

RAPPORT

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

Référence AEF : DOC064043-00 / 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 SEVRAN- BEAUDOTTES - 202

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 Sevrans-Beaudottes de janvier à décembre 2023. Les mesures ont porté sur les concentrations en particules PM10 et PM2,5. Les concentrations moyennes annuelles en PM10 et PM2,5 ont été respectivement de 227 et 99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré que le mois de juin 2023 a enregistré les concentrations en PM10 et PM2,5 les plus importantes sur la période de mesure. La comparaison des données disponibles en 2023 avec l'année précédente a montré une augmentation des concentrations moyennes en PM10 (+14%) et PM2,5 (+18%).

Elaboration du rapportRédacteur

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 Tremblay-en-France.

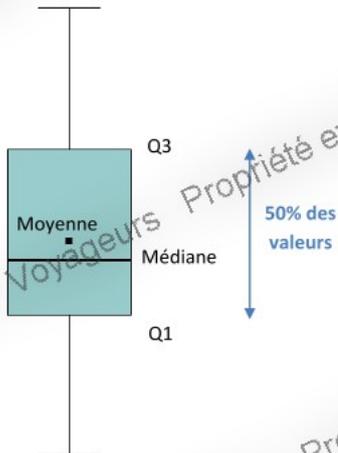
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC051390-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2018)
DOC054178-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2019)
DOC056444-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2020)
DOC058560-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2021)
DOC061272-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2022)
DOC064042-00	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (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. 
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)
LoRa (réseau)	Le réseau LoRa (réseau étendu à longue portée) est un protocole de télécommunication permettant la communication à bas débit, par radio, d'objets à faible consommation électrique et connectés à l'Internet via des passerelles, participant ainsi à l'Internet des objets.
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)
Étendue	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 de nombres.
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	8
3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES	11
3.1 - Niveaux moyens observés sur le quai en gare de Sevrans-Beaudottes	11
3.2 - Variabilité temporelle	13
3.3 - Comparaison des principaux résultats avec les campagnes antérieures	20
4 - CONCLUSION	27
ANNEXES	28
SOMMAIRE DES ANNEXES	29

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 particulaire dans l'air des gares souterraines et mixtes d'Île-de-France afin d'en approfondir les connaissances.

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. 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. La gare de Sevrans-Beaudottes a déjà fait l'objet de campagnes de mesures de polluants gazeux et particulaires. La première s'est déroulée en 2017, dans le cadre des campagnes 15 jours ou 3 semaines réalisées dans 25 gares d'Île-de-France. Depuis juin 2018, la gare de Sevrans-Beaudottes est équipée, au même titre que les gares de Magenta et d'Avenue Foch, d'un analyseur pour la mesure en continu des concentrations en particules PM10 et PM2,5.

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 Sevrans-Beaudottes sur la période de janvier à décembre 2023.

2 - METHODOLOGIE

2.1 - Descriptif de la gare

La gare de Sevrans-Beaudottes se situe sur la ligne B du RER, dans le département de la Seine-Saint-Denis. Cette gare comporte deux voies et deux quais entièrement souterrains. Le bâtiment voyageur, c'est-à-dire l'espace comprenant le hall voyageurs et le guichet, et les accès aux quais sont aériens. Des tunnels encadrent la gare à chaque extrémité des quais.

Le volume de voyageurs en Gare de Sevrans-Beaudottes (RER B) est de 524 897 voyageurs en moyenne mensuelle en 2023 (théorique) et 5 605 trains y circulent chaque mois en moyenne.

Un descriptif de 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 de fractions PM10 et PM2,5 et sur les paramètres de confort température et hygrométrie. Ces particules font partie des polluants mesurés réglementairement dans l'air extérieur et 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 (PM2,5).

De par les études menées antérieurement à la SNCF et dans d'autres réseaux ferroviaires souterrains, 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.

2.3 - Moyens de mesure

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

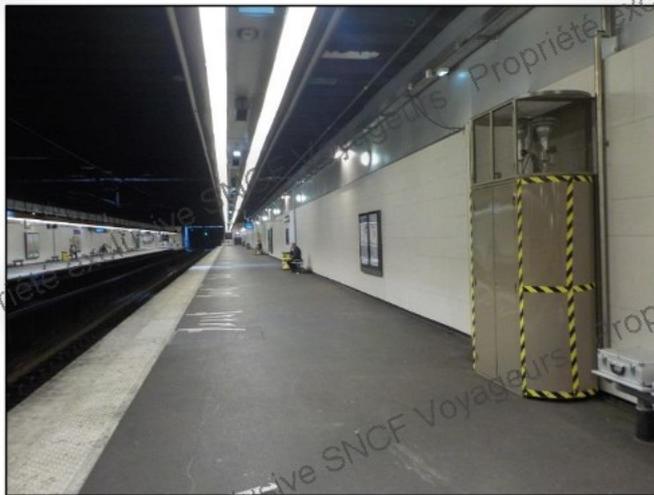


Figure 1 - Baie de mesure en gare de Sevrans-Beaudottes contenant l'analyseur automatique de particules (TEOM)

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 2 dans le sens de circulation Paris-banlieue parisienne, en direction de l'Aéroport Paris Charles de Gaulle. Cet emplacement se situe au milieu du quai, ce qui permet d'obtenir les données les plus représentatives. 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 (88% de taux de disponibilité horaire) 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 $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les deux tailles de particules.

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 pallier toute défaillance (la plus fréquente étant la rupture d'alimentation électrique). La récupération des données est réalisée de manière manuelle en l'absence de couverture réseau suffisante au niveau de l'emplacement de mesure. La récupération des données est effectuée lors des opérations de maintenance périodique. En parallèle un système a été développé exploitant le réseau LoRa, permettant de récupérer sur un serveur certains paramètres de fonctionnement de l'analyseur de particules. Ce système a permis de suivre le bon fonctionnement de l'analyseur à distance au cours de l'année 2023.

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 supérieures à 15 minutes, traduisant un arrêt de l'alimentation électrique et conduisant à des valeurs manquantes.

Les valeurs manquantes sont liées :

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

Les données validées de concentration en particules, de température et d'hygrométrie sont ensuite transférées dans une autre feuille Excel qui réalise la mise en forme par tableaux de moyennes horaires, tableaux de moyennes par périodes (24 heures, nuit, pointes du matin et du soir, service commercial) et de graphiques journaliers (concentrations en PM10 et PM2,5 ; températures et hygrométrie). Le fichier final comporte 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 et sont présentes en annexes.

En **Annexe 2**, une comparaison mensuelle entre le trafic ferroviaire et les concentrations moyennes en particules montre une similitude des profils pour une majorité de l'année.

En **Annexe 3**, une description de la ventilation en gare de Sevrans-Beaudottes.

En **Annexe 4**, une comparaison entre les concentrations moyennes mensuelles en PM10 en gare et en extérieur fait apparaître les différences entre les deux environnements.

Et pour finir, l'**Annexe 5**, 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 (page 5) et rappelées en **Figure 2**.

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 Sevrans-Beaudottes

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.

PM10 et PM2,5 sur le quai de Sevrans-Beaudottes (RER B) - Année 2023

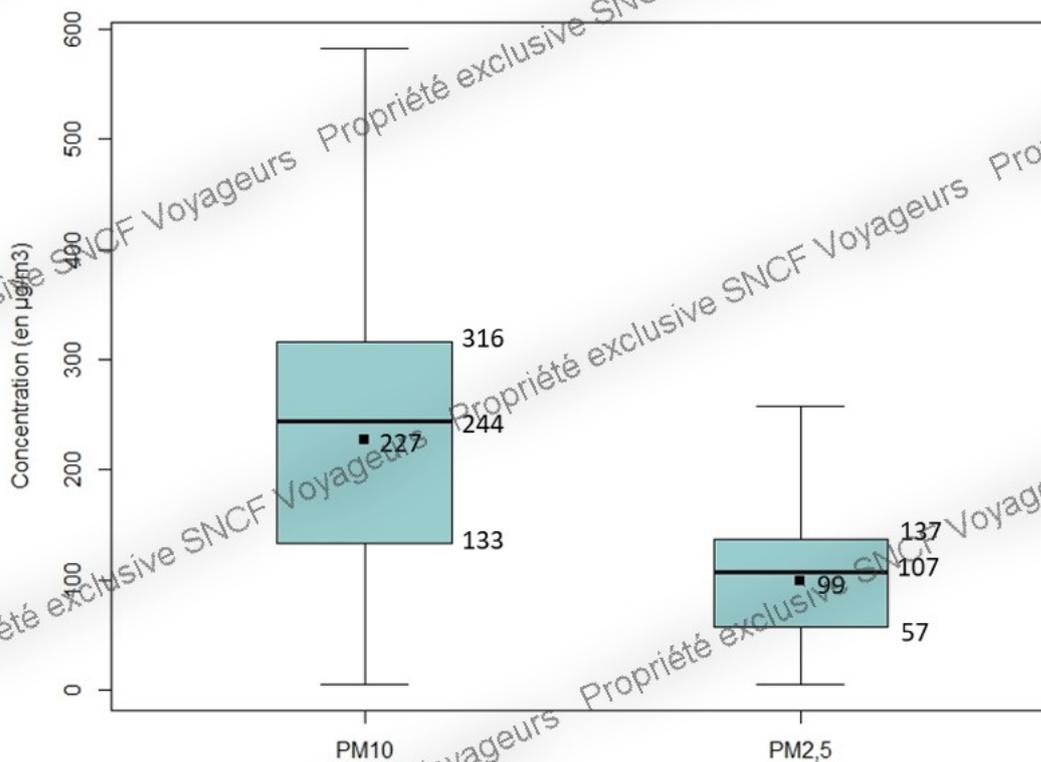


Figure 2 - Boîtes à moustaches des concentrations en moyennes horaires pour les PM10 et PM2,5 exprimées en µg/m³ en gare de Sevrans-Beaudottes - (RER B- 2023)

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 particulières des moyennes horaires des concentrations en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes 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)	133	57
Médiane	244	107
Moyenne	227	99
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	316	137
Maximum	7360	1748

Les boîtes à moustaches montrent une distribution des concentrations en PM10 et PM2,5 laissant apparaître une tendance à l'asymétrie positive. Cela se traduit par des valeurs maximales très élevées et par une moustache supérieure plus importante que la moustache inférieure pour chaque fraction de particule. Néanmoins les concentrations moyennes restent légèrement inférieures aux valeurs médianes pour chaque fraction de particules traduisant le fait que les valeurs moyennes ne sont pas uniquement impactées par des valeurs extrêmes au sein de chaque série de données.

