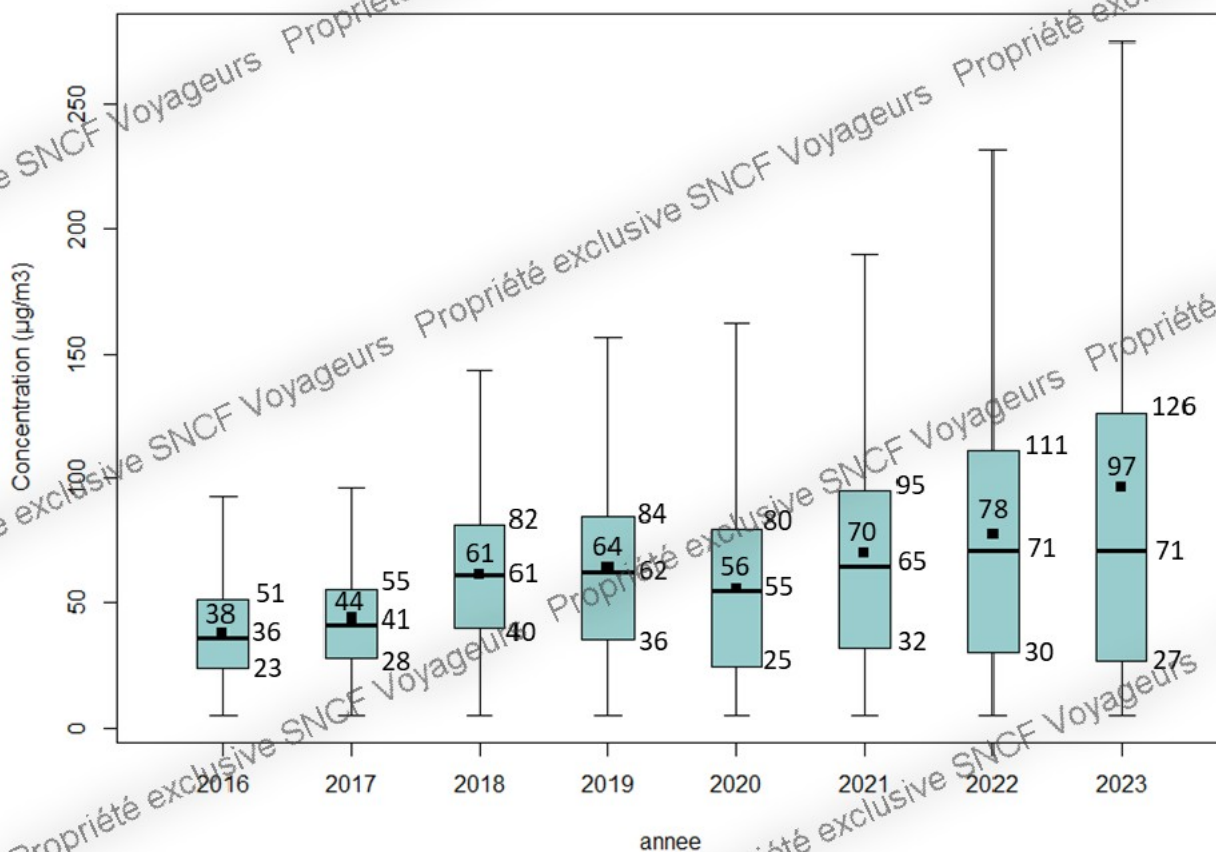


Figure 7 – Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM10 en gare de Magenta pour les années 2016 à 2023.

Tableau 2 – Valeurs statistiques particulières des concentrations moyennes horaires en PM10 en gare de Magenta de 2016 à 2023.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum	5	5	5	5	5	5	5	5
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	23	28	40	36	25	32	30	27
Médiane	36	41	61	62	55	65	71	71
Moyenne	38	44	61	64	56	70	78	97
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	51	55	82	84	80	95	111	126
Maximum	175	507	324	973	429	958	1483	2005

