

AGENCE D'ESSAI FERROVIAIRE



RAPPORT

**MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE
SEVRAN - BEAUDOTTES - 2021**

Référence AEF : DOC058560-00 / MES022960

Laurent DUPONT

Signature numérique de Laurent DUPONT
Date : 2022.07.07 11:10:48 +02'00'

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 d'Anaïs WATBLED

10 rue Camille Moke

93210 SAINT-DENIS

France

MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE SEVRAN - BEAUDOTTES - 2021

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 2021. 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 166 et 76 µg/m³.

La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré que le mois d'août 2021 a enregistré les concentrations en PM10 et PM2,5 les plus importantes sur la période de mesure. La comparaison des données disponibles en 2021 avec l'année précédente a montré une diminution des concentrations moyennes en PM10 (-6%) et une légère augmentation en PM2,5 (+3%). L'année fut particulière du fait de la période de couvre-feu en début d'année et d'une expérimentation de traitement de l'air réalisée entre novembre 2020 et juillet 2021.

Elaboration du rapport

Rédacteur

Nom : BRUN Ghislain

Fonction : Technicien supérieur en qualité de l'air

Vérificateur

Nom : GHOZZI Fayes

Fonction : Ingénieur spécialiste en qualité de l'air

Approbation du rapport

Nom : DUPONT Laurent

Fonction : Responsable du pôle Chimie – Environnement - Lubrifiants

Avertissement :

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

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

SUIVI DES MODIFICATIONS

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

La dernière version Annule et Remplace les versions précédentes

DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE EXTERNE AEF

Références	Intitulé
Airparif Site internet : https://data-airparif-asso.opendata.arcgis.com/	Données brutes et évènements sur la station Airparif Tremblay-en-France.

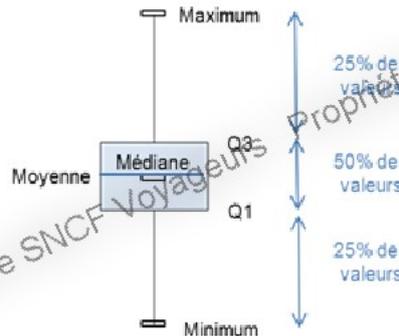
DOCUMENTS DE RÉFÉRENCE INTERNE AEF

Références	Intitulé
DOC051390	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2018)
DOC054178	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2019)
DOC056444	Site de mesures de particules en continu en gare de Sevrans-Beaudottes (2020)
DOC058559	Site de mesures de particules en continu en gare de Magenta (2021)

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 ; - Les minima et maxima aux extrémités des moustaches. 
Humidité relative	L'humidité relative est donnée par le rapport entre la quantité de vapeur d'eau contenue dans l'air et la quantité de vapeur d'eau maximale possible (définition Météo France)
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)
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 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 qui 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	8
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
3 - RESULTATS ET COMMENTAIRES	10
3.1 - Niveaux moyens observés sur le quai en gare de Sevrans-Beaudottes	10
3.2 - Variabilité temporelle	12
3.3 - Comparaison des principaux résultats avec les campagnes antérieures	19
4 - FACTEURS D'INFLUENCE ET DE CONFORT	24
4.1 - Trafic ferroviaire et fréquentation	24
4.2 - Ventilation	27
4.3 - Qualité de l'air extérieur	27
5 - CONCLUSION	33
ANNEXES	34
SOMMAIRE DES ANNEXES	35

1 - OBJET

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

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. Ainsi depuis 2016 la gare de Magenta fait l'objet de mesures en continu des polluants particuliers. La gare de Sevrans-Beaudottes a déjà fait l'objet de campagnes de mesures de polluants gazeux et particuliers. La dernière 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 mesures en continu des particules PM10 et PM2,5 dans la gare de Sevrans-Beaudottes sur la période de janvier à décembre 2021.

Il est toutefois important de mentionner que l'année 2021 est une année particulière du fait de la période de couvre-feu¹ applicable à l'ensemble du territoire métropolitain de 18h00 à 06h00 du 16 janvier au 03 mai 2021 en lien avec l'épidémie de COVID-19.

Par ailleurs la gare de Sevrans-Beaudottes a fait l'objet d'une expérimentation consistant à installer sur les quais des colonnes de filtration de l'air sur la période novembre 2020 - juillet 2021.

En date du 17 juillet 2021, l'appareil de mesures de la qualité de l'air installé en gare a été déplacé sur le quai (en direction de Paris) en raison de travaux devant être menés dans le cadre du Grand Paris Express (GPE) et de l'interconnexion avec la nouvelle gare de Sevrans sur la ligne 16 du métro.

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. Un descriptif de la gare figure en **Annexe 1**.

¹ Informations recueillies sur le site du gouvernement <https://www.gouvernement.fr/info-coronavirus/les-actions-du-gouvernement>, consulté le 01/03/2022.

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. Les particules font partie des polluants 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. Les particules sont capables de pénétrer dans l'appareil respiratoire et peuvent se déposer au niveau des alvéoles pulmonaires pour la fraction la plus fine (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.

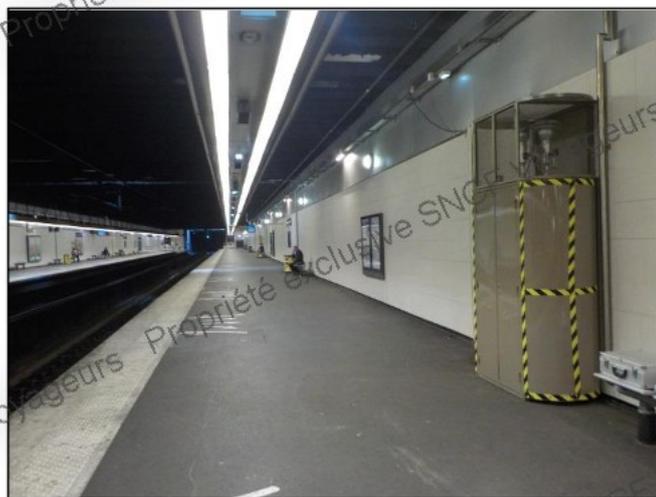


Figure 1 - Baie de mesure en gare de Sevrans-Beaudottes contenant l'analyseur automatique de particules (TEOM)

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 PM2,5). 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. En

date du 17 juillet 2021, la baie a été déplacée sur le même quai mais de quelques mètres en direction du sud pour ne pas gêner les zones de travaux. Les 2 localisations du point de mesure figurent en **Annexe 2**.

Le site de mesure fonctionnant en continu, ce rapport détaille les mesures effectuées du 01/01/2021 au 31/12/2021 inclus. Cette période d'un an permet d'avoir suffisamment de données collectées et validées (89% 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 2021.

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. Ces coupures sont 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.

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 et rappelées en **Figure 2**.

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

3.1 - Niveaux moyens observés sur le quai en gare de 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 2021 en Figure 2.

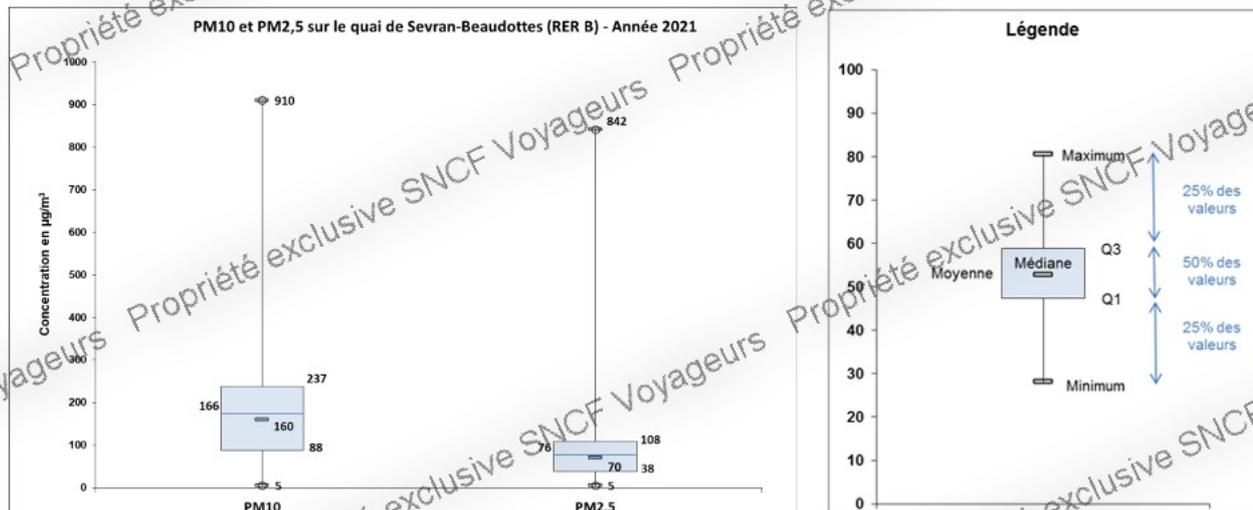


Figure 2 - Boîtes à moustaches des concentrations en moyennes horaires pour les PM10 et PM2,5 exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Sevrans-Beaudottes - (RER B - 2021)

Les boîtes à moustaches montrent une distribution relativement homogène des concentrations en PM10 et PM2,5. Les valeurs maximales sont isolées et importantes. Concernant les PM10, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **88 et 237 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , avec une moyenne de **166 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane de **160 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Pour les PM2,5, la moitié des concentrations mesurées sont comprises entre **38 et 108 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , pour une moyenne de **76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** et une médiane de **70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** .

La concentration horaire maximale mesurée a été observée le 01/10/2021, sur la tranche horaire 09h00-10h00 pour les deux tailles de particules. Le 01/10/2021, la concentration moyenne en PM10 a atteint **910 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** sur la tranche horaire **09h00-10h00**, soit un peu plus de 5 fois la concentration moyenne mesurée en gare de Sevrans-Beaudottes sur la totalité de la période de mesure. La concentration en PM2,5 mesurée le même jour sur la même tranche horaire, est de **842 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** , soit une concentration 11 fois supérieure à la concentration moyenne mesurée pour les PM2,5 lors de l'année 2021.

La proportion moyenne de particules PM2,5 dans les particules PM10 est de 46%, **soit un ratio moyen PM2,5/PM10 de 0,46**. Ce ratio est obtenu en réalisant la moyenne des ratios horaires journaliers sur toute l'année.