Concernant les PM10, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **133 et 316 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , avec une moyenne de **227 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane de **244 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Pour les PM2,5, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **57 et 137 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , pour une moyenne de **99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane de **107 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

La concentration horaire maximale mesurée a été observée le 04/11/2023, sur la tranche horaire 14h00-15h00 pour les PM10 et PM2,5. Le 04/11/2023, la concentration moyenne en PM10 a atteint **7360 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 1348 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sur les PM2,5**, soit un peu plus de 32 et 17 fois la concentration moyenne mesurée en gare de Sevrans-Beaudottes sur la totalité de la période de mesure. Ces maximums sont dus à des travaux de modernisation et d'entretiens des escaliers mécaniques.

La proportion moyenne de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 47%, **soit un ratio moyen PM2,5/PM10 de 0,47**. Ce ratio est obtenu en réalisant la moyenne des ratios horaires journaliers sur toute l'année.

Conclusion :

Les concentrations moyennes sur l'année 2023, en PM10 et en PM2,5 sont respectivement de **227 et 99 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les concentrations horaires maximales mesurées en PM10 et PM2,5 sont respectivement plus de 32 fois et 17 fois supérieures aux concentrations moyennes mesurées pour chacune des deux fractions de particules en gare de Sevrans-Beaudottes. Ces fortes concentrations sont dues aux travaux de modernisation des escaliers mécaniques de la gare.

3.2 - Variabilité temporelle

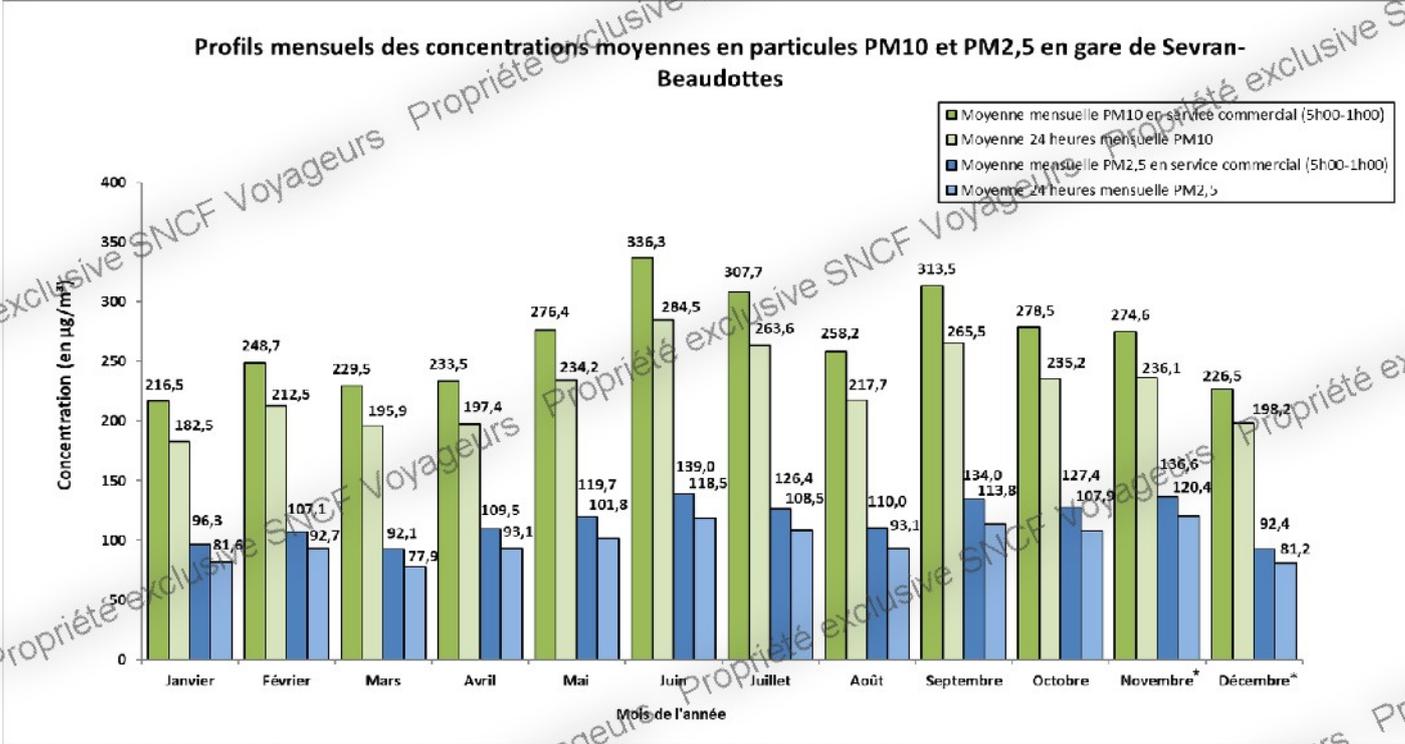
Les données présentées comprennent des profils journaliers, hebdomadaires et mensuels.

3.2.1 - Variabilité mensuelle

Les profils mensuels en particules PM10 et PM2,5 mesurés en gare de Sevrans Beaudottes 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 à partir des moyennes journalières calculées sur la période correspondant à l'ouverture de la gare (5h00 (J) à 1h00 (J+1)), appelée « service commercial ». 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 (+17,5% en moyenne sur l'année pour les PM10 et +16,8% en moyenne sur l'année pour les PM2,5) que ceux observés sur 24 heures.

Propriété exclusive SNCF Voyageurs



* Une indisponibilité de l'appareil de mesure a causé une absence des données du 11/11/2023 au 18/12/2023.

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

DOC064043-00 / MES025616

R-MRF_V1 du 13/02/2024

OR_DOC42P2

L'observation des niveaux moyens mensuels en particules PM10 et PM2,5 sur la période d'ouverture de la gare lors de l'année 2023, permettent d'établir les constats suivants :

- Les concentrations moyennes mensuelles en service commercial, **les plus importantes sont mesurées lors du mois de juin** avec des valeurs respectives en **PM10 et en PM2,5 de 336,3 et de 139,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ;
- **Les mois de janvier et mars 2023 montrent les concentrations moyennes les plus basses de l'année.** Les concentrations moyennes mensuelles durant la période d'ouverture de la gare au public sont en moyenne de **216,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 en janvier et 92,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5 en mars.**

Lors du premier semestre 2023, une augmentation de janvier à février puis une décroissance entre février et mars et une seconde augmentation progressive des concentrations est observée jusqu'à atteindre les maxima de l'année en juin.

- Lors du second semestre 2023, après avoir observé les concentrations les plus importantes de l'année, les concentrations en particules montrent une tendance générale à la baisse (décroissance de juin à août puis augmentation entre août et septembre pour finir par une décroissance progressive) jusqu'en fin d'année. Les concentrations moyennes obtenues décembre 2023 sont similaires à celles mesurées lors des mois de janvier, mars et avril 2023.

Il est à noter également que l'appareil de mesure a été indisponible du 11/11/2023 au 18/12/2023 à cause d'un problème de fonctionnement sur l'instrument.

Conclusion :

Les concentrations moyennes mensuelles en PM10 et PM2,5 les plus importantes de l'année 2023 ont été mesurées lors du mois de **juin** avec respectivement **336,3 et 139,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en service commercial.** Les concentrations en PM10 et PM2,5 les plus faibles sont ainsi mesurées lors des mois de janvier et mars 2023 avec respectivement **216,5 et 92,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne en service commercial.** Lors du second semestre, la baisse des concentrations moyennes mensuelles amorcée dès le mois de septembre 2023 s'est poursuivie lentement et continuellement jusqu'à obtenir des concentrations proches des moyennes annuelles pour les deux fractions de particules en décembre 2023 (226,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et 92,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5).