PM2,5 sur le quai de Magenta (RER E) - Années de 2016 à 2023

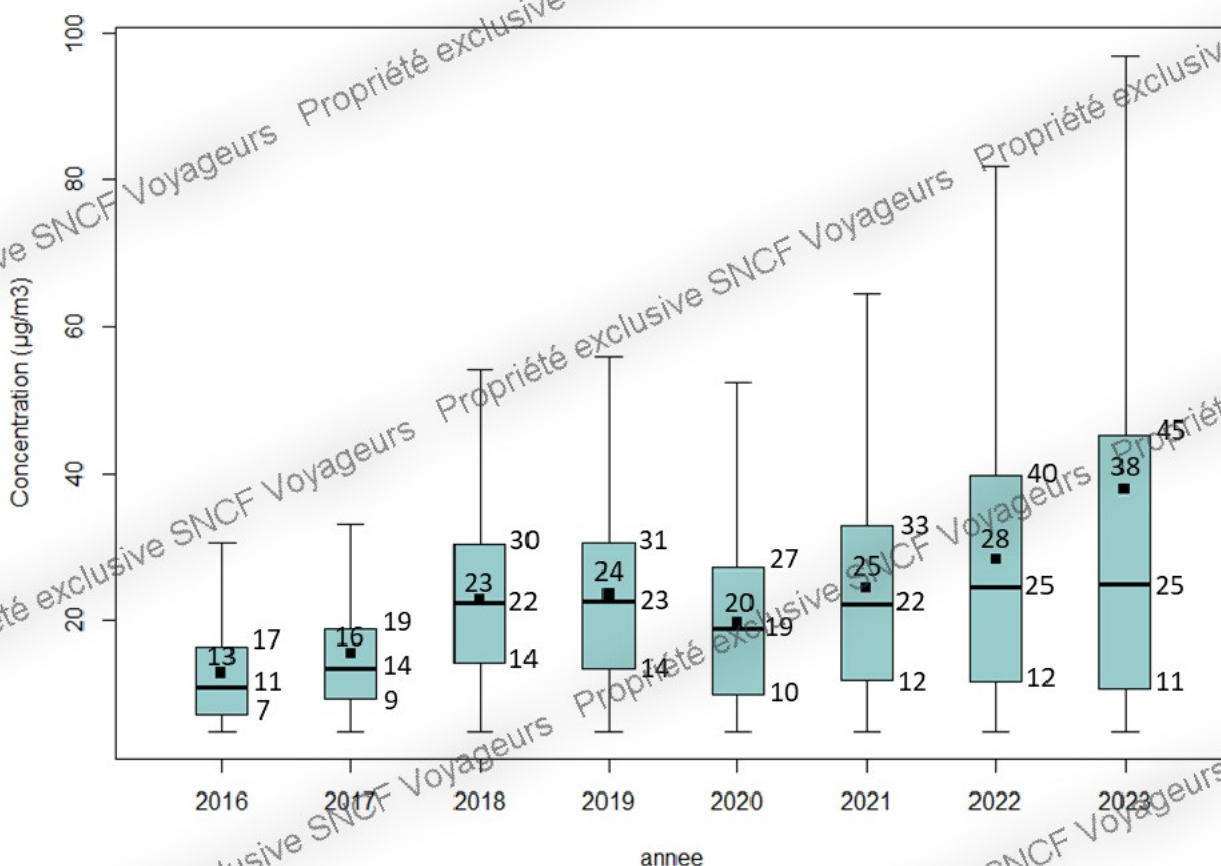


Figure 8 – Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM2,5 en gare de Magenta pour les années 2016 à 2023.

Tableau 3 – Valeurs statistiques particulières des concentrations moyennes horaires en PM2,5 en gare de Magenta de 2016 à 2023.

	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum	5	5	5	5	5	5	5	5
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	7	9	14	14	10	12	12	11
Médiane	11	14	22	23	19	22	25	25
Moyenne	13	16	23	24	20	25	28	38
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	17	19	30	31	27	33	40	45
Maximum	72	244	137	198	185	119	323	560

La dispersion des concentrations en PM10 et PM2,5 obtenue en 2023 est plus hétérogène¹ que celles des autres campagnes annuelles (de 2016 à 2022). Une augmentation des concentrations moyennes de l'ordre de 24% pour les PM10 et de 36% pour les PM2,5 est observée pour l'année 2023 par rapport à l'exercice 2022. Celle-ci est probablement en lien avec le fait que la gare n'ait pas été fermée pendant l'été et aux fortes concentrations mesurées lors des mois de juillet et août. En effet, en excluant les mois de juillet et août 2023, nous obtenons des moyennes annuelles très proches de l'activité 2022 (76,1 µg/m³ en PM10 et 28 µg/m³ en PM2,5 en 2023 et 78 µg/m³ en PM10 et 28 µg/m³ en PM2,5 en 2022 calculé sur une base 24h et non service commercial). Pour rappel cette comparaison avec 2022 a été réalisée car la gare a été fermée durant les mois de juillet et d'août pour cause de travaux (cf. DOC061271-00) impliquant l'arrêt des mesures et une comparaison des données sur des périodes identiques. En 2019, 2020, 2021 et 2022, des travaux voies et gare ont été réalisés et ont eu un impact sur les concentrations en particules mesurées en gare du fait de la nature des travaux (rehaussement des voies en béton).

La distribution 2023 est également en rupture avec celles des campagnes 2016 et 2017. Les concentrations moyennes de 2023 sont en hausse par rapport aux campagnes 2016 et 2017. En effet l'écart interquartile contenant 50% des données a plus que triplé par rapport à 2016-2017 ce qui montre une dispersion des données plus importantes entre les deux premières années de mesures en continu et les données collectées en 2023.

3.3.2 - Comparaison des données mensuelles

Les **Figures 9 et 10**, en pages suivantes, présentent respectivement les concentrations moyennes mensuelles en PM10 et PM2,5 en service commercial obtenues lors des campagnes 2021, 2022 et 2023 en gare de Magenta. Par souci de clarté, le choix s'est porté sur la représentation graphique et la comparaison des trois dernières années de données.

Les résultats des trois années de mesures en continu montrent des différences dans l'observation des profils mensuels de concentrations en PM10 et PM2,5. En 2023, la tendance générale est à la hausse par rapport aux années 2021 et 2022. Il reste toutefois compliqué de dégager des tendances générales puisque l'année 2021 a été une année spécifique du fait de la crise sanitaire ayant impacté fortement le nombre de trains en circulation et les fréquentations des voyageurs.

¹ Les paramètres statistiques tels que l'étendue et l'écart interquartile sont plus importants en 2023 que pour les autres années.

L'exploitation des profils mensuels en PM10 et PM2,5 de l'année 2023 montre les tendances suivantes :

- Lors du 1^{er} semestre (de janvier à juin), les concentrations mensuelles semblent suivre une même tendance durant les trois années avec pour principale différence des concentrations plus élevées attribuées à l'année 2023.
- Sur les quatre derniers mois en 2023, les concentrations en PM10 et PM2,5 sont inférieures aux années précédentes à l'exception du mois de décembre 2021.
- Pour les mois de juillet et août, des travaux d'été ont été réalisés en 2021 et 2022 entraînant une fermeture de la gare au public, ce qui n'a pas été le cas pour 2023.

Aucune valeur n'a été enregistrée durant les mois de juillet et d'août 2021 et 2022 du fait de la fermeture de la gare en raison des travaux d'été à Magenta.