Conclusion :

Les concentrations moyennes sur l'année 2021, en PM10 et en PM2,5 sont respectivement de **166 et 76 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** . Les concentrations horaires maximales mesurées en PM10 et PM2,5 sont respectivement plus de 5 fois et 11 fois supérieures aux concentrations moyennes mesurées pour chacune des deux fractions de particules en gare de Sevrans-Beaudottes.

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 car les niveaux les plus faibles, qui sont principalement observés lors des périodes de fermeture de la gare, n'entrent pas dans le calcul des concentrations moyennes mesurées en service commercial.

Propriété exclusive SNCF Voyageurs

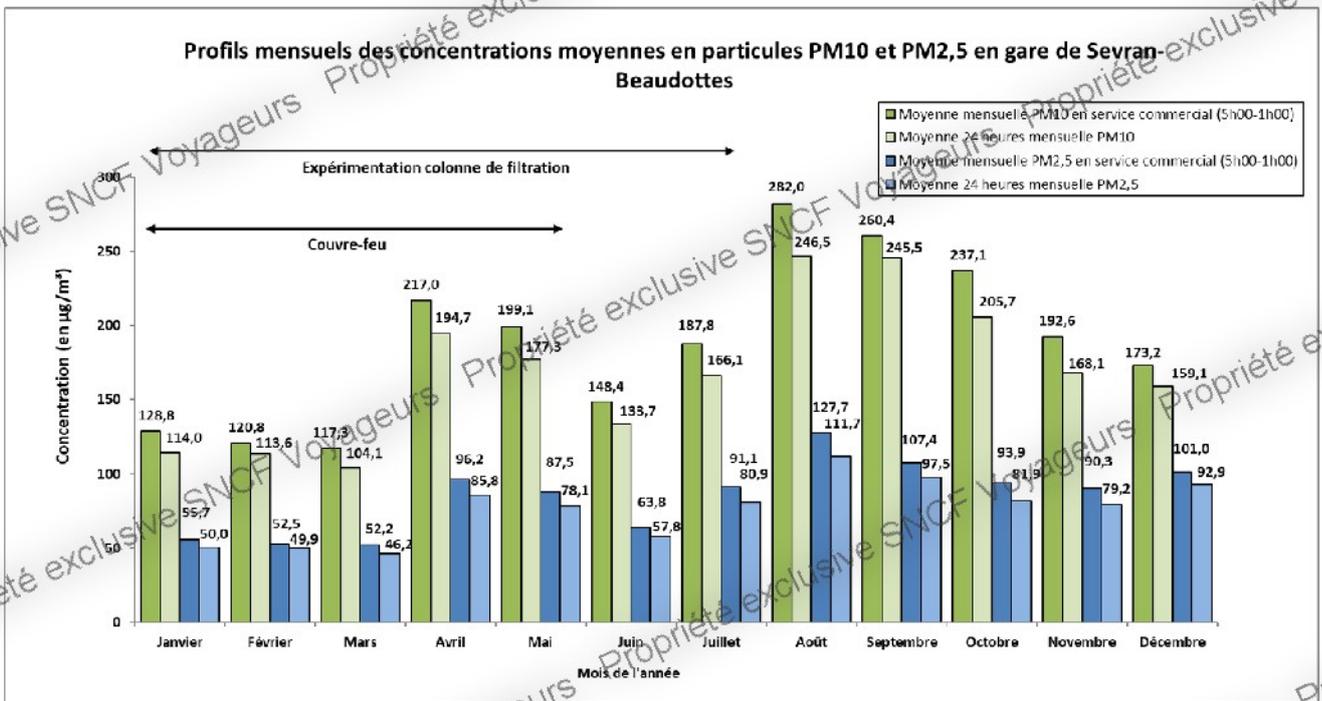


Figure 3 - Evolution des profils mensuels en PM10 et en PM2,5 exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Sevran-Beaudottes (RER B) pour l'année 2021.

DOC058560-00 / MES022960

OR_DC

L'observation des niveaux moyens mensuels en particules PM10 et PM2,5 sur la période d'ouverture de la gare lors de l'année 2021, permettent d'établir les constats suivants :

- Les concentrations moyennes mensuelles en service commercial, **les plus importantes sont mesurées lors du mois d'août** avec des valeurs respectives en **PM10 et en PM2,5 de 282 et de 127,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** ;
- **Les mois de janvier, février et mars 2021 montrent les concentrations moyennes les plus basses de l'année.** Il est à noter que le couvre-feu de l'année 2021 s'est déroulé du 16/01/2021 au 03/05/2021. Les concentrations moyennes mensuelles durant la période d'ouverture de la gare au public lors de ces mois sont en moyenne de **122,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et 53,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5.**
- Lors du second semestre 2021, après avoir observé les concentrations les plus importantes de l'année en août, les concentrations en particules montrent une tendance générale à la baisse jusqu'en fin d'année. Les concentrations moyennes obtenues en novembre et décembre 2021 sont similaires à celles mesurées lors des mois d'avril et mai 2021.

Entre le 1^{er} juillet et le 28 août 2021, du lundi au vendredi à partir de 23h, une interruption du trafic a eu lieu pour cause de travaux de maintenance des voies. De plus, les colonnes de filtration de particules ont été définitivement mises à l'arrêt en juillet. Ces événements ont probablement conduit à une augmentation modérée des concentrations en PM10 et PM2,5 dès le mois de juillet puis une augmentation plus importante des concentrations moyennes lors du mois d'août. Par ailleurs, la hausse des concentrations en particules observée lors des mois d'avril et mai 2021, coïncide avec une période d'arrêt de fonctionnement des colonnes de filtration (du 09/04 au 25/05/2021).

Conclusion :

Les concentrations moyennes mensuelles en PM10 et PM2,5 les plus importantes de l'année 2021 ont été mesurées lors du mois d'**août** avec respectivement **282,0 et 127,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en service commercial.** Les concentrations en PM10 et PM2,5 les plus faibles sont ainsi mesurées lors des mois de janvier, février et mars 2021 avec respectivement **122,3 et 53,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne des services commerciaux.** Lors du second semestre, la baisse des concentrations moyennes mensuelles amorcée dès le mois d'août 2021 s'est poursuivie lentement et continuellement jusqu'à obtenir des concentrations proches mais encore supérieures aux moyennes annuelles pour les deux fractions de particules en décembre 2021.

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.**

Profils hebdomadaires des concentrations moyennes en particules PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes

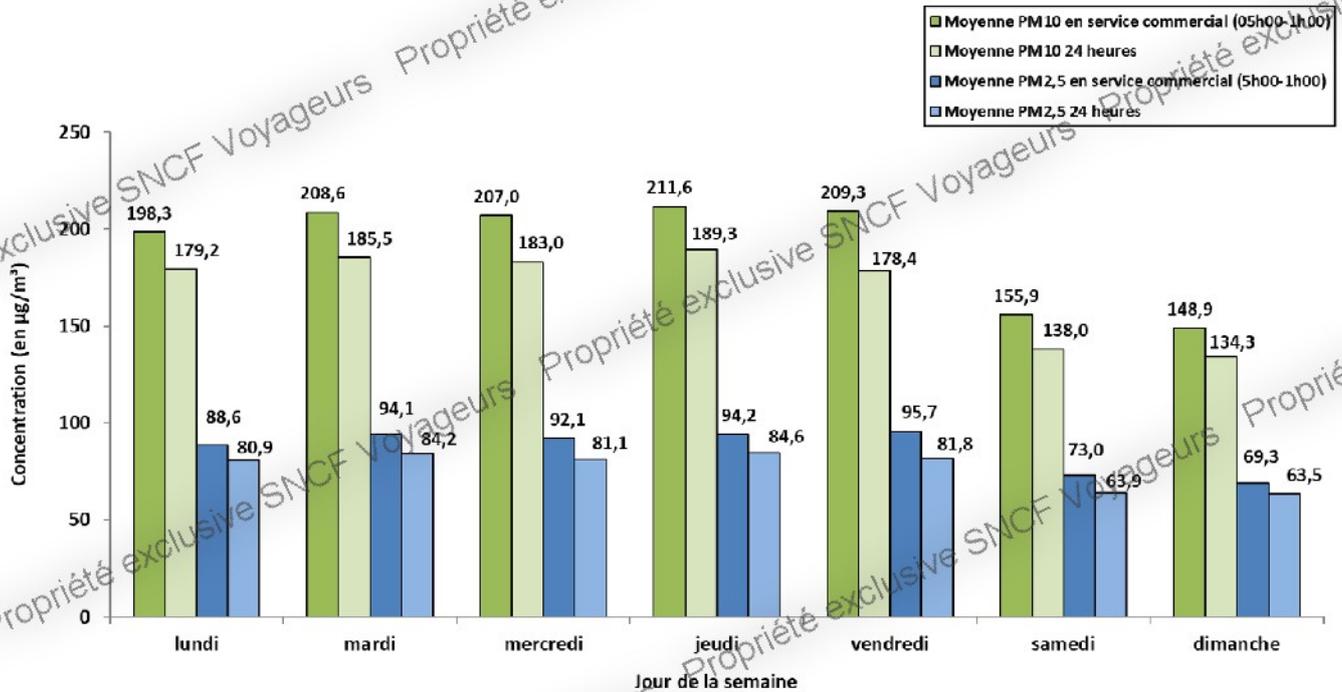


Figure 4 - Evolution des profils hebdomadaires en PM10 et en PM2,5 exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en gare de Sevrans-Beaudottes (RER B) pour 2021.

DOC058560-00 / MES022960

06_DOC0280

Les résultats présentés en Figure 4 montrent que les niveaux moyens en particules sont stables les jours ouvrés (du lundi au vendredi) : entre **198,3 et 211,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les particules PM10 et entre **88,6 et 95,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$** pour les PM2,5 sur la période d'ouverture de la gare au public (moyenne en service commercial).

Une faible 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 :

- **26% pour les PM10** avec une concentration moyenne de 152,4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (service commercial) ;
- **23% pour les PM2,5** avec une concentration moyenne de 71,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (service commercial).

Ces résultats sont en partie liés à la baisse du nombre de trains en circulation durant les week-ends et à l'interruption totale des circulations durant le week-end du 14 au 15 juillet 2021 (cf. chapitre 4.1).