3.2.2 - Variabilités hebdomadaires

Les profils hebdomadaires en particules PM10 et PM2,5 obtenus en calculant les moyennes journalières pour les différents jours de la semaine sur toute la période de mesure en gare de Sevrans-Beaudottes sont présentés en **Figure 4**

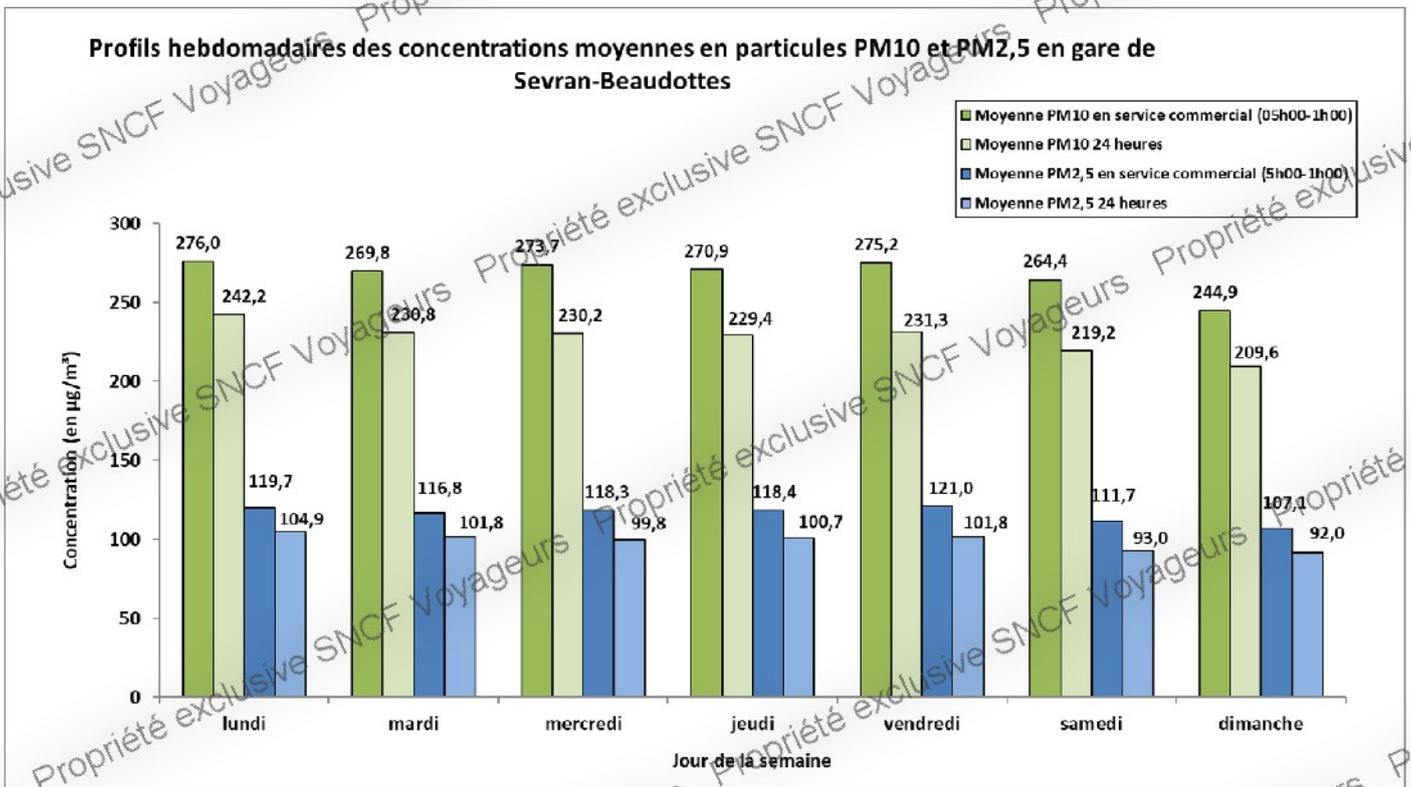


Figure 4 - Evolution des profils hebdomadaires en PM10 et en PM2,5 exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Sevrans-Beaudottes (REF B) pour 2023.

Les résultats présentés en **Figure 4** montrent que les niveaux moyens en particules sont stables les jours ouvrés (du lundi au vendredi) : entre **269,8 et 276,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les particules PM10 et entre **116,8 et 121,0 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les PM2,5 sur la période d'ouverture de la gare au public (moyenne en service commercial).

Une légère diminution s'observe les samedis et dimanches par rapport aux jours ouvrés aussi bien pour les concentrations en PM10 que pour les PM2,5. Cette diminution est de l'ordre de :

- **7% pour les PM10** avec une concentration moyenne de 254,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (service commercial),
- **8% pour les PM2,5** avec une concentration moyenne de 109,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (service commercial).

Ces résultats sont en partie liés à la baisse du nombre de trains en circulation durant les week-ends.

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'année 2023.

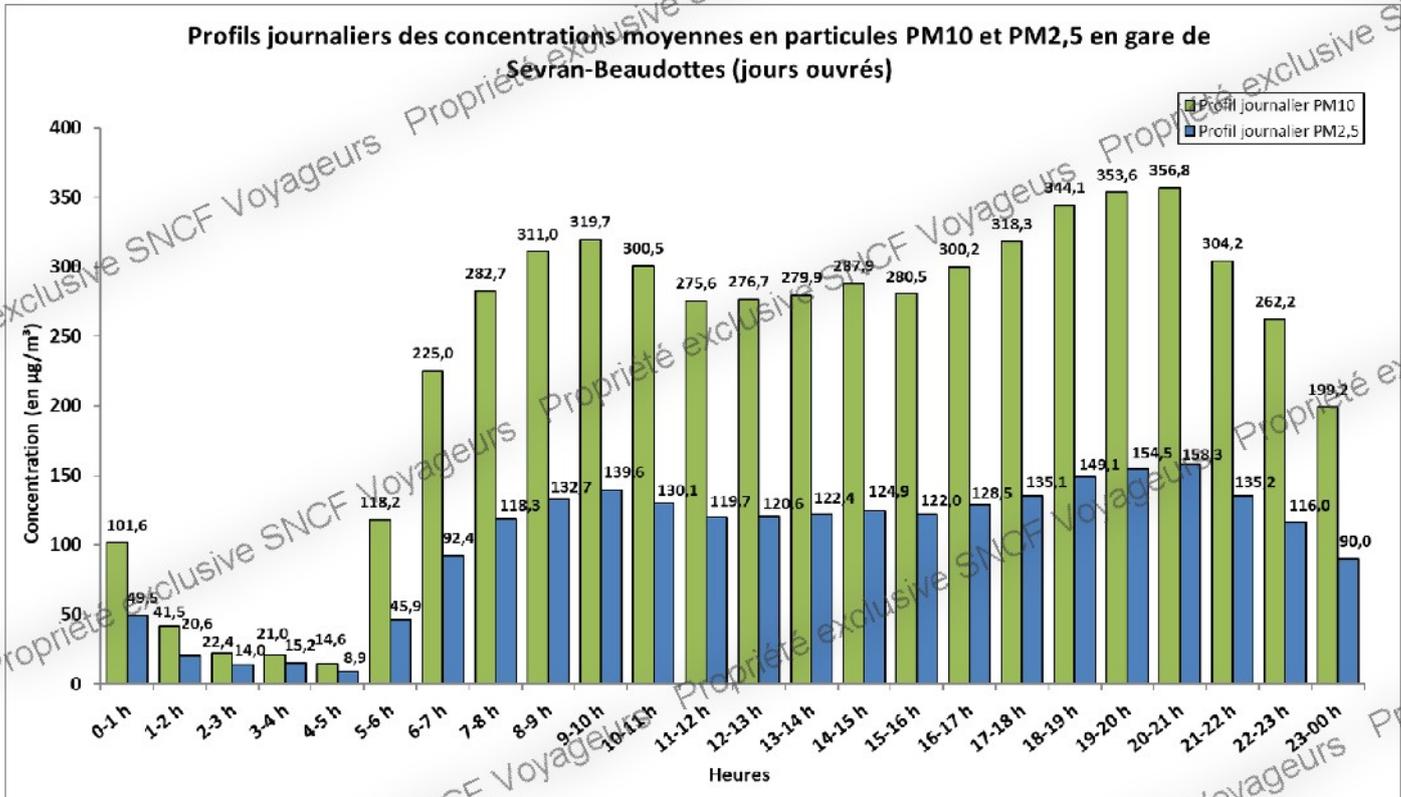


Figure 5 - Evolution des profils journaliers en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes pour 2023 (jours ouvrés).

DOC064043-00 / MES025616

Les profils journaliers présentés en **Figure 5** pour les particules PM10 et PM2,5 montrent une évolution journalière similaire aussi bien pendant qu'en dehors des périodes d'ouverture de la gare au public. Ces profils montrent 3 périodes importantes :

- une **période de pointe le matin**, approximativement de **8h00 à 10h00** ;
- une **période de pointe le soir** d'environ **17h00 à 21h00** ;
- une **période de fermeture** de la gare au public de **01h00 à 05h00** (absence de circulations).

Durant les périodes de pointe, les concentrations horaires moyennes maximales sont mesurées, pour les deux fractions de particules, sur les créneaux horaires **09h – 10h** et **20h – 21h**. Ainsi, aux heures de pointe du matin et du soir, les concentrations horaires moyennes maximales en particules sont respectivement de **319,7** et **356,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10** et **139,6** et **158,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ 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 d'empoussièrement diminuent jusqu'à **environ 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10** et **9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules PM2,5**.

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 les circulations ferroviaires.

3.2.4 - Variations horaires sur une semaine

Les concentrations moyennes en particules PM10 et PM2,5 et leur évolution par tranches horaires sur une semaine regroupant les 52 semaines de l'année 2023 sont présentées en **Figure 6**.