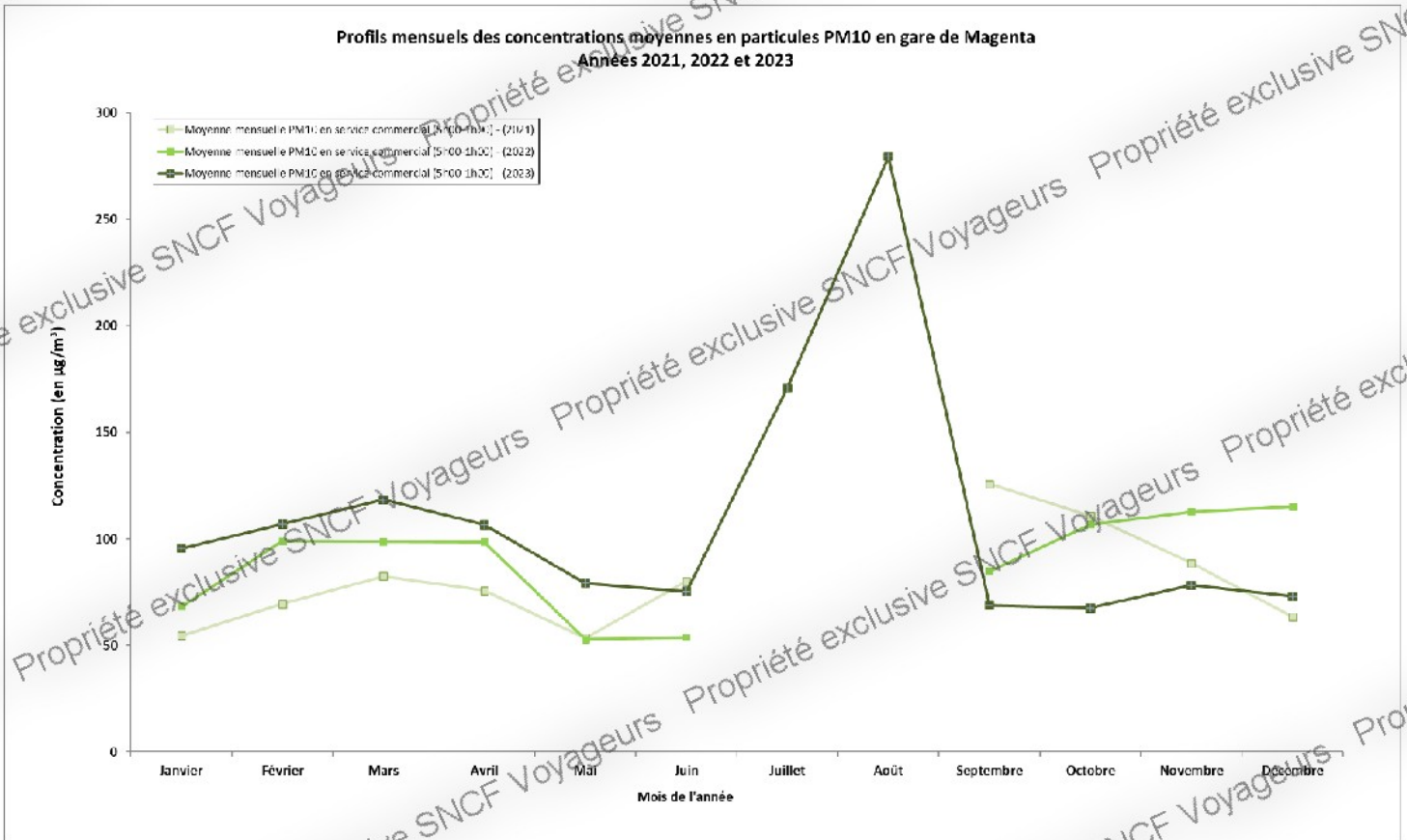


Figure 9 – Comparaison des profils mensuels de concentration en particules PM10 en gare de Magenta de 2021 à 2023