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 2021.

Propriété exclusive SNCF Voyageurs

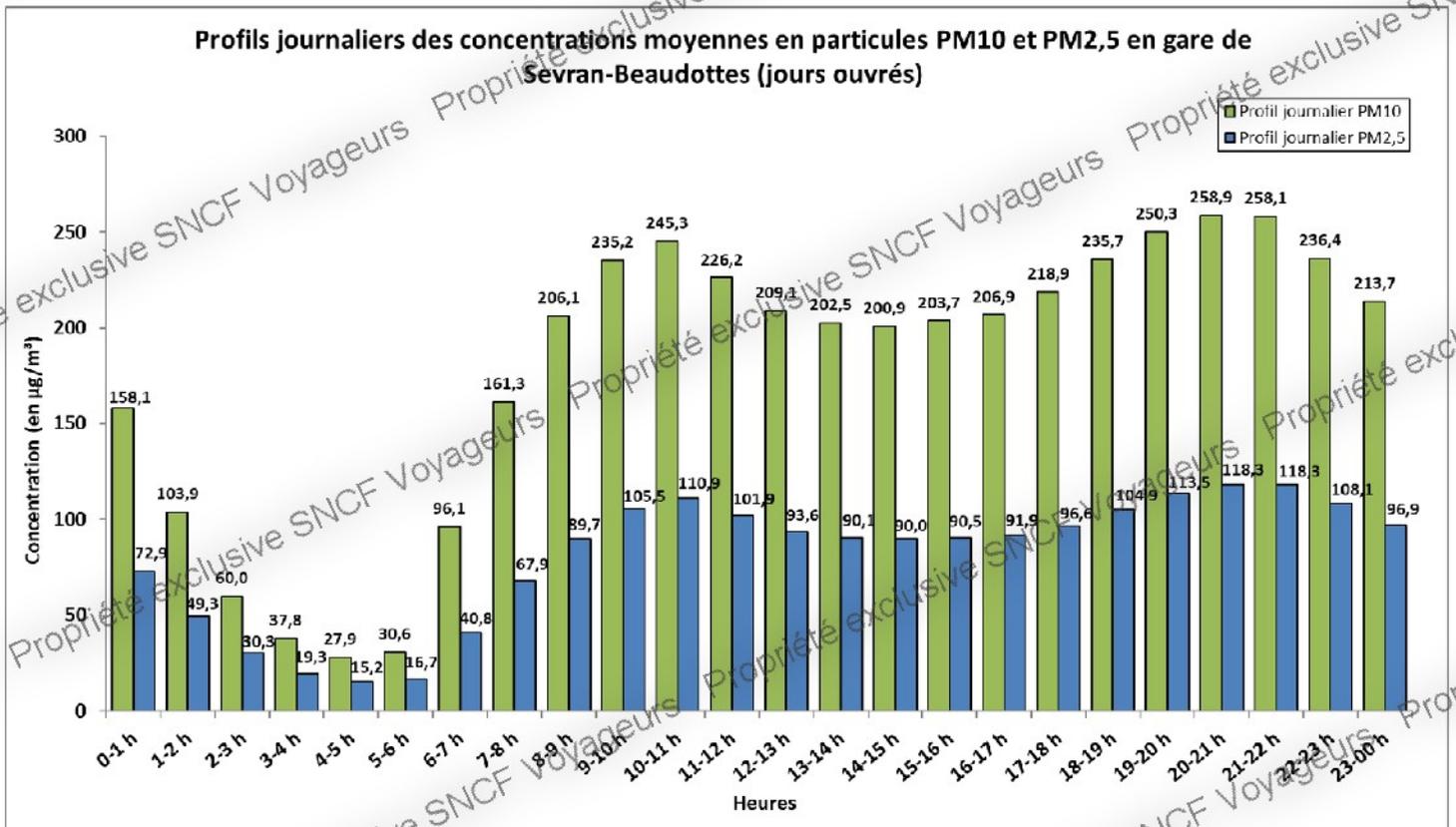


Figure 5 - Evolution des profils journaliers en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes pour 2021 (jours ouvrés).

DOC058560-00 / MES022960

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

Durant les périodes de pointe, les concentrations horaires moyennes maximales sont mesurées, pour les deux fractions de particules, sur les créneaux horaires **10h – 11h** et **20h – 21h**. Ainsi, aux heures de pointe du matin et du soir, les concentrations horaires moyennes maximales en particules sont respectivement de **245,3 et 258,9 µg/m³ pour les PM10 et 110,9 et 118,3 µg/m³ 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 30 µg/m³ pour les PM10 et 15 µg/m³ pour les particules PM2,5**.

Les fluctuations observées sur le profil PM2,5 sont de plus faible amplitude que celles observées pour les PM10. Ceci peut s'expliquer par la taille des particules émises lors des circulations ferroviaires qui sont majoritairement des particules grossières. En effet, le temps de dépôt des particules en suspension varie selon leur taille, ainsi la différence observée concernant l'amplitude des variations horaires peut en partie s'expliquer du fait que les particules les plus grosses se déposent plus rapidement.

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 2021 sont présentées en **Figure 6**.

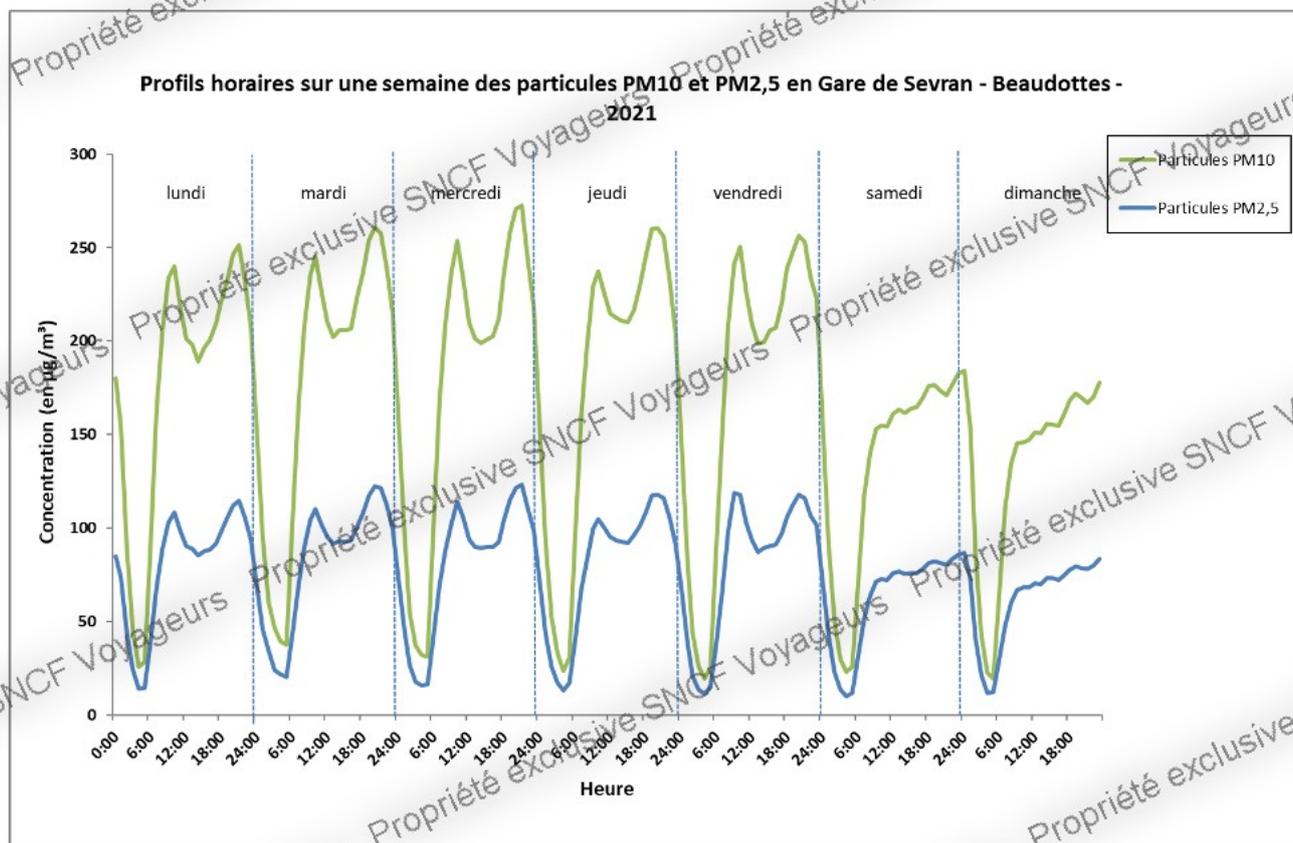


Figure 6 - Evolution des profils horaires sur une semaine complète en PM10 et PM2,5 en gare de Sevrans Beaudottes en 2021.

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 apparaît également que pour les jours ouvrés, les concentrations en PM10 et PM2,5 sont toujours légèrement supérieures lors de la pointe du soir que lors de la pointe du matin. Ce caractère semble plus prononcé et plus visible pour les journées du mercredi (pointe du soir les plus élevées) et pour les journées du jeudi (pointe du matin les plus faibles) sur l'ensemble de l'année 2021.

3.3 - Comparaison des principaux résultats avec les campagnes antérieures

Les campagnes de mesures en continu réalisées de 2018 à 2021 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 **Figure 7 et 8** permettent de confronter la distribution des données de PM10 et PM2,5 lors des campagnes de 2018 à 2021.