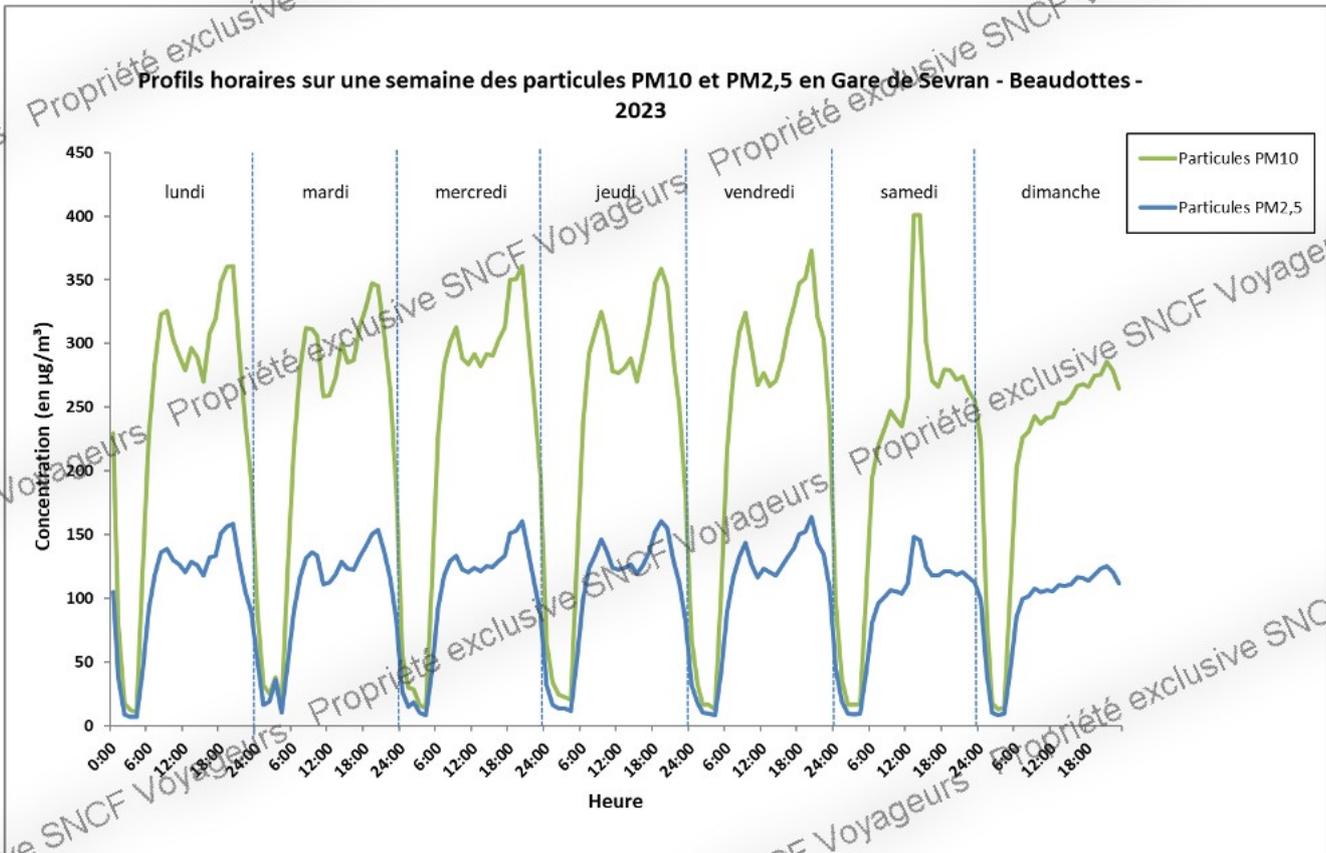


Figure 6 - Evolution des profils horaires sur une semaine complète en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes en 2023.

Ce graphique montre d'une part les variations journalières avec l'existence de deux pics de concentration aux heures de pointes les jours ouvrés 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). Les profils de concentrations en PM10 et PM2,5 mesurés les samedis sont légèrement supérieurs à ceux des dimanches. Il est toutefois notable qu'un pic important est observé les samedis aux alentours de 15h00. Ceci est dû à une opération de « Renouvellement de voie et Ballast » le week-end du 04/11 au 05/11 entraînant des concentrations très élevées. Durant ce pic la concentration moyenne en PM10 ($401\mu\text{g}/\text{m}^3$) est plus importante que celles mesurées lors des pointes du matin ($315\mu\text{g}/\text{m}^3$) et du soir ($360\mu\text{g}/\text{m}^3$) durant les jours ouvrés.

Il apparaît également que pour les jours ouvrés, les concentrations en PM10 et PM2,5 sont toujours supérieures lors de la pointe du soir que lors de la pointe du matin.

3.3 - Comparaison des principaux résultats avec les campagnes antérieures

Les campagnes de mesures en continu réalisées de 2018 à 2023 ont permis de collecter des données en quantité suffisante chaque année, rendant possible la comparaison des résultats obtenus lors de ces exercices sur divers pas de temps.

3.3.1 - Comparaison de la distribution des données

Les **Figures 7 et 8** permettent de confronter la distribution des données de PM10 et PM2,5 lors des campagnes de 2018 à 2023.

PM10 sur le quai de Sevrans-Beaudottes (RER B) - Années de 2018 à 2023

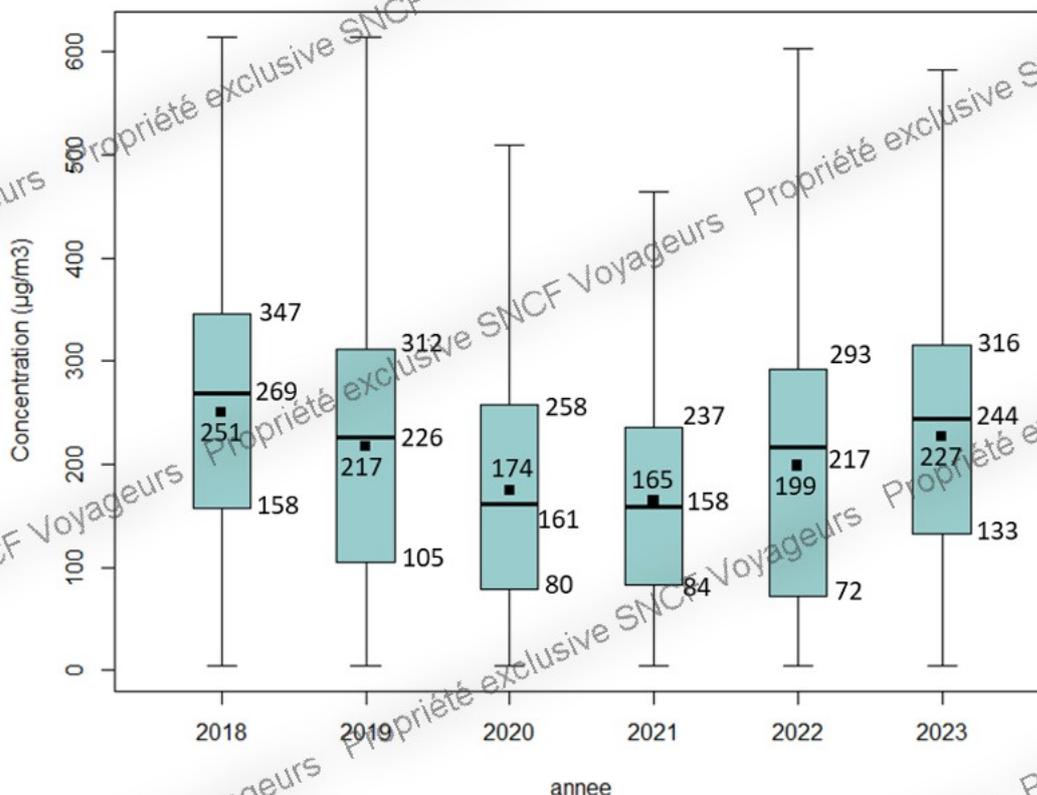


Figure 4 - Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM10 en gare de Sevrans-Beaudottes pour les années de 2018 à 2023.

Tableau 3 – Valeurs statistiques particulières de concentration moyenne horaire en PM10 en gare de Sevrans-Beaudottes de 2018 à 2023

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum	5	5	5	5	5	5
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	158	105	80	84	72	133
Médiane	269	226	161	158	217	244
Moyenne	251	217	174	165	199	227
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	347	312	258	237	293	316
Maximum	730	640	1008	893	2047	7360