DOC064042-00 / MES025616

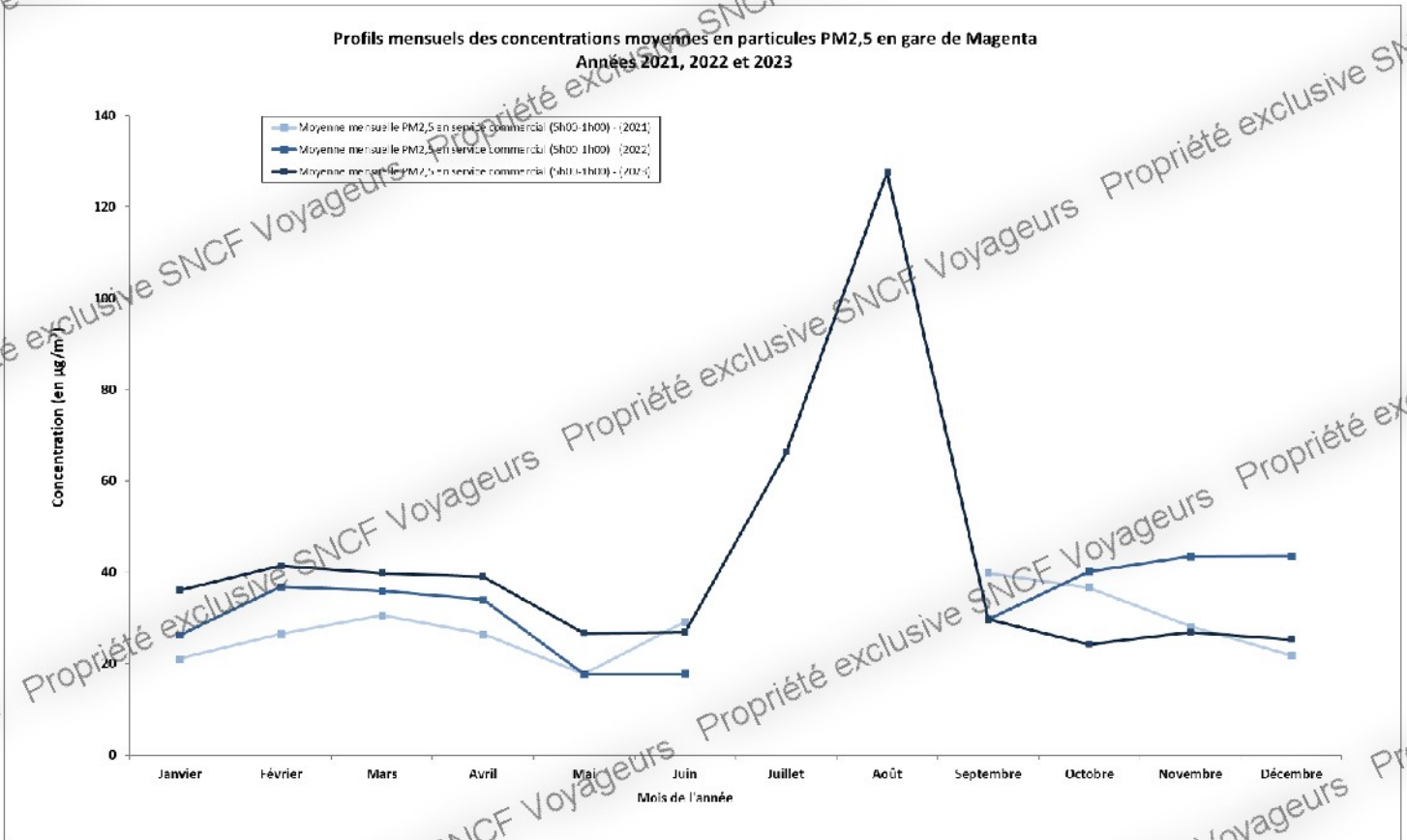


Figure 10 – Comparaison des profils mensuels de concentration en particules PM2,5 en gare de Magenta de 2021 à 2023

DOC064042-00 / MES025616

4 - 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 2023.

Les concentrations moyennes annuelles en gare de Magenta sur l'ensemble de la période de mesures ont été de **97 µg/m³ en PM₁₀ et de 38 µg/m³ en PM_{2,5}**. La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré des variations importantes des niveaux de particules mesurés notamment lors de la période estivale (juillet et août) qui a montré les concentrations moyennes mensuelles les plus importantes de l'année 2023. L'évolution des profils hebdomadaires a montré l'existence de différences des niveaux particuliers mesurés entre les jours ouvrés et les week-ends : une baisse de l'ordre de **41% pour les PM₁₀ et de 40% pour les PM_{2,5} est observée les week-ends 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 (7h-11h) et du soir (17h-21h). Ces profils ont révélé également une baisse importante des niveaux de particules mesurés la nuit, lors de la période de fermeture de la gare.

La comparaison des données disponibles entre les exercices de 2016 à 2023 a montré que les valeurs mesurées pour les particules PM₁₀ et PM_{2,5} sont en hausse lors de l'année 2023. Une hausse des concentrations moyennes de 24% et 36% a été observée respectivement pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} entre 2022 et 2023. Une hausse des concentrations moyennes qui a presque triplé sur les PM₁₀ et PM_{2,5} est observée entre 2016 et 2023.

Les travaux en gare et dans les tunnels adjacents chaque été depuis 2018 ont probablement été la cause de ces augmentations progressives avec un impact à la réouverture de la gare en septembre. Ces constatations n'ont pas été relevées pour 2023 car après la période estivale, les concentrations sont revenues à des niveaux inférieurs à ceux mesurés au premier semestre.

ANNEXES

RAPPORT

MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE MAGENTA - 2023

SOMMAIRE DES ANNEXES

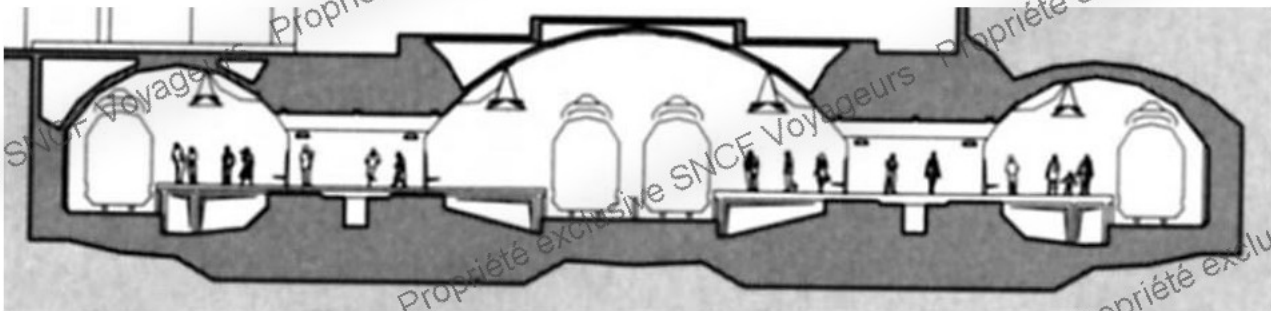
ANNEXE 1 : Descriptif de la gare de Magenta	29
ANNEXE 2 : Localisation du site de mesure	30
ANNEXE 3 : Trafic ferroviaire	31
ANNEXE 4 : Ventilation	32
ANNEXE 5 : Comparaison avec station extérieure	33
ANNEXE 6 : Paramètres de confort	35

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.

Elle est encadrée par 2 tunnels d'une longueur de 2574m vers l'ouest (Hausmann-St Lazare, actuel terminus parisien du RER E) et de 1048m vers l'est (sortie vers l'extérieur).