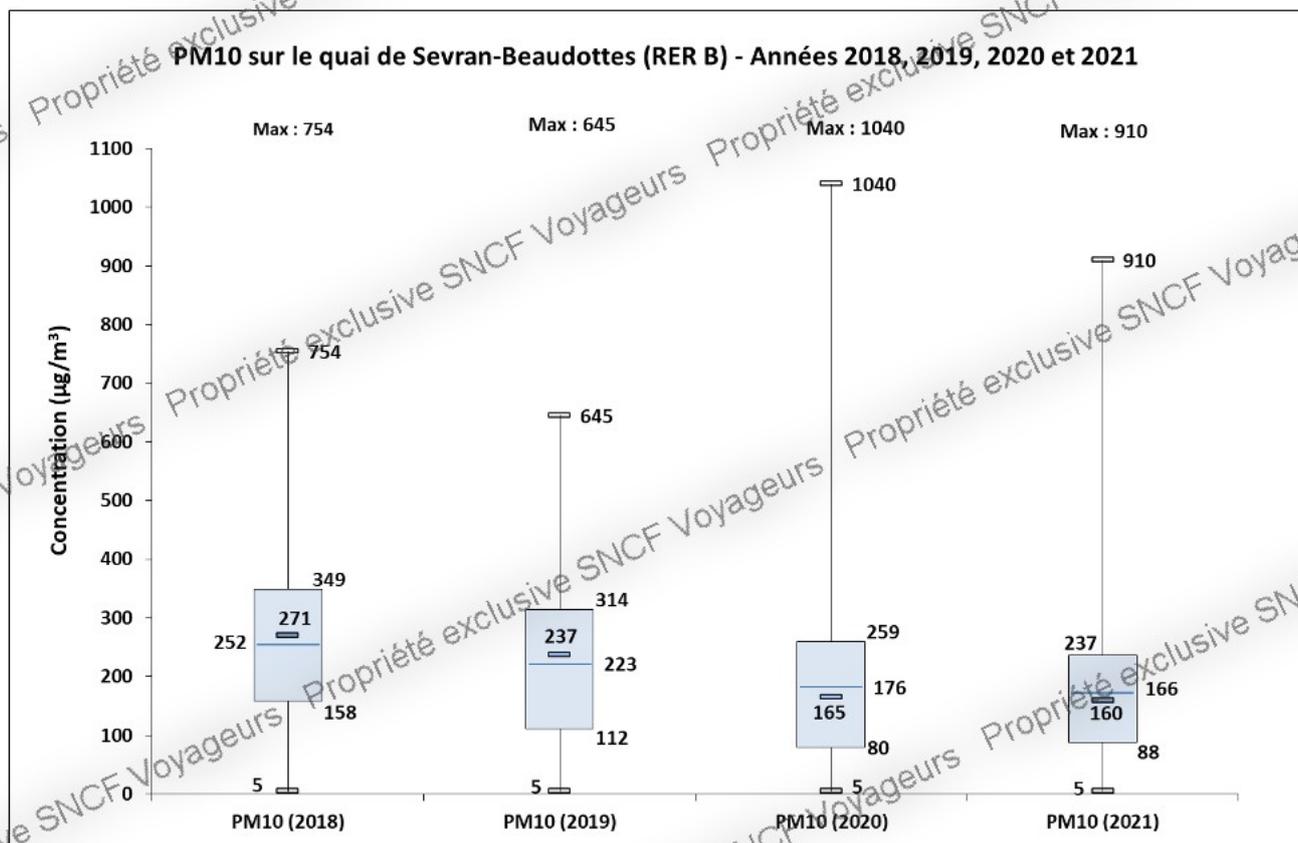


Figure 4 – Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM10 en gare de Sevran-Beaudottes pour les années de 2018 à 2021.

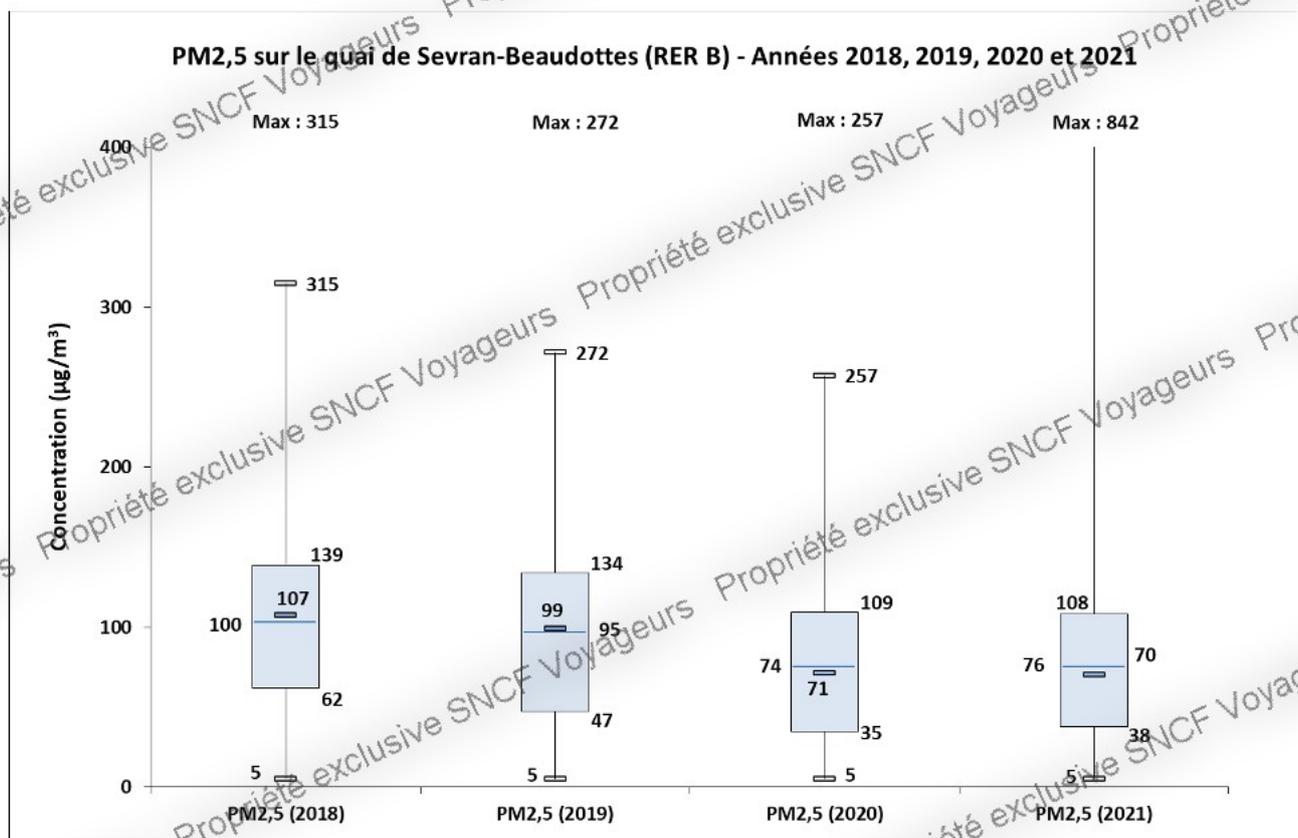


Figure 8 – Boîtes à moustaches des concentrations en moyenne horaire en PM2,5 en gare de Sevran-Beaudottes pour les années de 2018 à 2021.

Les résultats indiquent qu'en 2021, une baisse de la concentration moyenne en PM10 a été observée par rapport aux années précédentes. 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. Une diminution des concentrations moyennes de **6% en PM10 et une augmentation de 3% pour les PM2,5** ont respectivement été observées **entre 2020 et 2021**.

Il apparaît également que des baisses progressives des concentrations sont observées depuis 2018 avec une rupture plus marquée entre 2018/2019 d'une part et 2020/2021 d'autre part. Ces baisses sont respectivement de l'ordre de **34% entre 2018 et 2021 et de 26% entre 2019 et 2021 pour les PM10**. Elles sont ensuite de **24% entre 2018 et 2021 puis 20% entre 2019 et 2021 pour les PM2,5**. L'hypothèse émise est que ces résultats sont peut-être les conséquences d'une part de la crise sanitaire (couvre-feu) et d'autre part de l'action des colonnes de filtration des particules.

En revanche, la concentration moyenne maximale en PM10 mesurée en 2021 est la 2^{ème} plus élevée sur les quatre dernières années (valeur isolée). Pour la fraction PM2,5, le maximum observé en 2021 est la plus élevé mesuré lors des années précédentes.

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 2019, 2020 et 2021 en gare de Sevrans-Beaudottes.

Les résultats de mesures en continu de 2019 et 2020 montrent des ressemblances dans les profils de concentrations en PM10 et PM2,5. Un profil en cloche apparaît avec les concentrations maximales observées en juillet et les minimales en janvier et décembre.

Pour 2021, les profils des concentrations mensuelles en PM10 et PM2,5 montrent une alternance d'augmentations et de diminutions des niveaux de particules avec des pics mensuels atteints une première fois en avril puis une seconde fois lors du mois d'août.

L'exploitation des profils mensuels en PM10 et PM2,5 de l'année 2021 montre que les concentrations moyennes mensuelles de 2021 sont inférieures à celles mesurées lors des campagnes 2019 et 2020 sur la première moitié de l'année (jusqu'en août et octobre) puis les niveaux mesurés semblent intermédiaires voire parfois supérieurs aux niveaux mesurés lors des deux précédentes campagnes.

Les concentrations inférieures en 2021 et plus particulièrement pour le 1^{er} semestre, par rapport aux années précédentes peuvent s'expliquer par plusieurs éléments :

- L'expérimentation relative aux colonnes de filtration installées en gare de Sevrans-Beaudottes avec un arrêt définitif en juillet a potentiellement causé une baisse de l'ordre de 45% en concentrations des PM10 et PM2,5.
- 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.

Aucune valeur n'a été enregistrée durant la période du 1^{er} confinement 2020 du fait de la fermeture de la gare au public.