PM2,5 sur le quai de Sevrans-Beaudottes (RER B) - Années de 2018 à 2023

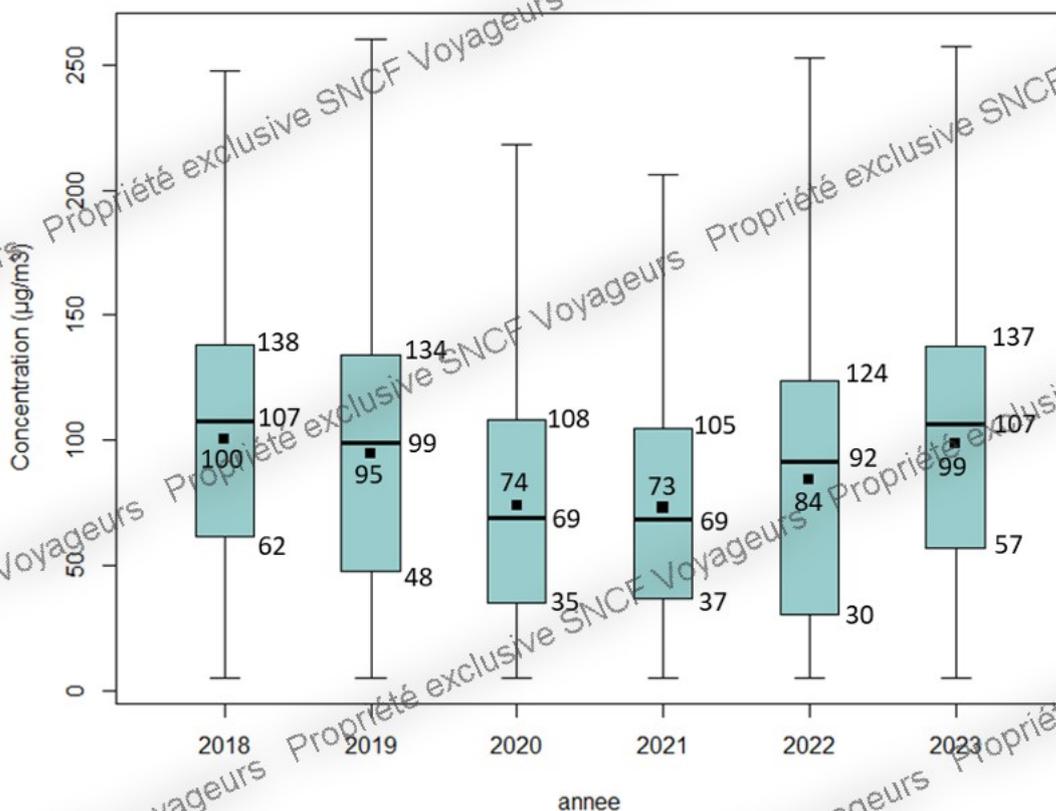


Figure 8 – Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes pour les années de 2018 à 2023.

Tableau 3 – Valeurs statistiques particulières de concentration en PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes de 2018 à 2023

	2018	2019	2020	2021	2022	2023
Minimum	5	5	5	5	5	5
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	62	48	35	37	30	57
Médiane	107	99	69	69	92	107
Moyenne	100	95	74	73	84	99
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	138	134	108	105	124	137
Maximum	306	272	269	809	445	1748

Les résultats indiquent qu'en 2023, une hausse de la concentration moyenne en PM10 a été observée par rapport aux moyennes annuelles sur la période 2019 - 2022 tout en restant inférieure à la concentration moyenne annuelle mesurée en 2018.

Les résultats de la **Figure 8**, montrent 3 périodes différentes. Tout d'abord la période 2018 - 2019 montrent des concentrations équivalentes. Puis 2020 et 2021, du fait du COVID, ont connu une diminution des concentrations moyennes annuelles mesurées. Et pour finir les années 2022 et 2023, qui décrivent une tendance à l'augmentation pour revenir aux concentrations mesurées sur la période 2018 - 2019.

La distribution des concentrations en PM_{2,5} pour l'année 2023 montre un profil similaire à celui des années 2018 et 2019 exception faite des concentrations maximales qui ont été plus élevées en 2023. Pour rappel en 2018, les mesures ont démarré en juin après l'installation du site de mesure en continu, ainsi il n'y a pas eu de données disponibles durant le premier semestre. En 2020, la période du premier confinement n'a pas été prise en compte et n'apparaît donc pas dans les calculs statistiques du **Tableau 3**.

Il apparaît que des baisses progressives des concentrations sont observées depuis 2018 avec une rupture plus marquée entre 2018/2019 d'une part et 2019/2020 d'autre part avant de se stabiliser entre 2020 et 2021 pour repartir à la hausse en 2022 et en 2023.

Des augmentations des concentrations moyennes de **14,1% en PM₁₀ et de 17,9% pour les PM_{2,5}** ont respectivement été observées **entre 2022 et 2023**. Les augmentations sont respectivement de **37,6% entre 2021 et 2023 pour les PM₁₀** et de **35,6% pour les PM_{2,5}**. Entre 2020 et 2023, des augmentations de **30,5% en PM₁₀ et de 33,8% en PM_{2,5}** ont été observées.

Les hypothèses émises concernant la baisse progressive des concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} sur la période 2018 - 2021 sont que ces résultats sont peut-être les conséquences d'une part de la crise sanitaire (périodes de confinement, diminution du trafic et couvre-feu) et d'autre part de l'action des colonnes de filtration des particules qui ont fonctionné de novembre 2020 à juillet 2021.

En revanche, la concentration horaire moyenne maximale en PM₁₀ mesurée en 2023 est la plus élevée sur les six dernières années (valeur isolée). Pour la fraction PM_{2,5}, le maximum observé en 2023 est le 2^{ème} maximum le plus élevé mesuré lors de la période 2018-2023.

3.3.2 - Comparaison des données mensuelles

Les **Figures 9 et 10**, en pages suivantes, présentent respectivement les concentrations moyennes mensuelles en PM₁₀ et PM_{2,5} en service commercial obtenues lors des campagnes 2021, 2022 et 2023 en gare de Sevrans-Beaudottes.

Les résultats de mesures en continu de 2022 et 2023 montrent des ressemblances dans les profils de concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5}. Pour 2023, les profils des concentrations mensuelles en PM₁₀ et PM_{2,5} montrent une augmentation générale sur le premier semestre avec des concentrations mensuelles maximales mesurées lors du mois de juin et une diminution des niveaux de particules sur le 2nd semestre.

L'exploitation des profils mensuels en PM₁₀ et PM_{2,5} de l'année 2023 montre que les concentrations moyennes mensuelles de 2023 sont globalement supérieures à celles mesurées lors des campagnes 2021 et 2022 (à l'exception du mois d'août).

Les hypothèses émises quant aux concentrations en particules plus élevées en 2023 par rapport aux années 2021 et 2022 sont les suivantes :

- L'expérimentation relative aux colonnes de filtration installées en gare de Sevrans-Beaudottes avec un arrêt définitif en juillet 2021 a potentiellement causé une baisse en concentrations des PM₁₀ et PM_{2,5}.
- Dans le même temps, une baisse du nombre de trains et de fréquentation voyageurs a eu lieu du fait du couvre-feu entre le 16 janvier et le 3 mai 2021.

- En 2023, différents travaux en gare (rénovation des escaliers mécaniques) et à proximité ont causé une augmentation des concentrations en PM10 et PM2,5 par rapport à l'activité 2022.

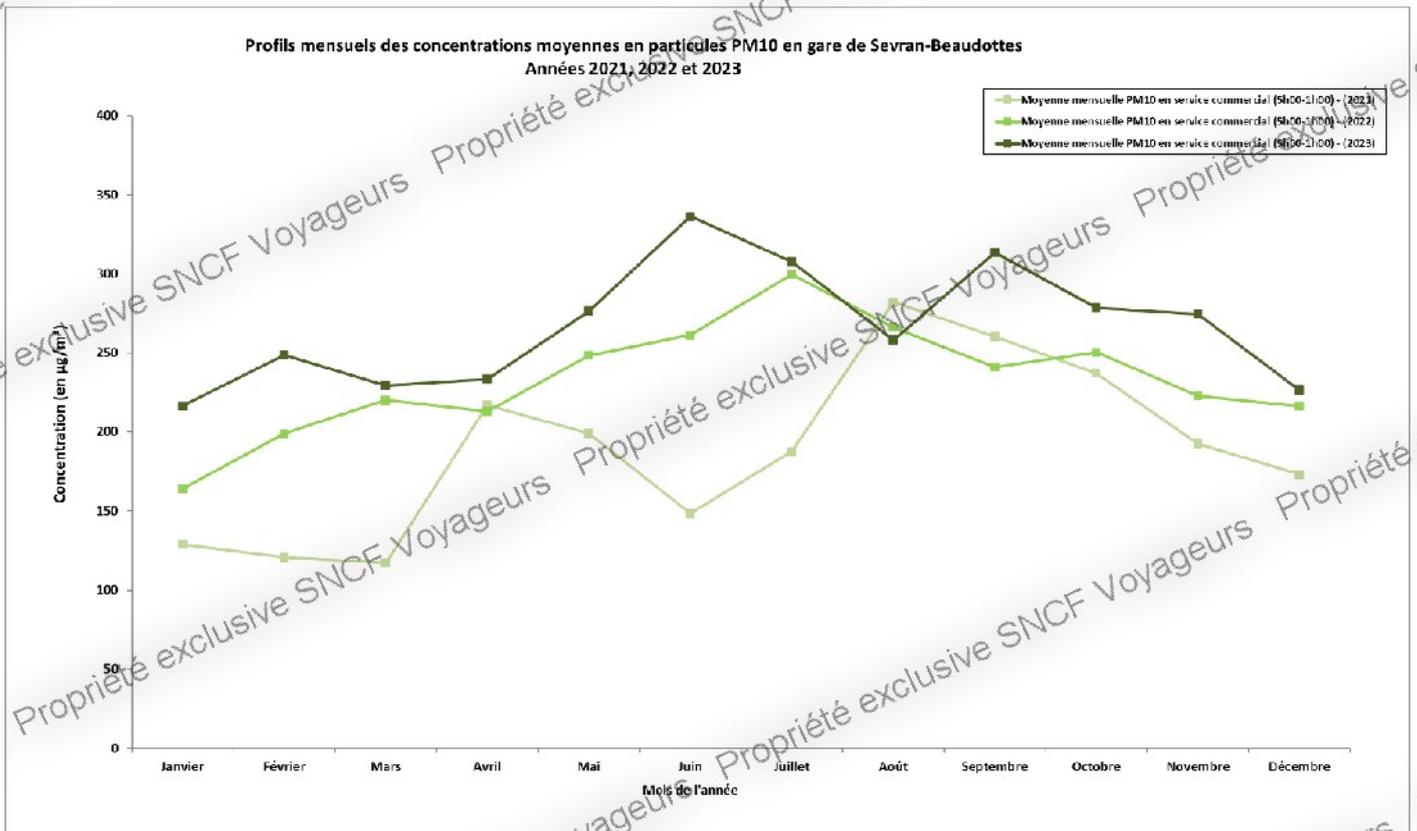


Figure 9 – Comparaison des profils mensuels de concentration en particules PM10 en gare de Sevrans-Beaudottes de 2021 à 2023