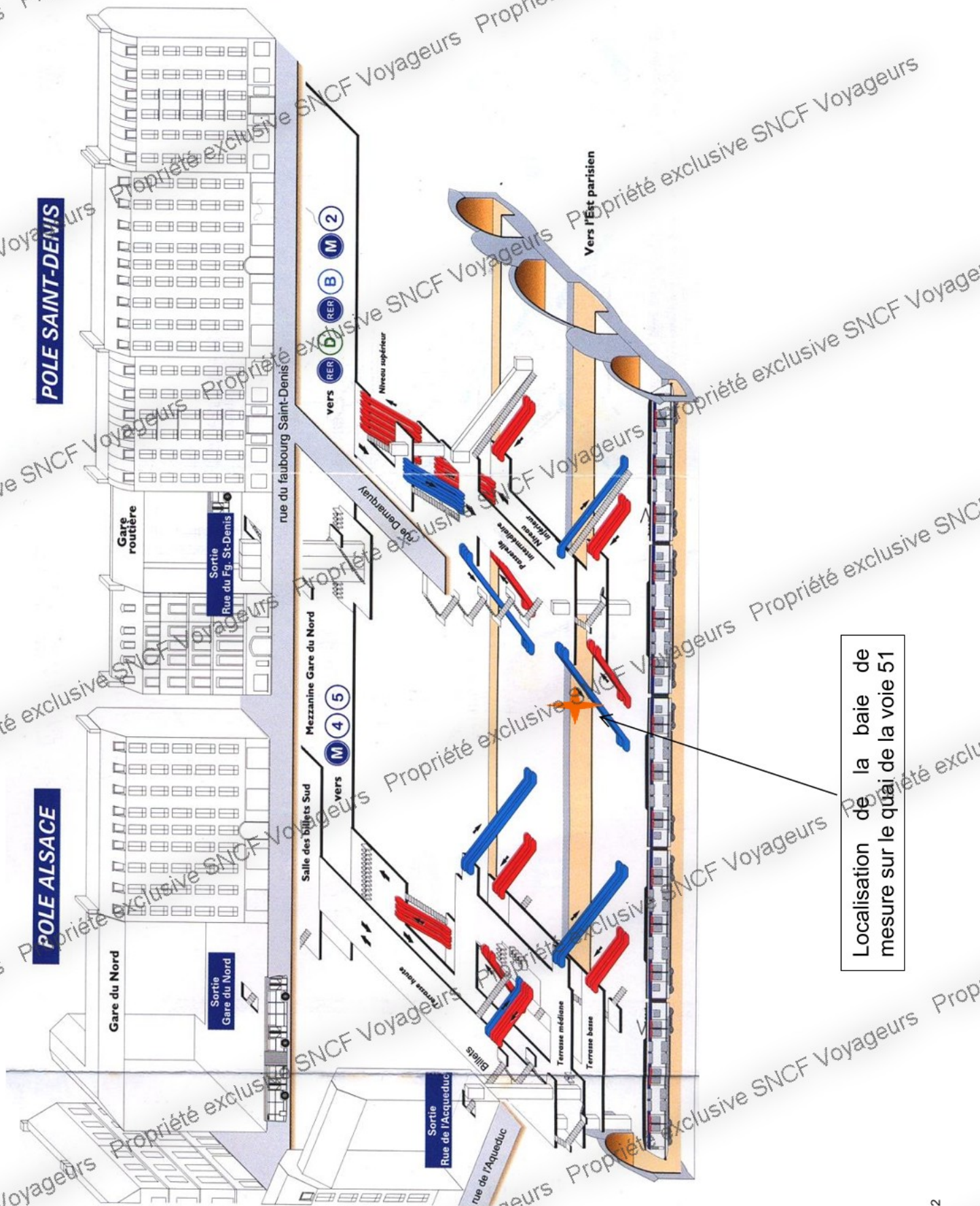
Matériel roulant

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 ouvrable est de 447.

Fréquentation des voyageurs

En termes de fréquentation, la gare accueille chaque année 114 544 voyageurs montants (théorique) en moyenne par jour ouvrable.