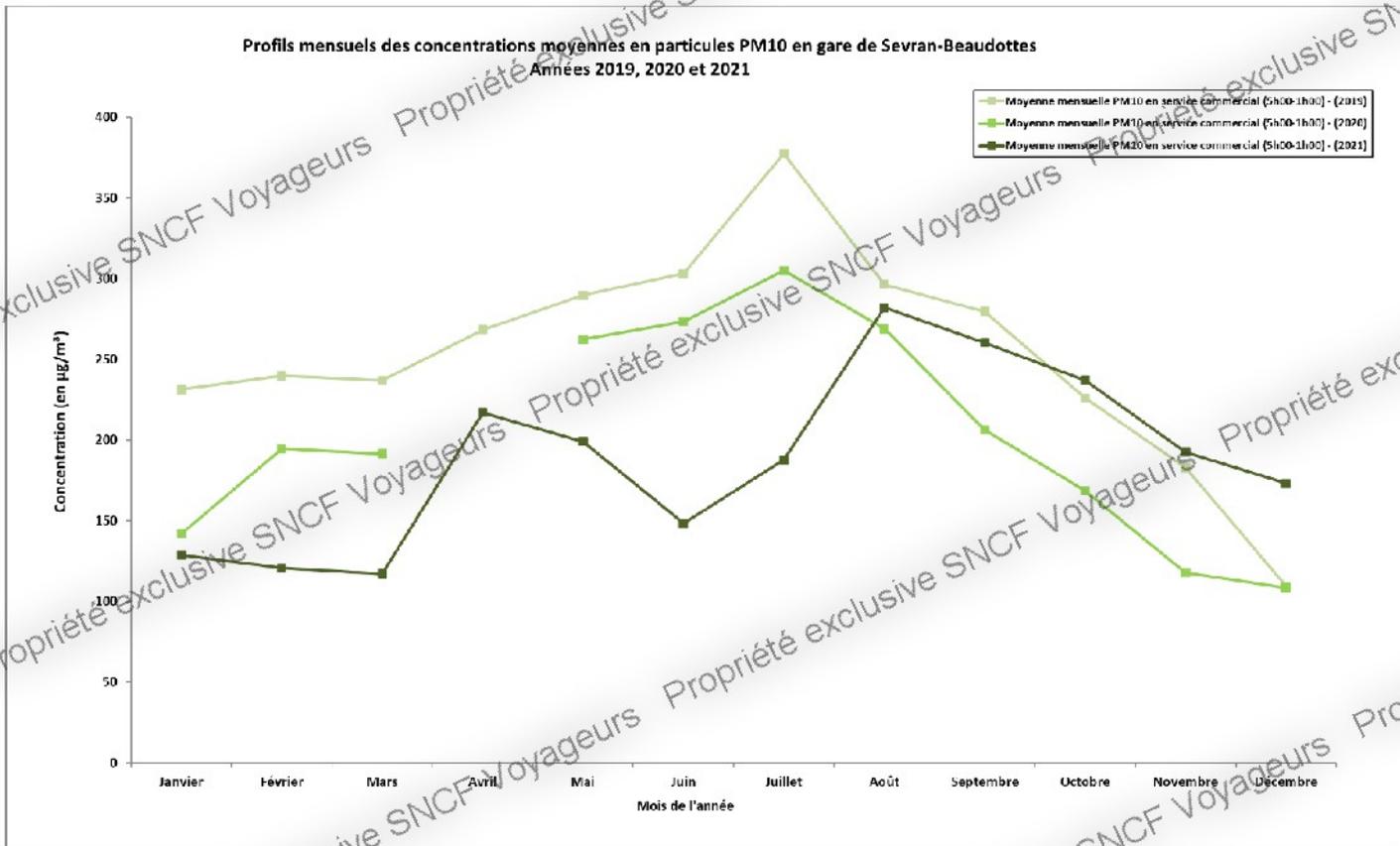


Figure 9 – Comparaison des profils mensuels de concentration en particules PM10 en gare de Sevrans-Beaudottes de 2019 à 2021

DOC058560-00 / MES022960

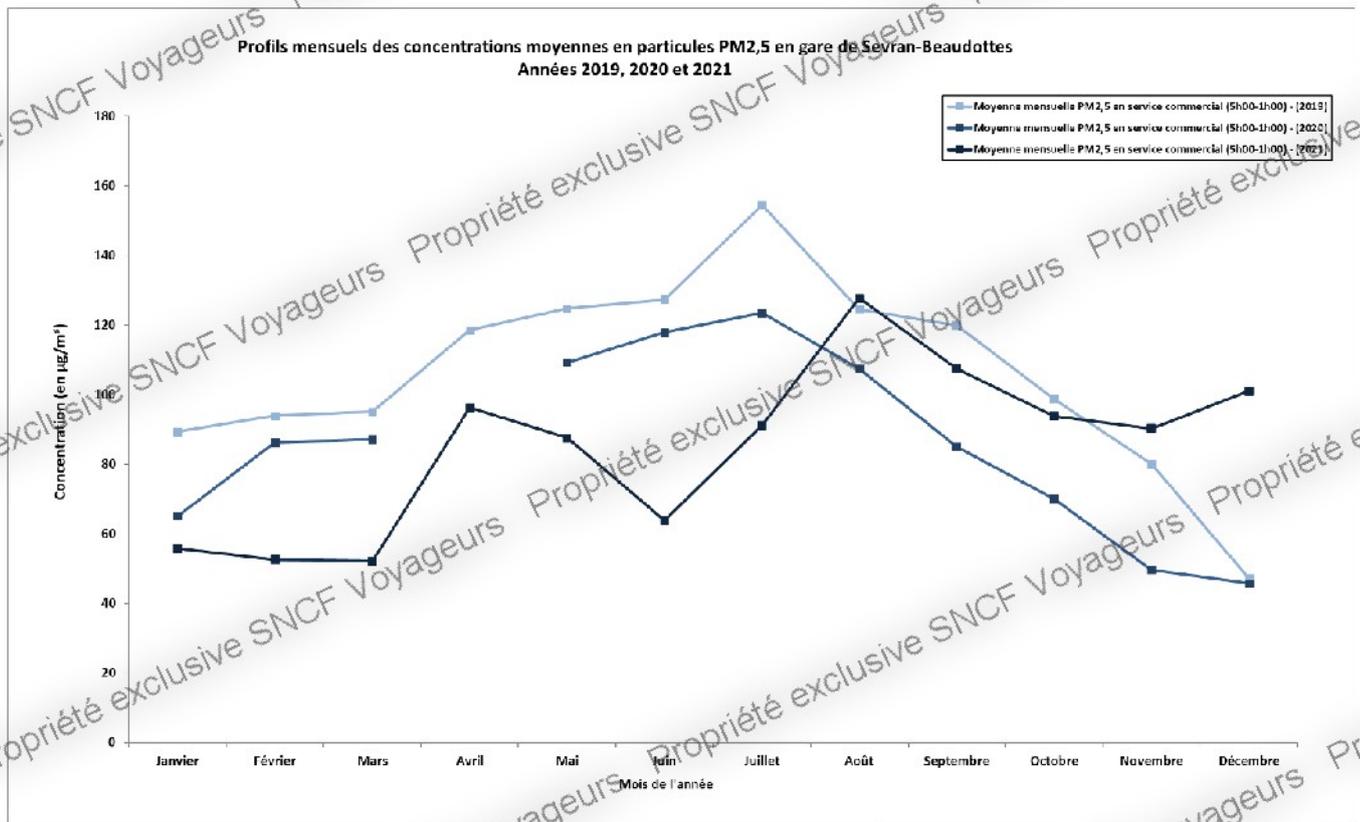


Figure 10 – Comparaison des profils mensuels de concentration en particules PM2,5 en gare de Sevrans-Beaudottes de 2019 à 2021

DOC058560-00 / MES022960

8

4 - FACTEURS D'INFLUENCE ET PARAMETRES DE CONFORT

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

4.1 - Trafic ferroviaire et fréquentation

Le trafic théorique en gare de Sevrans-Beaudottes (nombre théorique de trains par heure) pour l'année 2021 a été transmis par Transilien en fonction des jours ouvrés, samedis et dimanches sur la période couvrant la campagne de mesures.

Le nombre théorique de trains circulant par jour en gare de Sevrans-Beaudottes est de 233 pour les jours ouvrés et de 154 pour les samedis et dimanches.

La **Figure 11** renseigne l'évolution mensuelle du volume de voyageurs (ou fréquentation voyageurs) et du nombre de trains (ou circulations ferroviaires) en gare de Sevrans-Beaudottes pour l'année 2021.

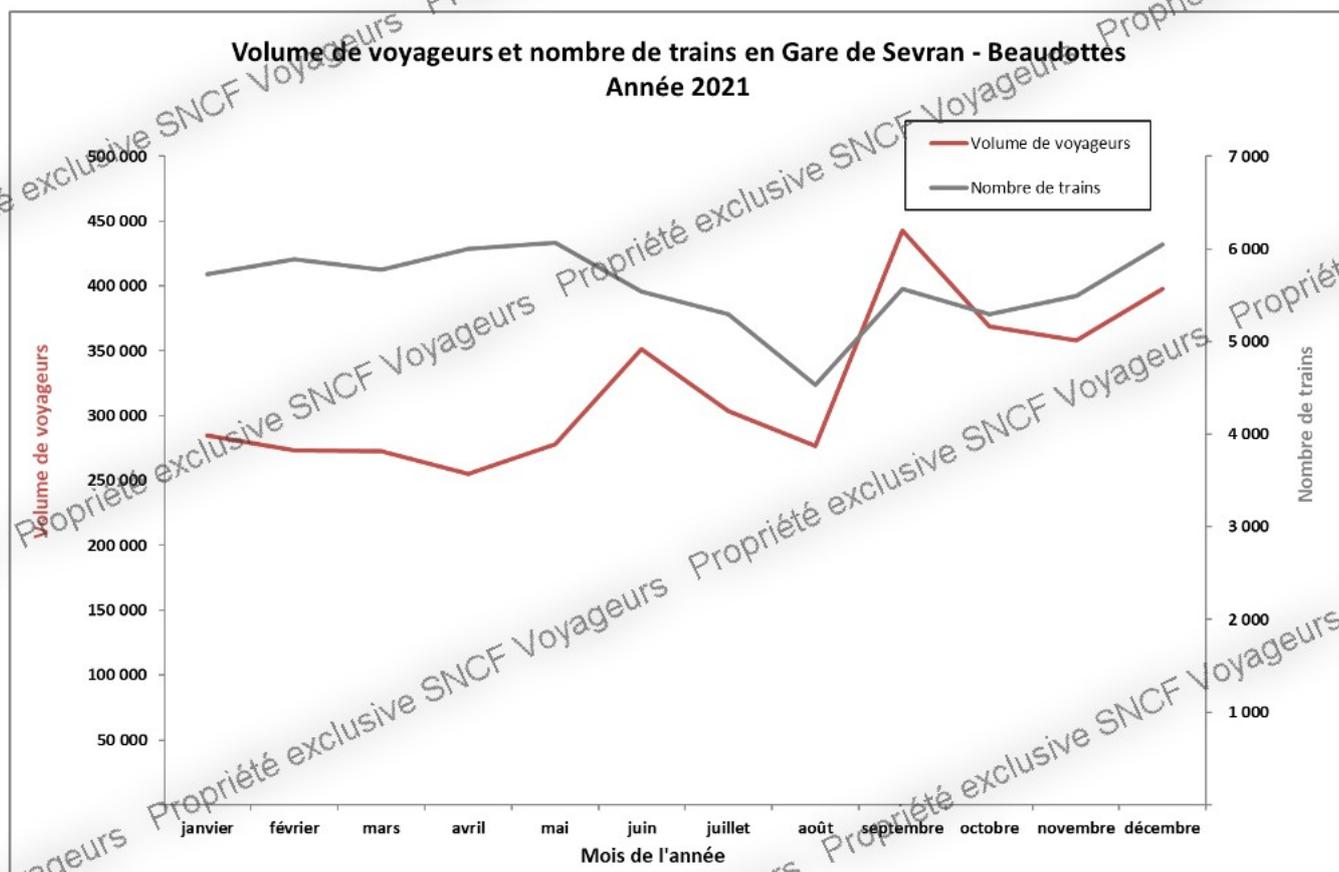


Figure 11 - Evolution mensuelle du volume de voyageurs et du nombre de trains en gare de Sevrans-Beaudottes sur 2021.