DOC064043-00 / MES025616

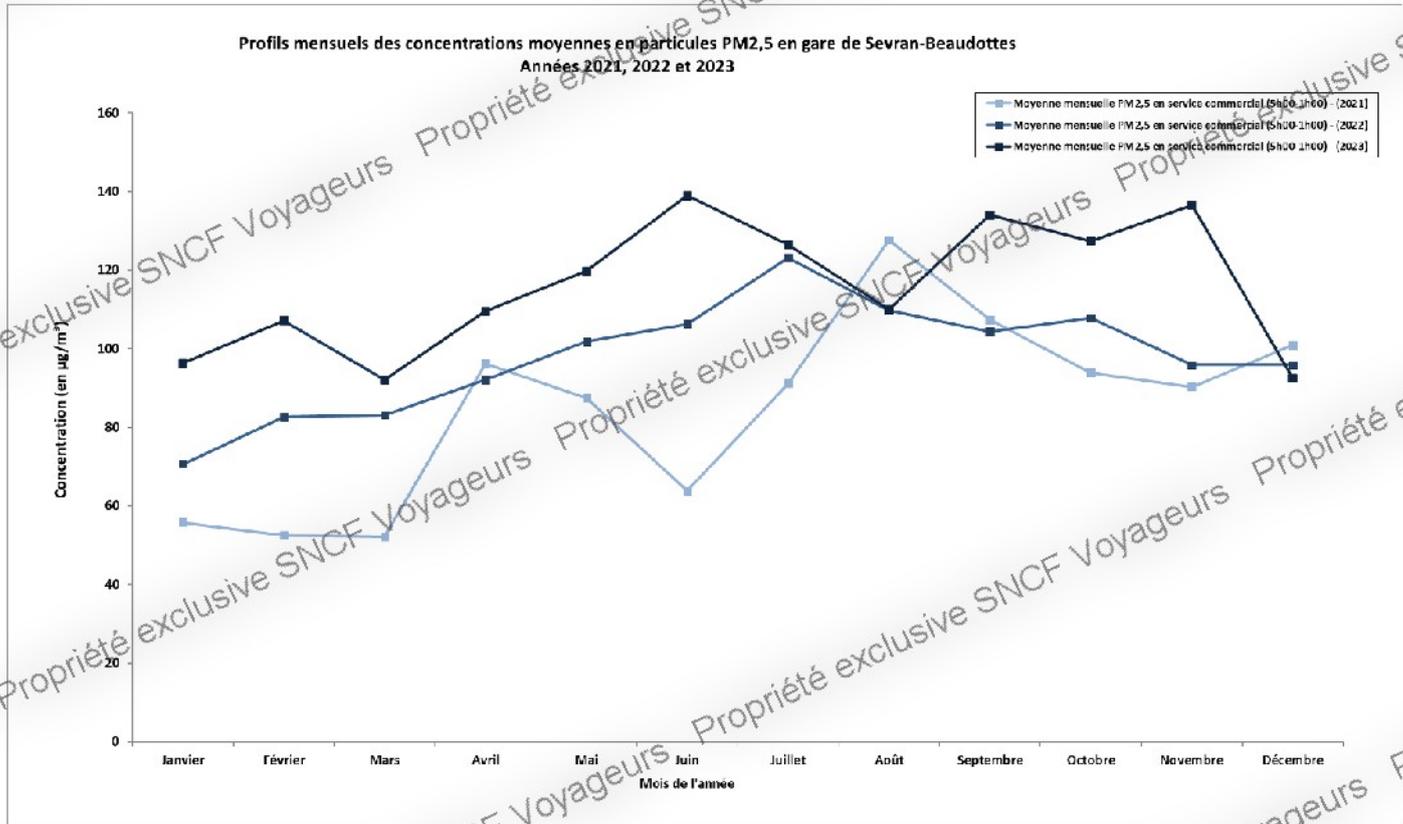


Figure 10 – Comparaison des profils mensuels de concentration en particules PM_{2,5} en gare de Sevrans-Beaudottes de 2021 à 2023

DOC064043-00 / MES025616

4 - CONCLUSION

Ce rapport présente les niveaux de concentration observés en gare de Sevrans-Beaudottes pour les particules PM10 et PM2,5 dans le cadre de la campagne de mesure réalisée en continu de janvier à décembre 2023.

La concentration moyenne annuelle en gare de Sevrans-Beaudottes sur l'ensemble de la période de mesure a été de **227 µg/m³ en PM10** et de **99 µg/m³ en PM2,5**. Le mois de juin a enregistré les concentrations moyennes en PM10 et PM2,5 les plus importantes sur l'année, puis celles-ci diminuent ensuite progressivement en deux phases : la première entre juin et août et la seconde de septembre à décembre. 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 7% pour les PM10 et de 8% pour les PM2,5 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 (8h-11h) et du soir (18h-21h). Ces profils ont révélé également une baisse importante des niveaux mesurés la nuit, lors de la période de fermeture de la gare au public. Les résultats des trois années de mesures en continu montrent des profils mensuels de concentrations en PM10 et PM2,5 relativement similaires pour 2022 et 2023 alors que 2021 est légèrement différent.

A l'échelle pluriannuelle, les résultats indiquent qu'en 2023, une hausse de la concentration moyenne en PM10 a été observée par rapport à la période 2019 - 2022 tout en restant inférieurs aux moyennes observées en 2018. Une augmentation des concentrations moyennes **de 14,1% en PM10 et de 17,9% pour les PM2,5** ont respectivement été observées **entre 2022 et 2023**. Les augmentations sont respectivement de l'ordre de **37,6% entre 2021 et 2023 pour les PM10** et de **35,6% pour les PM2,5**.

Compte tenu de la configuration de la gare de Sevrans-Beaudottes (gare souterraine, non équipée d'un système de ventilation de confort), la circulation ferroviaire est le principal paramètre permettant d'expliquer les niveaux de particules et leur évolution à l'échelle journalière.

ANNEXES

RAPPORT

MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE SEVRAN - BEAUDOTTES - 202

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE SEVRAN BEAUDOTTES.....	30
ANNEXE 2 : TRAFIC FERROVIAIRE ET FREQUENTATION.....	31
ANNEXE 3 : VENTILATION.....	32
ANNEXE 4 : QUALITE DE L'AIR EXTERIEUR.....	33
ANNEXE 5 : PARAMETRES DE CONFORT.....	35

La **Figure 11** reprend sur un même graphique le nombre de trains en circulation avec le profil journalier des concentrations moyennes en particules PM10.

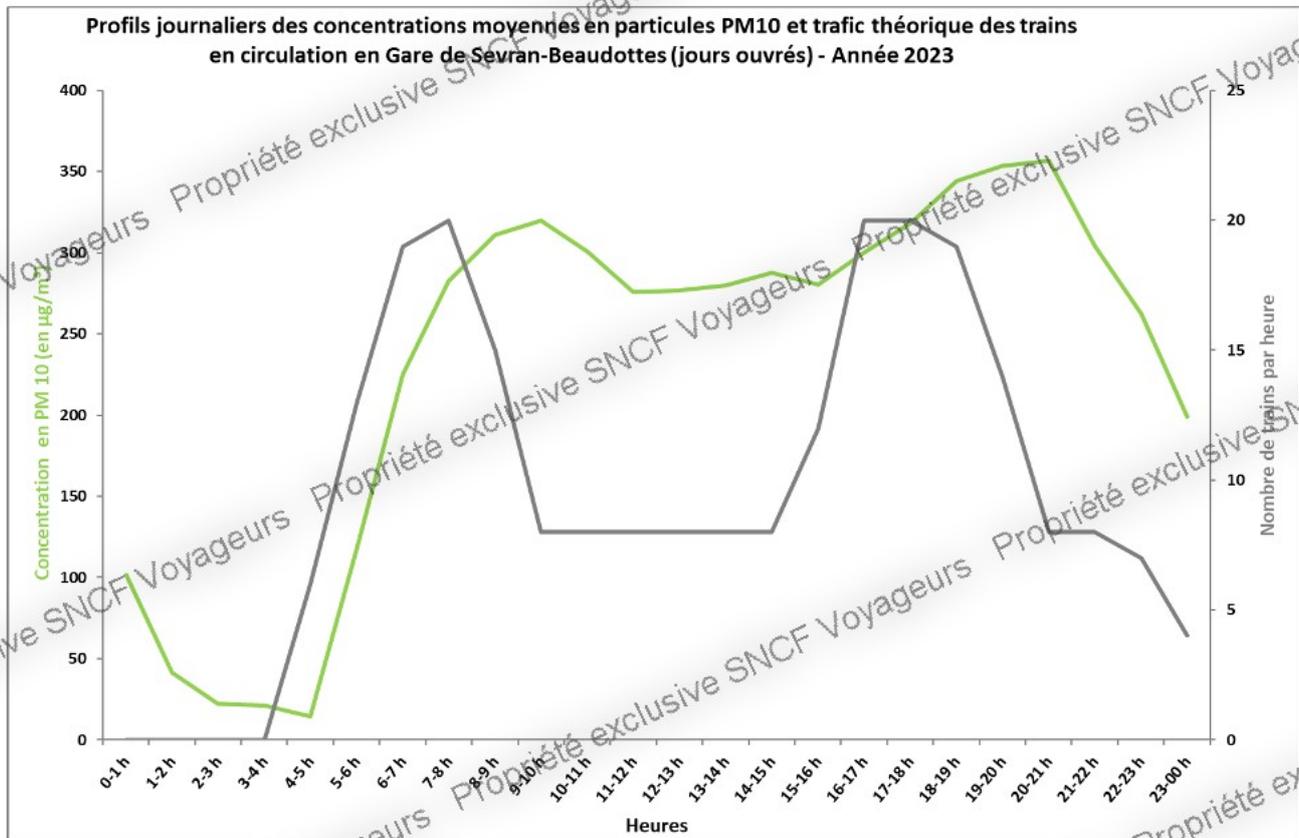


Figure 11 – Comparaison entre les profils horaires en particules PM10 et le trafic théorique des trains en circulation en gare de Sevrans-Beaudottes pour 2023.