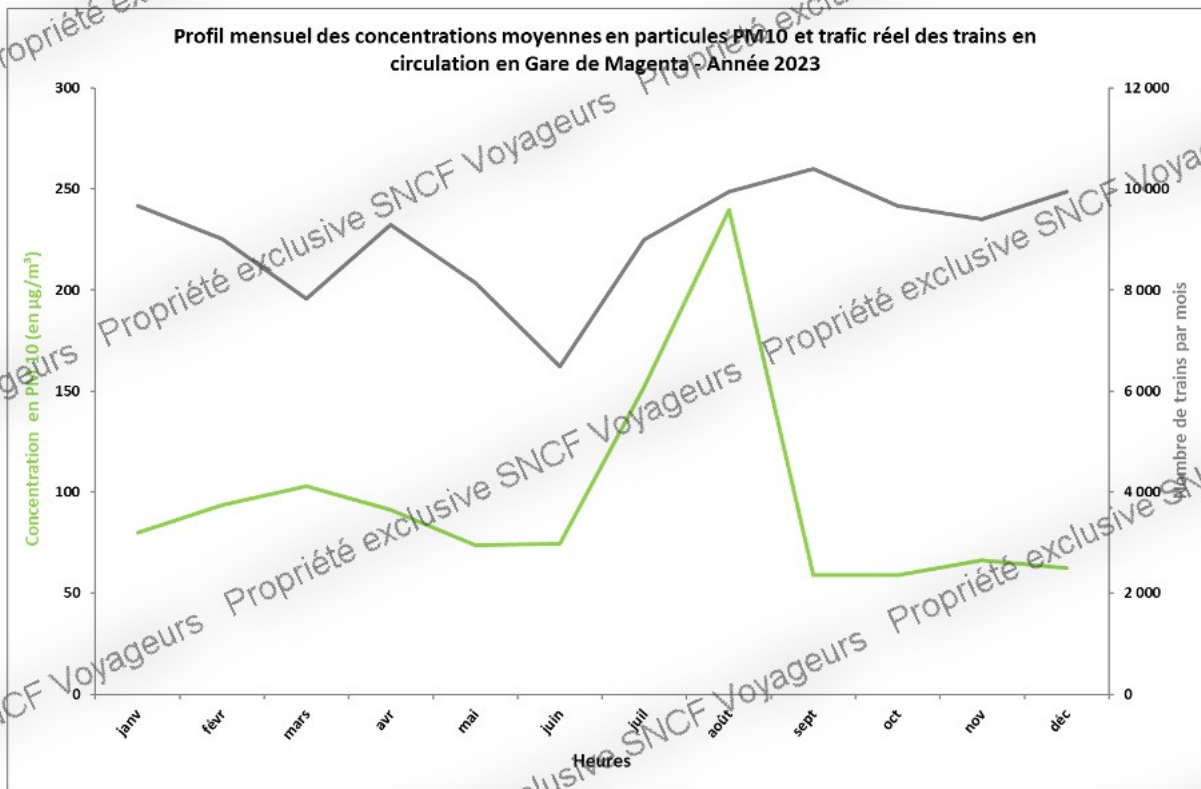


Figure 11 - Comparaison entre les profils horaire journalier en particules PM10 et le trafic réel des trains en circulation en gare de Magenta pour l'année 2023

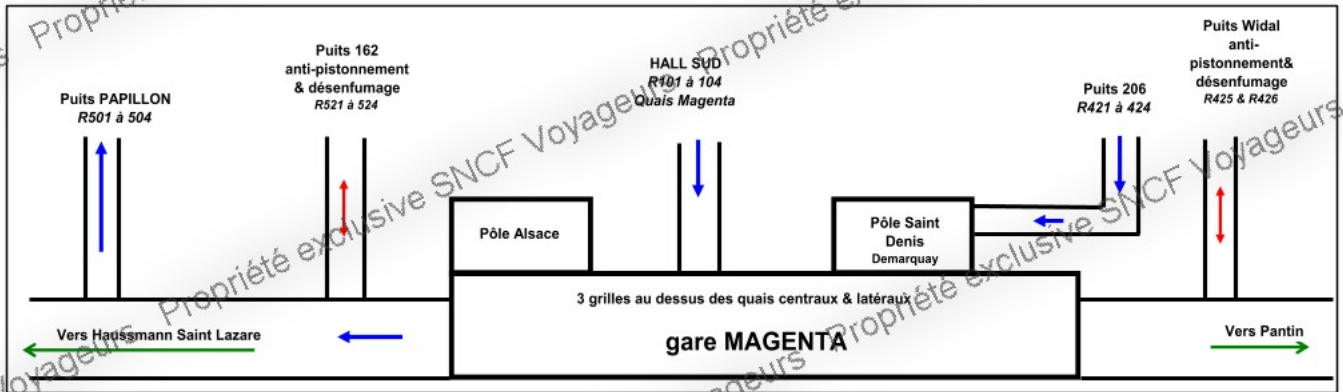


Figure 12 - Représentation schématique de la ventilation du RER E.

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.

Des essais de performance ont eu lieu du 1^{er} mars au 5 avril 2023 et n'ont révélé aucun problème.

Aucune panne n'a été signalée sur les ventilateurs ou les extracteurs durant l'année.

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.

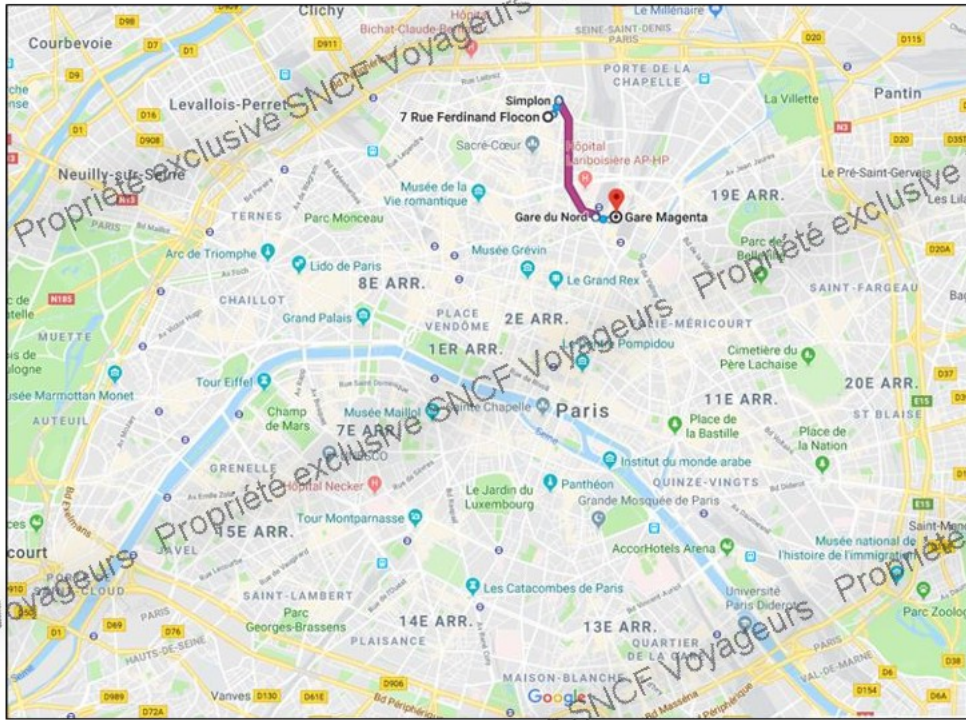


Figure 13 – Plan de situation de la gare de Magenta et de la station de fond urbaine la plus proche.