Les données présentées en **Figure 11** montrent que le volume de voyageurs ayant emprunté la gare de Sevrans-Beaudottes et le nombre de trains en circulation (nombre de trains de voyageurs en service commercial, les trains sans voyageurs ne sont pas comptabilisés) dans cette gare ont une **évolution similaire** dans l'ensemble. A contrario, les mois de janvier à février, mars à avril et octobre à novembre ont des **tendances opposées**.

Les principales différences concernant l'évolution de ces deux paramètres est observée dans les cas suivants :

- Entre les mois de mai à juin, on note une légère diminution du trafic (6067 en mai et 5538 en juin) qui en parallèle se traduit à l'opposé pour la fréquentation voyageur (277898 en mai, et 351377 en juin).
- Entre octobre et novembre, est observée une baisse du nombre de voyageurs (passage de 368655 à 357744 voyageurs) tandis que le trafic ferroviaire augmente (de 5293 à 5496 trains).

La **Figure 12** reprend sur un même graphique le nombre de trains en circulation avec le profil journalier des concentrations moyennes en particules PM10.

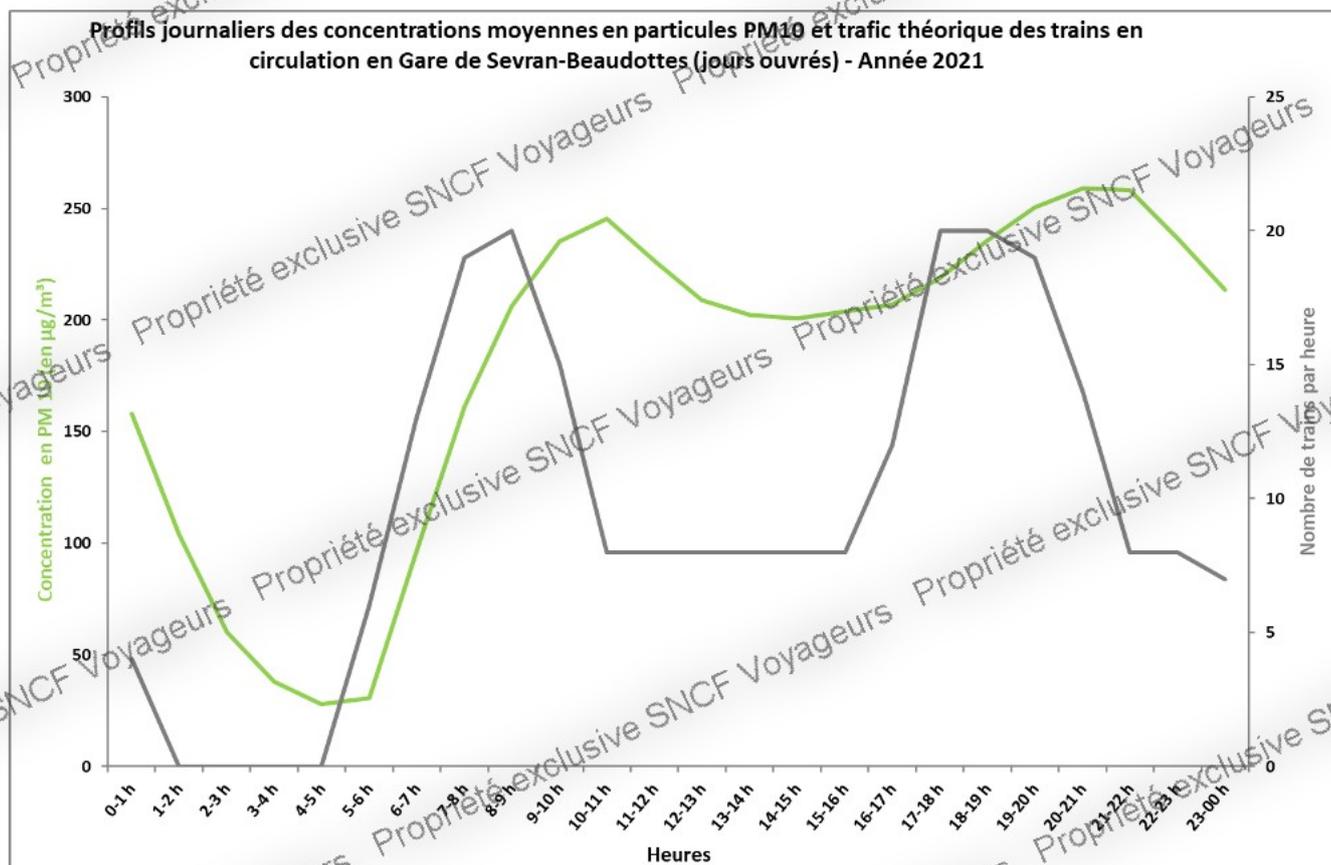


Figure 12 – Comparaison entre les profils horaires en particules PM10 et le trafic théorique des trains en circulation en gare de Sevrans-Beaudottes pour 2021.

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 7h00 à 10h00 et de 18h00 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).

4.2 - Ventilation

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 tout de même 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.

De plus, à partir du 02/11/2020, des colonnes de traitement d'air ont été installées sur les quais et mises en fonctionnement pour une durée 9 mois. Durant les périodes de fonctionnement, une baisse de 42-45% des concentrations en PM10 et PM2,5 a été observé.

4.3 - Qualité de l'air extérieur

4.3.1 - Généralités

La qualité de l'air ambiant mesurée à l'extérieur diffère de celle mesurée dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS), mais les polluants de l'air extérieur peuvent tout de même influencer la qualité de l'air mesurée en ces lieux. Dans les EFS, l'influence de la qualité de l'air extérieure peut être liée aux caractéristiques suivantes :

- la typologie de la gare : souterraine ou mixte (c'est-à-dire à la fois aérienne et souterraine) ;
- sa profondeur ;
- son système de ventilation (naturelle ou mécanique et dans ce dernier cas, entretien et maintien des performances) ;
- son environnement dans le milieu urbain et en particulier ses liaisons avec l'extérieur.

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

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

4.3.2 - Comparaison avec une station de mesure extérieure voisine

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 13**.

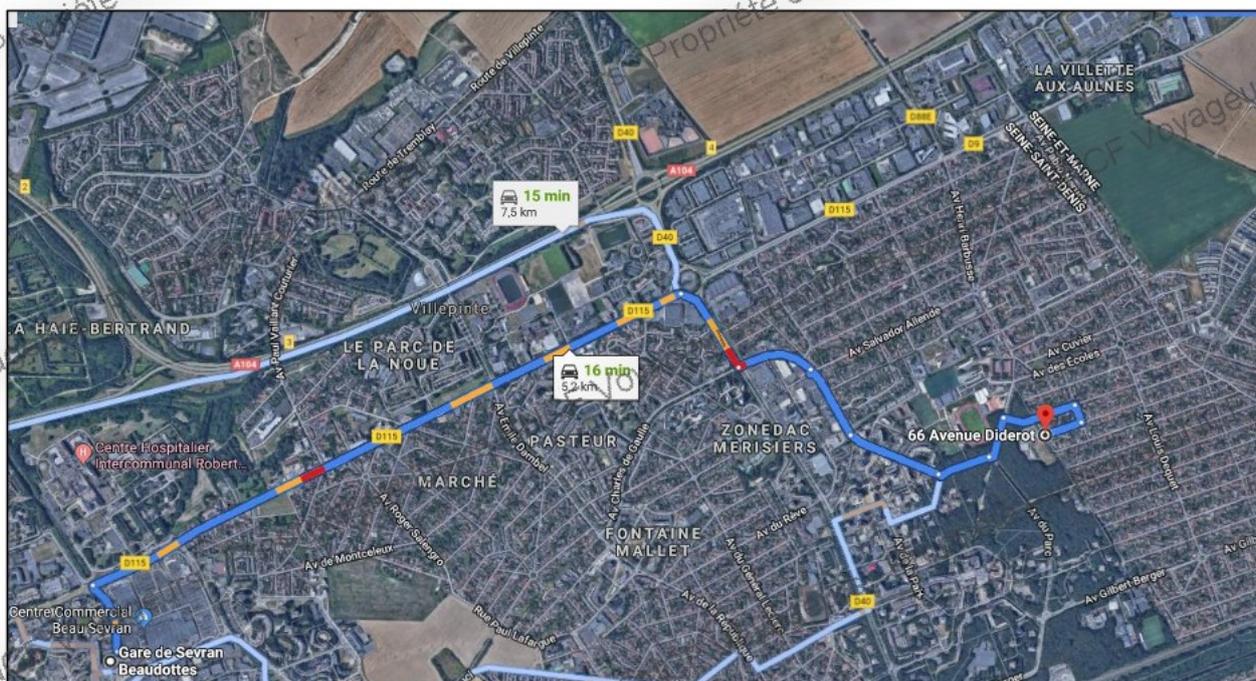


Figure 13 - Plan de situation de la gare de Sevran-Beaudottes et de la station de fond périurbaine la plus proche.

La **Figure 14** présente l'évolution des concentrations moyennes mensuelles en particules PM10 mesurées en gare de Sevran-Beaudottes et au niveau de la station périurbaine Airparif située dans la commune de Tremblay-en-France.