L'évolution journalière des concentrations en particules montre un profil similaire à celui du nombre théorique de trains en circulation en gare de Sevrans-Beaudottes. Il apparaît un décalage d'une ou deux heures entre les pics de concentration en PM10 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 circulation des trains (de 6h00 à 10h00 et de 16h00 à 20h00), où la densité du trafic est plus importante, l'émission de particules, ainsi que leur remise en suspension le sont également (avec un léger décalage temporel). Au vu de ces résultats, il apparaît que la circulation des trains est un facteur d'influence important sur les concentrations en particules à l'échelle journalière (génération et remise en suspension de particules).

Il n'existe pas de ventilation de confort en gare de Sevrans-Beaudottes. La ventilation de la gare est naturelle, par les accès et les tunnels encadrant la gare. Cependant il existe un dispositif de désenfumage. Ce type de ventilation a pour but d'évacuer les fumées produites par un 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.

Les niveaux moyens mensuels en PM10 mesurés en gare de Sevrans-Beaudottes sont comparés à ceux mesurés par la station extérieure Airparif la plus proche géographiquement. Cette station de fond périurbaine, fait l'objet de mesures de PM10 et est située rue du Chemin Jaune à proximité de l'avenue Diderot dans la commune de Tremblay-en-France. Une représentation est fournie en **Figure 12**.

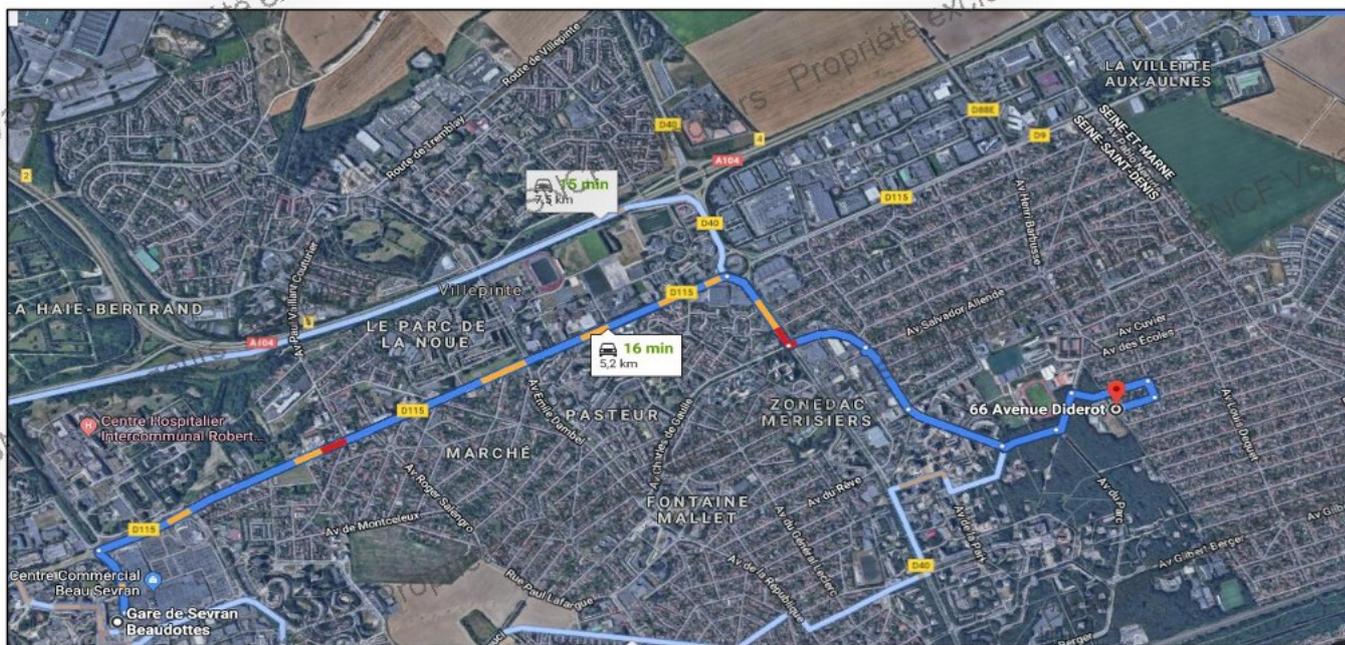


Figure 12 - Plan de situation de la gare de Sevrans-Beaudottes et de la station de fond périurbaine la plus proche.

La **Figure 13** présente l'évolution des concentrations moyennes mensuelles en particules PM10 mesurées en gare de Sevrans-Beaudottes et au niveau de la station périurbaine Airparif située dans la commune de Tremblay-en-France.

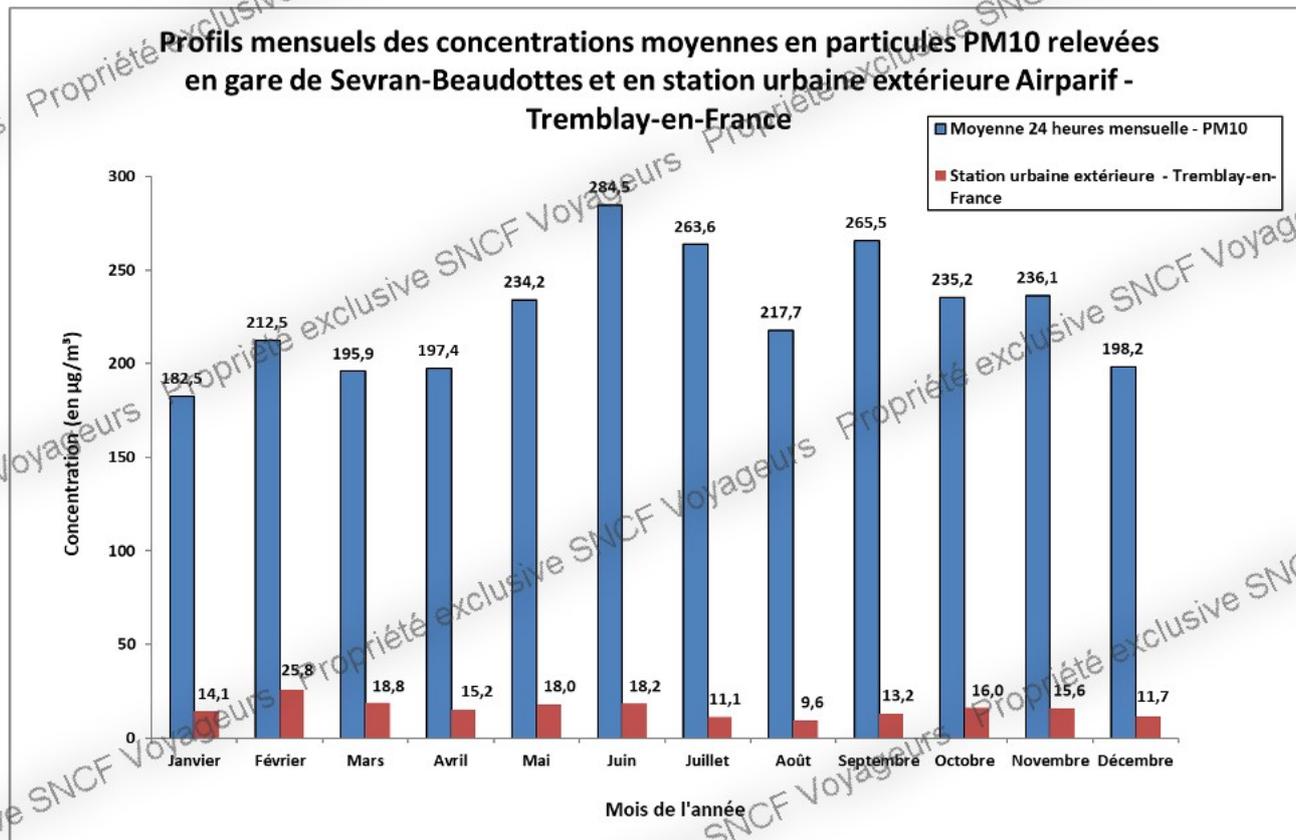


Figure 13 - Evolution mensuelle de la concentration en PM10 en gare de Sevran-Beaudottes et en station périurbaine de Tremblay-en-France – 2023

Les profils de concentrations présentés en **Figure 13** montrent qu'il existe des différences importantes entre les niveaux mesurés en gare de Sevran-Beaudottes et la station extérieure périurbaine la plus proche. Les concentrations moyennes mensuelles en PM10 mesurées au niveau de la station de Tremblay-en-France sur la période entre janvier et décembre 2023 sont comprises entre 9,6 et 25,8 µg/m³. Les données mensuelles de concentrations en PM10 au niveau de cette station extérieure sont relativement stables d'un mois à l'autre à l'exception du mois de février qui montre des concentrations presque deux fois supérieures au reste de l'année. Ces niveaux sont nettement inférieurs à ceux mesurés en gare de Sevran-Beaudottes. L'influence de l'air extérieur sur les concentrations mesurées en gare de Sevran-Beaudottes semble très limitée en ce qui concerne l'apport de polluants particuliers à l'échelle mensuelle dans la gare de Sevran-Beaudottes. Durant les années précédentes, des observations similaires ont pu être rapportées. Etant donnée la différence très importante de niveaux, il n'est pas possible de mettre en évidence une éventuelle influence de l'air extérieur

A titre d'information, d'après les mesures réalisées par Airparif tout au long de l'année, les épisodes de pollution aux particules ont été peu nombreux (1 jour d'épisode de pollution aux particules PM10 au total le 9 février 2023). Il n'y a pas eu d'impact particulier sur les concentrations en particules mesurées en gare lors de cette journée d'épisode de pollution.