Cette station de fond urbain est située au **7 rue Ferdinand Flocon**, dans le **18^{ème}** arrondissement parisien. Une représentation est fournie en **Figure 13**.

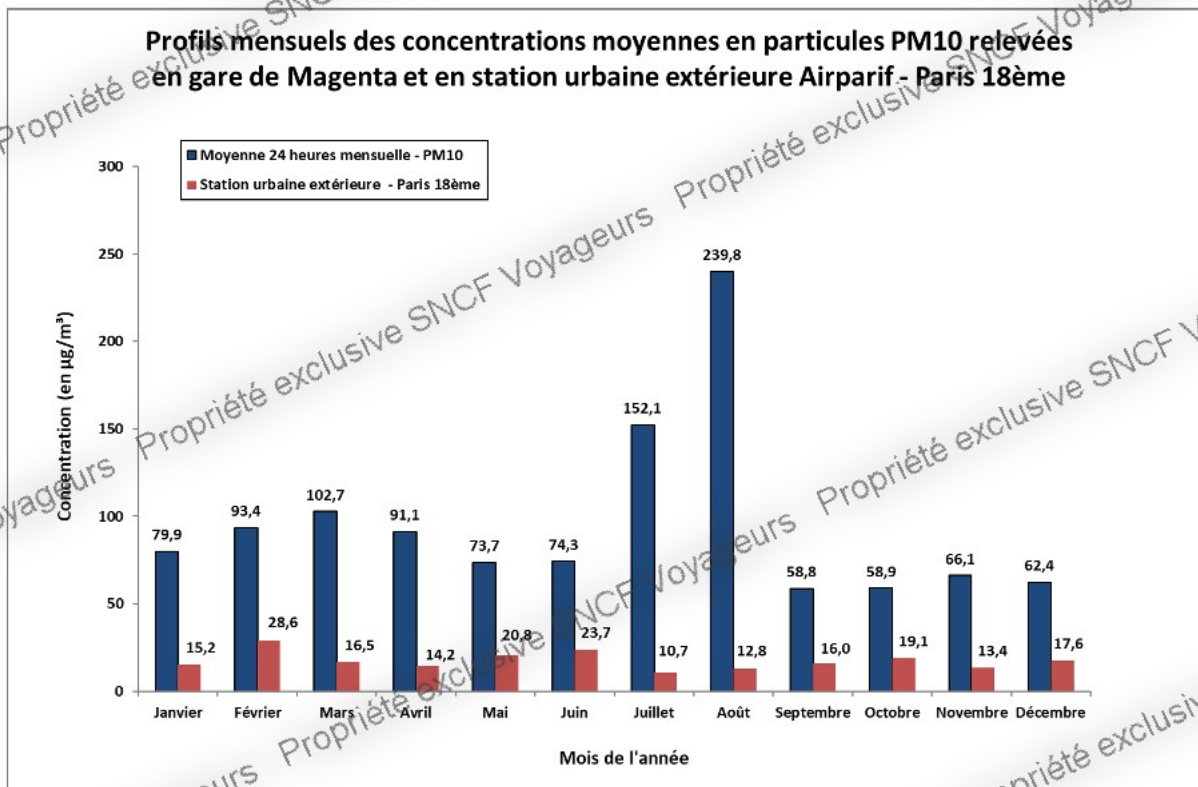
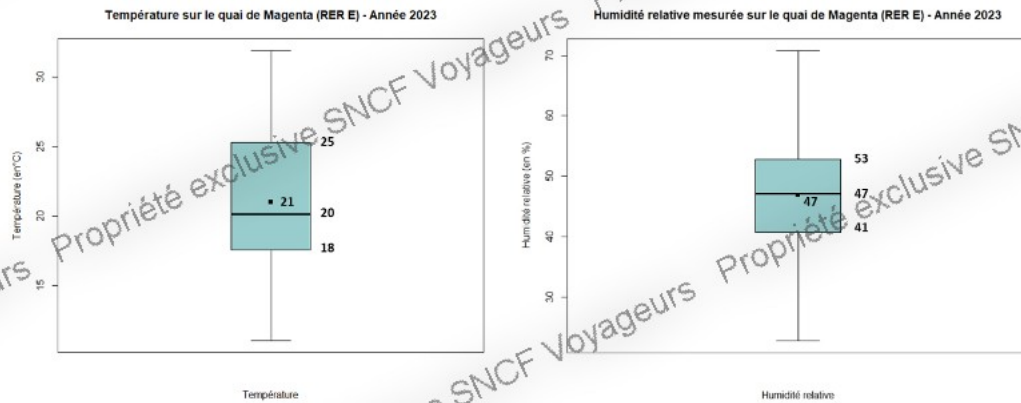


Figure 14 - Evolution mensuelle de la concentration en PM10 en gare de Magenta et en station urbaine Airparif - Paris 18ème

L'évolution des deux profils de concentrations en PM10 rend compte des différences entre les deux environnements considérés tout au long de l'année. Dans un premier temps, il apparaît que les variations de concentrations mensuelles moyennes en PM10 sont différentes au niveau de l'air extérieur et sur le quai de la gare de Magenta. De manière générale, les données montrent qu'en 2023, ces deux environnements sont marqués par une alternance de croissances et décroissances suivant des tendances différentes en PM10.