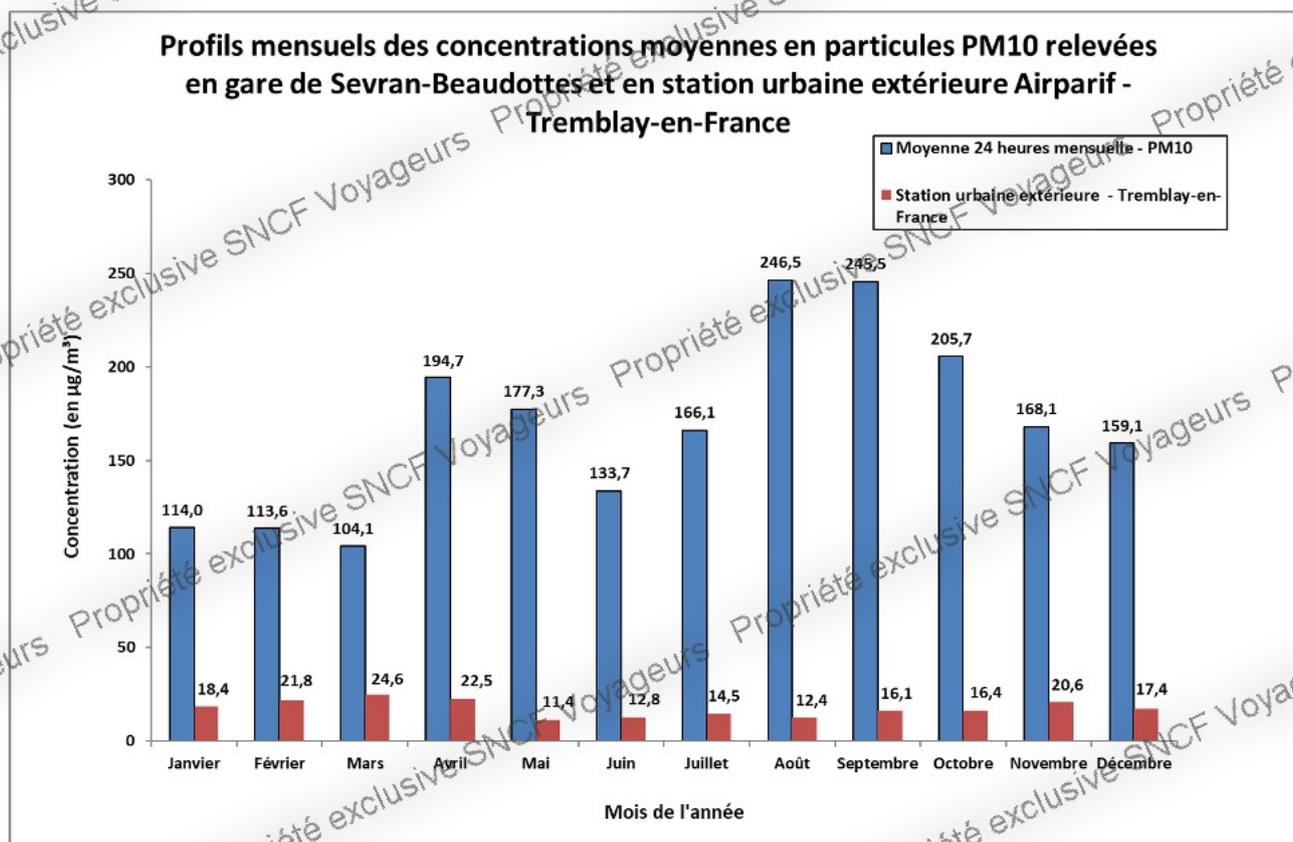


Figure 14 - Evolution mensuelle de la concentration en PM10 en gare de Sevran-Beaudottes et en station périurbaine de Tremblay-en-France – 2021

Les profils de concentrations présentés en **figure 14** montrent qu'il existe des différences importantes entre les niveaux mesurés en gare de Sevrans-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 2021 sont comprises entre 11,4 et 24,6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Les données mensuelles au niveau de cette station extérieure sont relativement stables d'un mois à l'autre. Ces niveaux sont en moyenne moins de dix fois inférieurs à ceux mesurés en gare de Sevrans-Beaudottes. L'influence de l'air extérieur sur les concentrations mesurées en gare de Sevrans-Beaudottes semble très limitée en ce qui concerne l'apport de polluants particuliers à l'échelle mensuelle dans la gare de Sevrans-Beaudottes. Durant les années précédentes, des observations similaires ont pu être rapportées.

A titre d'information, d'après les mesures réalisées 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 (7 jours d'épisode de pollution PM10 au total dont 1 en janvier (1^{er} janvier), 3 en février (21, 22 et 24 février), 2 en mars (1^{er} et 2 mars) et 1 en octobre 2021 (13 octobre). Ils n'ont eu qu'un très faible impact sur les mesures en gare.

4.3.3 - Paramètres de confort

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 15**.

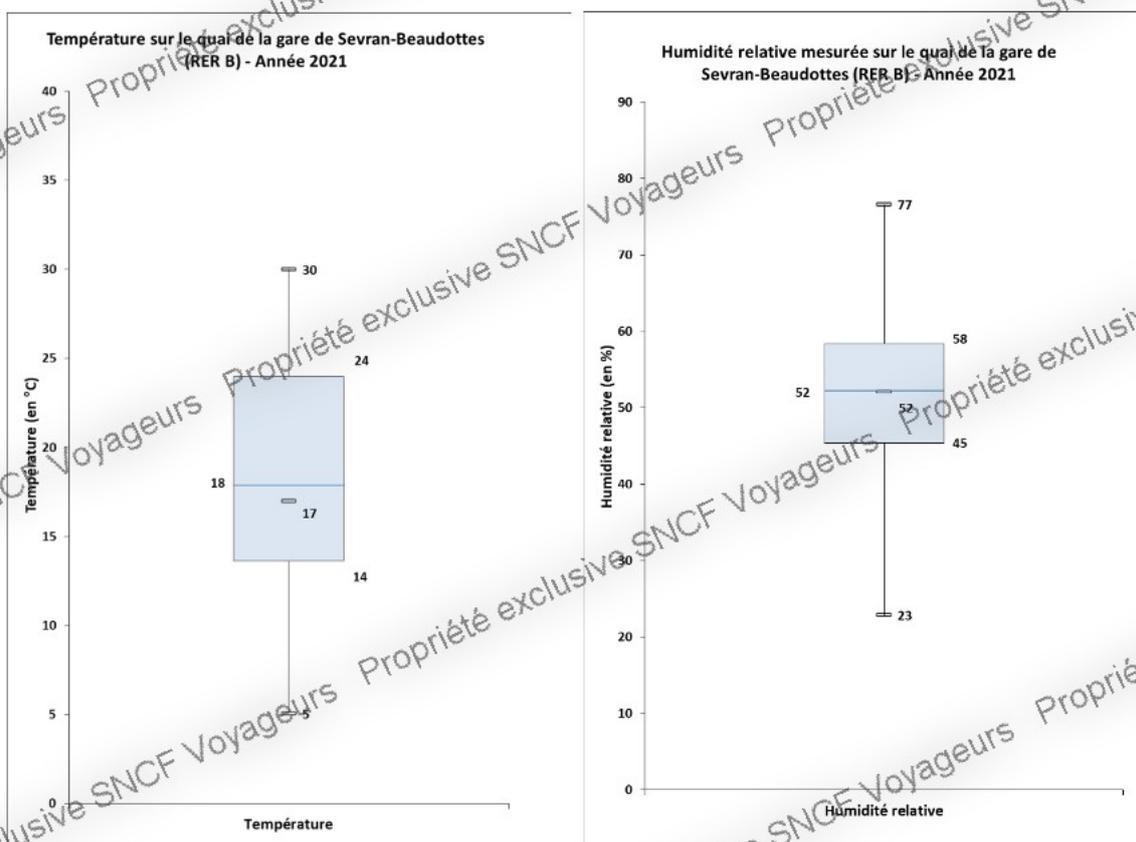


Figure 15 - Boîtes à moustaches des relevés quart horaires en température ambiante (en °C) et en humidité relative (en %) en gare de Sevran-Beaudottes pour l'année 2021

La **température moyenne** en gare de Sevran-Beaudottes est de **18°C**, avec des **valeurs mesurées comprises entre 5 et 30°C**. L'**humidité relative moyenne** est quant à elle de **52%**, avec des **valeurs mesurées comprises entre 23 et 77%**.

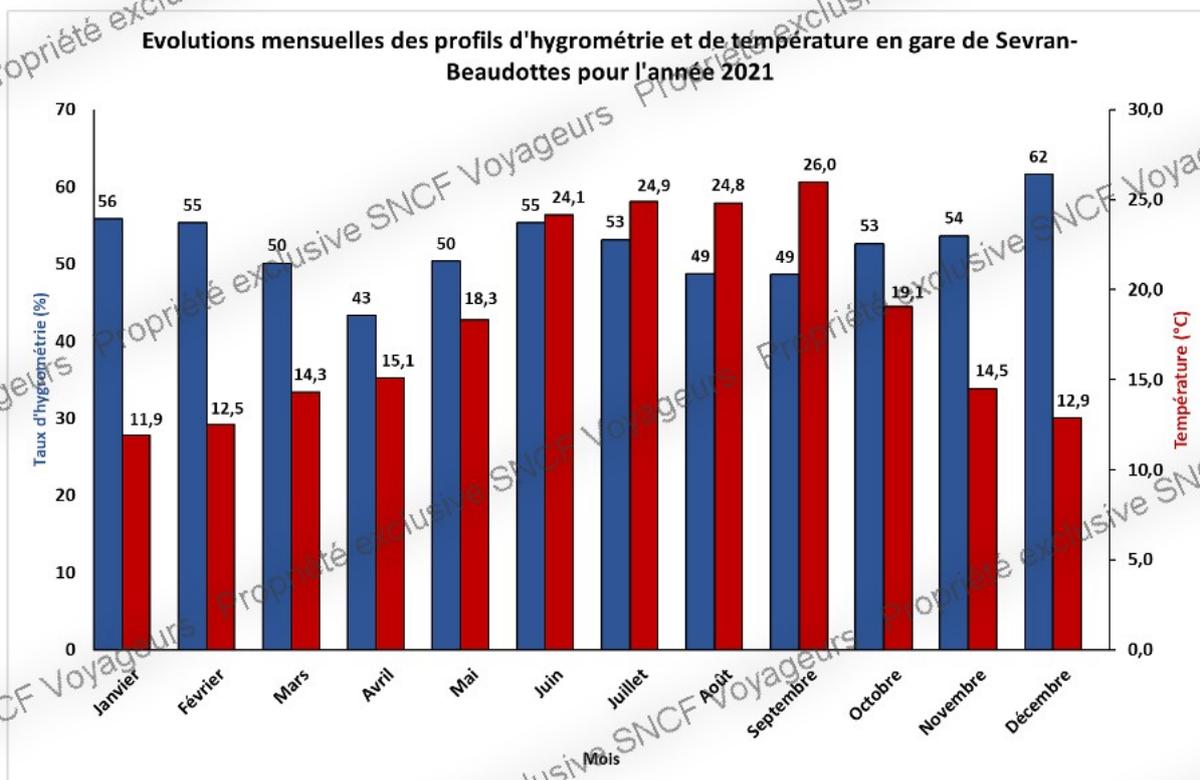


Figure 16 – Profil des température ambiante (en °C) et humidité relative (en %) en gare de Sevan-Beaudottes pour 2021

La **Figure 16** présente sur un même graphique, l'évolution mensuelle de l'humidité relative et des températures moyennes mensuelles mesurées en gare de Sevan-Beaudottes pour l'année 2021.