Les paramètres de confort (température ambiante et humidité relative) ont été mesurés sur le quai 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 est présenté en **Figure 14** et en **Tableau 4**.

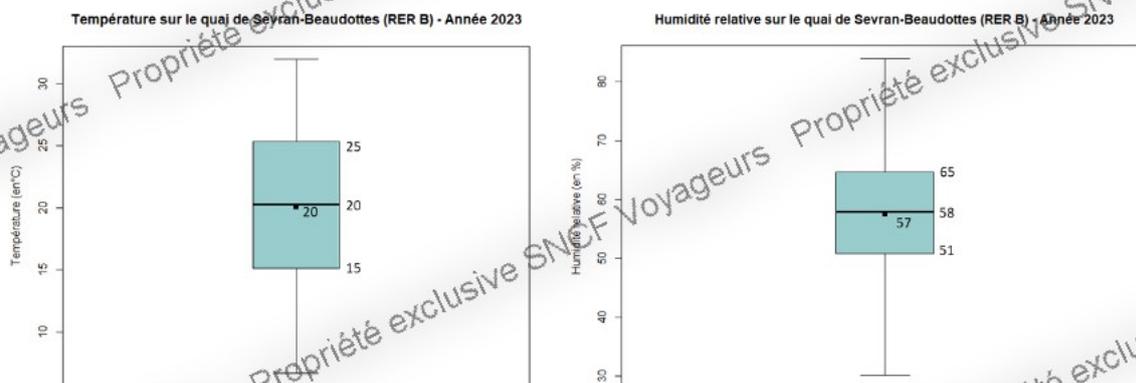


Figure 14 - Boîtes à moustaches des relevés quarts horaires en température ambiante (en °C) et en humidité relative (en %) en gare de Sevrans-Beaudottes pour l'année 2023

Tableau 4 - Valeurs statistiques particulières de température et d'humidité relative en gare de Sevrans-Beaudottes en 2023

	Température (°C)
Minimum	7
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	15
Médiane	20
Moyenne	20
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	25
Maximum	32

	Hygrométrie (%)
Minimum	27
1 ^{er} quartile ou percentile 25 (Q1)	51
Médiane	58
Moyenne	57
3 ^{ème} quartile ou percentile 75 (Q3)	65
Maximum	84

La **température moyenne** en gare de Sevrans-Beaudottes est de **20°C**, avec des **valeurs mesurées comprises entre 7 et 32°C**. L'**humidité relative moyenne** est quant à elle de **57%**, avec des **valeurs mesurées comprises entre 27 et 84%**.

Ces données sont relativement proches de celles mesurées lors des campagnes précédentes, dont l'historique est fourni dans le **Tableau 5** :

Tableau 5 – Historique de la température et de l'humidité relative (en moyenne annuelle) en gare de Magenta de 2018 à 2022.

Année	2018	2019	2020	2021	2022
Température moyenne (°C)	21	19	20	18	19
Humidité relative (%)	51	56	52	52	50

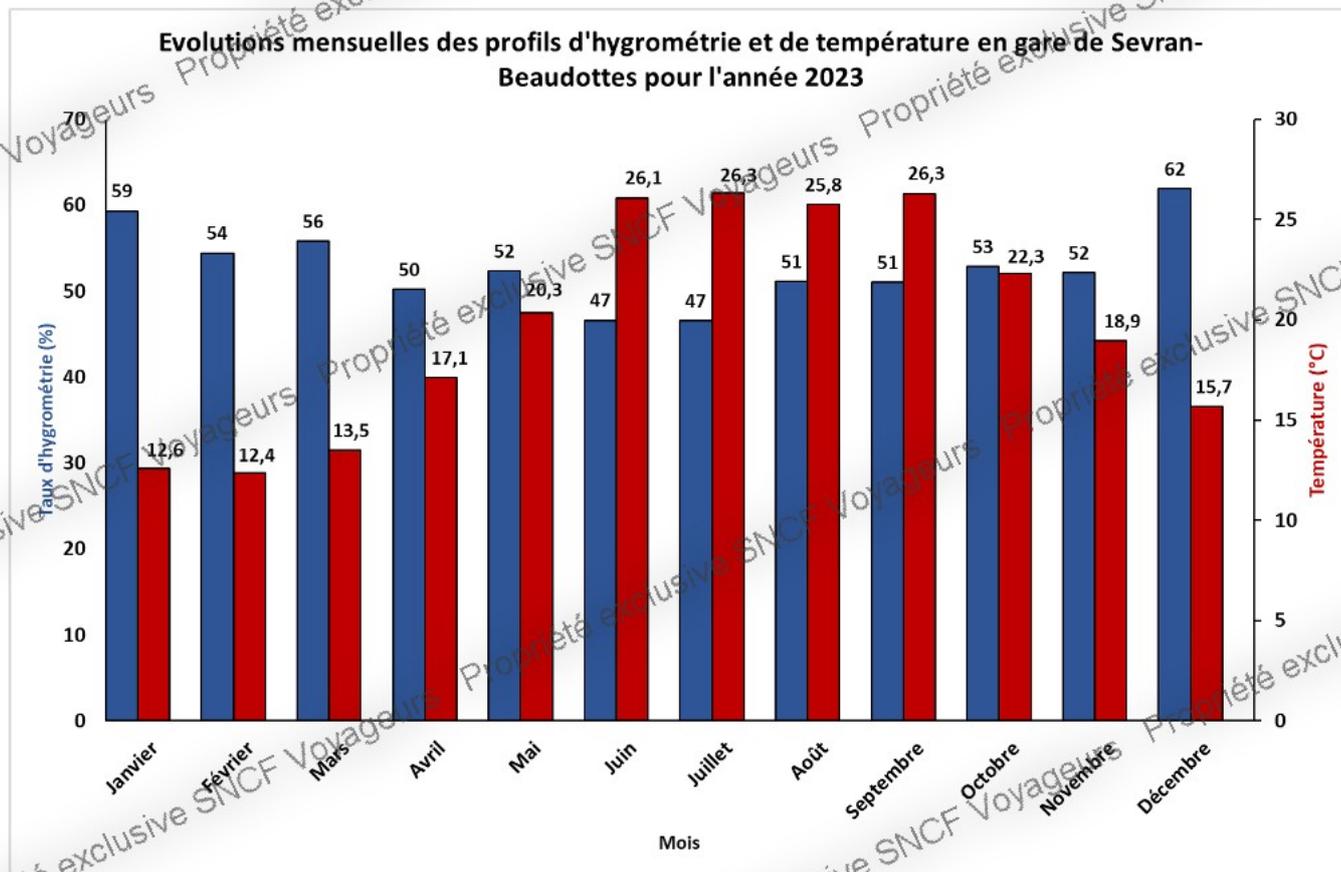


Figure 15 – Profil des température ambiante (en °C) et humidité relative (en %) en gare de Sevran-Beaudottes pour 2023

La **Figure 15** présente sur un même graphique, l'évolution de l'humidité relative et des températures moyennes mensuelles mesurées en gare de Sevran-Beaudottes pour l'année 2023.

L'humidité relative de l'air varie en fonction de sa température de sorte que lorsque la température augmente, l'humidité relative (cf. définition humidité relative) diminue. Cela vient du fait que plus l'air est chaud, plus il peut contenir d'eau sous forme vapeur.

En gare de Sevran-Beaudottes, la période de juin à septembre 2023 est caractérisée par un air plus chaud et plus sec au niveau des quais. Une augmentation progressive des températures est observée pour atteindre le maximum de l'année en juillet et septembre avec 26,3°C et une décroissance des taux d'hygrométrie s'observe parallèlement pour atteindre 47% d'humidité relative en juin - juillet. Durant la période juin – août, les concentrations en PM10 ont été parmi les plus importantes de l'année. Les mois de janvier,

février, mars, et décembre 2023 sont quant à eux caractérisés par un air plus froid et plus humide sur les quais de la gare de Sevrans-Beaudottes, avec en parallèle les concentrations en PM10 plus faibles que les autres mois.

La **figure 15**, met en évidence le fait que la température et l'humidité relative mesurées sur le quai sur les périodes dont les concentrations mensuelles sont les plus importantes (voir figure 3) coïncident avec celles où les températures moyennes sont les plus importantes de l'année et où l'humidité relative moyenne est parmi la plus faible.