D'après les mesures réalisés par Airparif tout au long de l'année, les mesures extérieures ont mis en évidence que les épisodes de pollution aux particules ont été peu nombreux (3 jours d'épisode de pollution aux particules PM10 au total dont 3 en février (les 9, 14 et 15 février). Il n'y a pas eu d'impact particulier sur les niveaux de concentrations en particules mesurés en gare de Magenta lors de ces journées d'épisodes de pollution. La gare est en effet très profonde avec relativement peu d'accès vers l'extérieur.



	2023
Minimum	11
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	18
Médiane	20
Moyenne	21
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	25
Maximum	32

	2023
Minimum	21
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	41
Médiane	47
Moyenne	47
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	53
Maximum	72

Figure 15 – Représentation en boîtes à moustaches des relevés quart-horaires de température ambiante (en °C) et d'humidité relative (en %) en gare de Magenta pour l'année 2023.

Les résultats indiquent que la température moyenne en gare de Magenta est de **21°C**, avec des valeurs mesurées **comprises entre 11 et 32°C**. La moitié des données mesurées durant l'année montre des températures comprises entre 18 et 25°C. Ces données sont relativement proches de celles mesurées lors des campagnes précédentes, présentées dans le **Tableau 4** :

Tableau 4 – Historique de la température (en moyenne annuelle) mesurée en gare de Magenta de 2016 à 2022.

Année	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Température moyenne (°C)	19	19	20	22	20	19	21

L'humidité relative moyenne en gare de Magenta est de **47%** en 2023. Les valeurs mesurées ont été **comprises entre 21 et 72%** alors que la moitié des données mesurées durant l'année montrent des valeurs comprises entre 41 et 53%. Les données 2023 relatives à ce paramètre montrent un retour à des valeurs plus proches de celles mesurées en 2016 et 2017. Le **Tableau 5** reprend l'historique des valeurs en moyenne annuelle pour l'humidité relative :

Tableau 5 - Historique de l'humidité relative (en moyenne annuelle) mesurée en gare de Magenta de 2016 à 2022.

Année	2016	2017	2018	2019	2020	2021	2022
Humidité relative (%)	48	46	44	41	49	53	45

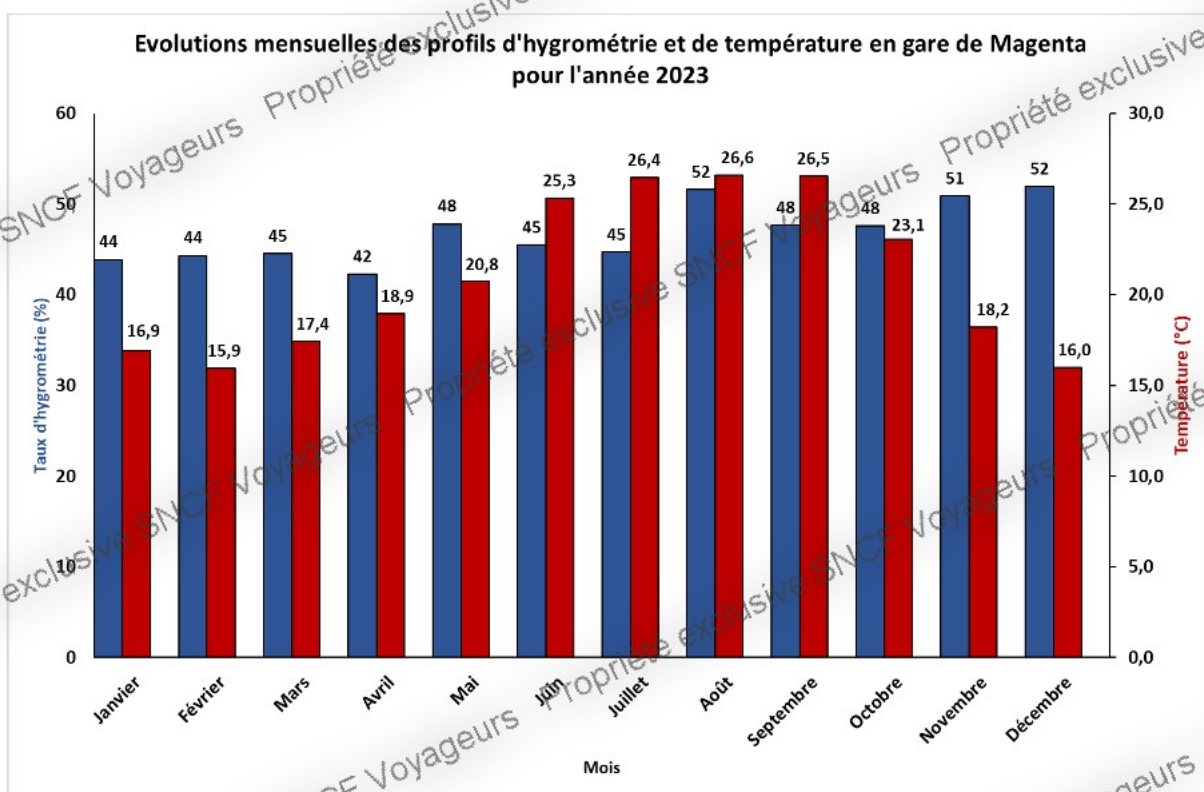


Figure 16 – Profil de température et d'hygrométrie en gare de Magenta – Année 2023

Les résultats de la **figure 16** montrent que la période la plus chaude de l'année est observée de juin à octobre. Concernant les températures, dès le mois de juin les moyennes mesurées sur le quai de Magenta ont atteint 25,3°C (avec 26,6°C en août au maximum). Les températures moyennes sur le quai de la gare baissent ensuite progressivement tout au long du dernier trimestre. Les niveaux d'hygrométrie sont restés constants tout au long de l'année sauf pour les mois d'août, novembre et décembre qui ont présenté un taux plus important (51-52% d'humidité relative). Ces mois-ci sont notés comme étant les maximum en termes d'humidité relative.