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 Sevan-Beaudottes, la période de juin à septembre 2021 est caractérisée par un air plus chaud et plus sec au niveau des quais. Une augmentations des températures est observée pour atteindre le maximum de l'année en septembre avec 26°C et une décroissance des taux d'hygrométrie s'observe parallèlement pour atteindre 49% d'humidité relative. Durant cette période les concentrations en PM10 ont été les plus importantes de l'année (août et septembre). Les mois de janvier, février mars, novembre et décembre 2021 sont quant à eux caractérisés par un air plus froid et plus humide sur les quais de la gare de Sevan-Beaudottes, avec en parallèle les concentrations en PM10 plus faibles que les autres mois.

4.3.4 - Influence des travaux extérieurs

Les activités en lien avec des chantiers extérieurs situés à proximité directe de la gare ont potentiellement pu être une source supplémentaire de particules. Dans le cadre du projet du Grand Paris Express, la construction de la gare de Sevan-Beaudottes de la ligne 16 du nouveau métro s'implante à proximité de la gare RER B Sevan-Beaudottes de chaque côté

de l'avenue Salvador Allende. Les informations collectées sur le site internet² du Grand Paris font état de l'avancement suivant des travaux (mis à jour le 17/12/2021) :

« Après avoir terminé les travaux d'installation du chantier fin 2019, l'entreprise de génie civil en charge de la construction de la future gare du Grand Paris Express a débuté la réalisation des murs souterrains. Cette étape clé du chantier s'est terminée début 2021. Les équipes procèdent actuellement au creusement de la partie souterraine de la gare, jusqu'à plus de 30 mètres de profondeur, et à la réalisation de ses niveaux souterrains. Ces opérations se déroulent à l'abri d'une dalle de couverture en béton qui permet de réduire les nuisances et les poussières aux abords du chantier. Fin 2021, SNCF Réseau débute les travaux de correspondance entre la ligne 16 et le RER B, avec la construction d'un passage souterrain reliant les deux gares »

Les dernières informations transmises par SNCF Réseau à l'AEF font état des objectifs suivants en lien avec le démarrage des travaux en 2022 :

- 28/02/2022 : réalisation des micropieux intérieurs. Ils devaient initialement être réalisés à l'intérieur de la gare, à l'abri des palissades mise en place sur les quais, et sont à présent prévus depuis la surface,
- 11/04/2022 : réalisation des parois moulées. Ces travaux étant situés au-delà de l'ouvrage RER existant, ils sont sans impacts sur l'exploitation en gare.

Au regard de la **figure 3**, les travaux réalisés n'ont pas eu d'impact notable sur les concentrations mesurées en gare.

Conclusion :

L'examen des facteurs d'influence sur les concentrations en particules en gare de Sevrان-Beaudottes a permis de montrer le lien, plus ou moins marqué, de plusieurs paramètres avec les niveaux mesurés en particules au niveau du quai tels que : circulations ferroviaires, volume voyageurs.

La comparaison des profils mensuels de concentrations en particules PM10 avec l'évolution des circulations ferroviaires montre l'importance des circulations ferroviaires sur l'émission, la remise en suspension des particules et les niveaux mesurés et ce à l'échelle journalière.

La comparaison des données de la station urbaine d'Airparif située au plus proche de la gare de Sevrان-Beaudottes montre que les niveaux de concentrations en PM10 mesurés au niveau de cette station ont été nettement inférieurs aux concentrations mesurées sur le quai de la gare. L'examen des données disponibles de température et d'humidité relative mesurées sur le quai ont montré que les périodes correspondant aux concentrations mensuelles les plus importantes 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 (à l'exception de juillet).

Les variations observées pour les paramètres étudiés à l'échelle mensuelle que sont la fréquentation et le nombre de trains en circulation ne permettent pas à eux seuls d'expliquer les profils de concentrations en particules obtenus.

² <https://www.societedugrandparis.fr/gpe/gare/sevrان-beaudottes>

5 - 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 2021.

La concentration moyenne annuelle en gare de Sevrans-Beaudottes sur l'ensemble de la période de mesure a été de **166 µg/m³ en PM10** et de **76 µg/m³ en PM2,5**. La répartition mensuelle des concentrations moyennes a montré une diminution régulière de ces dernières entre janvier et mars puis entre avril et juin. Le mois d'août a enregistré les concentrations moyennes en PM10 et PM2,5 les plus importantes sur l'année, puis celles-ci diminuent ensuite progressivement tout au long du reste de l'année. L'évolution des profils hebdomadaires a montré l'existence de différences de niveaux particuliers mesurés entre les jours ouvrés et les week-ends : **une baisse de l'ordre de 26% pour les PM10 et de 23% 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-12h) et du soir (18h-22h). Ces profils ont révélé également une baisse importante des niveaux mesurés la nuit, lors de la période de fermeture de la gare. Les résultats des trois années de mesures en continu montrent des profils journaliers de concentrations en PM10 et PM2,5 relativement similaires.

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. L'examen des données mensuelles relatives à l'évolution de la fréquentation voyageurs et des circulations ferroviaires n'ont pas permis d'établir de lien de corrélation important avec les données d'empoussièrement.

La crise sanitaire et l'expérimentation des colonnes de filtration ont probablement joué un rôle quant à la baisse des concentrations mesurées en gare de Sevrans-Beaudottes lors du premier semestre de l'année 2021. Par ailleurs la hausse de ces dernières à partir du mois d'août est potentiellement en lien avec les travaux de maintenance des voies ayant eu lieu du 1^{er} juillet au 27 août.

Ces paramètres constituent toutefois un ensemble complexe : c'est pourquoi la seule analyse d'un paramètre indépendamment des autres n'est parfois pas suffisante pour expliquer les niveaux de polluants particuliers mesurés.

ANNEXES

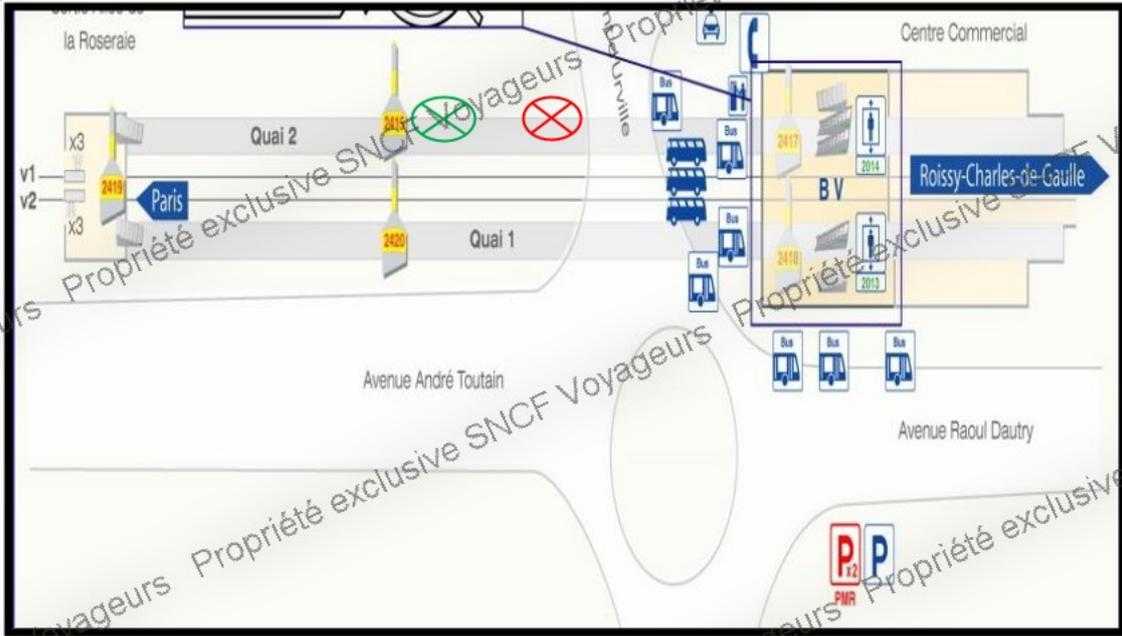
RAPPORT

MESURE EN CONTINU DE LA QUALITE DE L'AIR EN GARE DE SEVRAN - BEAUDOTTES - 2021

SOMMAIRE DES ANNEXES

ANNEXE 1 : DESCRIPTIF DE LA GARE DE SEVRAN BEAUDOTTES.....36

ANNEXE 2 : EMBLEMMENT DU POINT DE MESURE.....37



Plan 2 - Plan représentant 2 niveaux de la gare (RDC niveau rue : guichet (BV), salle des pas perdus/ Sous le niveau RDC : quais et voies)

 **Nouvel emplacement de la baie**

 **Ancien emplacement de la baie**



Photographie 1 – Emplacement de la baie de mesure sur le quai N°2 avant déplacement



Photographie 2 : Emplacement de la baie de mesure sur le quai N°2 après déplacement