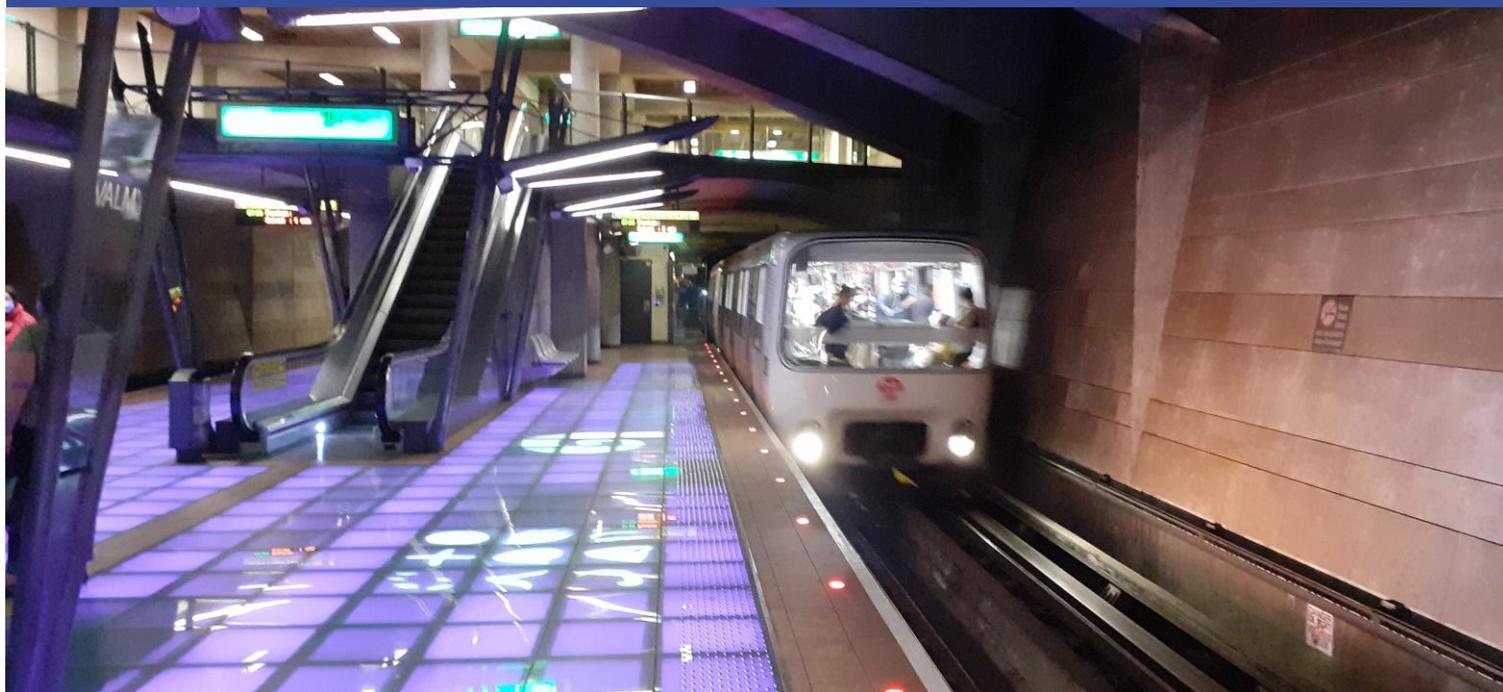


Suivi de la qualité de l'air dans le métro lyonnais

Bilan 2022



Auteur : Foued BOUCHENNA

Diffusion : Novembre 2023

Siège social :
3 allée des Sorbiers 69500 BRON
Tel. 09 72 26 48 90
contact@atmo-aura.fr



Conditions de diffusion

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de l'Écologie, du Développement Durable et de l'Énergie (décret 98-361 du 6 mai 1998) au même titre que l'ensemble des structures chargées de la surveillance de la qualité de l'air, formant le réseau national ATMO.

Ses missions s'exercent dans le cadre de la loi sur l'air du 30 décembre 1996. La structure agit dans l'esprit de la charte de l'environnement de 2004 adossée à la constitution de l'État français et de l'article L.220-1 du Code de l'environnement. Elle gère un observatoire environnemental relatif à l'air et à la pollution atmosphérique au sens de l'article L.220-2 du Code de l'Environnement.

Atmo Auvergne-Rhône-Alpes communique publiquement sur les informations issues de ses différents travaux et garantit la transparence de l'information sur le résultat de ses travaux.

A ce titre, les rapports d'études sont librement disponibles sur le site <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr>

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes. Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (2022) – Suivi de la qualité de l'air dans le métro lyonnais.**

Les données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure.

Par ailleurs, Atmo Auvergne-Rhône-Alpes n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses résultant de ses travaux et pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

En cas de remarques sur les informations ou leurs conditions d'utilisation, prenez contact avec Atmo Auvergne-Rhône-Alpes :

- depuis le [formulaire de contact](#)
- par mail : contact@atmo-aura.fr
- par téléphone : 09 72 26 48 90



Financement

Cette étude a pu être menée grâce aux données générales de l'observatoire, financé par l'ensemble des membres d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes dont fait partie SYTRAL Mobilités, autorité organisatrice des mobilités des territoires lyonnais.

SYTRAL Mobilités est devenu le 1^{er} janvier 2022 un établissement public local en lieu et place de l'ancien syndicat mixte (SYTRAL - Syndicat mixte des transports pour le Rhône et l'agglomération lyonnaise).

Au regard de l'intérêt qu'il porte à l'exécution du programme d'action 2022, conçu et initié par Atmo Auvergne-Rhône-Alpes, nous remercions SYTRAL Mobilités pour le soutien financier complémentaire apporté pour la réalisation du suivi de la qualité de l'air dans le métro lyonnais.



Sommaire

1 Contexte et objectifs

2 Mesures en continu à « Saxe-Gambetta »

- 2.1 Site de mesure et polluants étudiés
- 2.2 Période de mesure et matériel mis en œuvre
- 2.3 Sources de pollution et réglementation
- 2.4 Résultats
- 2.5 Conclusion

3 Mesures dans les rames

- 3.1 Polluants et paramètres étudiés
- 3.2 Période de mesure et matériels mis en œuvre
- 3.3 Résultats
 - 3.3.1 Les particules PM10 et PM2,5
 - 3.3.2 Les métaux
 - 3.3.3 Niveaux de confinement et paramètres de confort
- 3.4 Conclusion

4 Etude de hiérarchisation des stations

- 4.1 Polluants et paramètres étudiés
- 4.2 Sites et période de mesure
- 4.3 Résultats
 - 4.3.1 Classement des études précédentes
 - 4.3.2 Les particules PM10
 - 4.3.3 Paramètres de confort
- 4.4 Conclusion

5 Etude « 15 jours » sur les quais

- 5.1 Sites de mesure et polluants étudiés
- 5.2 Période de mesure et matériel mis en œuvre
- 5.3 Résultats
 - 5.3.1 Les particules PM10 et PM2,5
 - 5.3.2 Les métaux
- 5.4 Conclusion

6 Conclusion générale

Annexes

Annexe 1 : Plan du réseau TCL.....	49
Annexe 2 : Concentrations dans l'air à ne pas dépasser en EFS selon les recommandations de l'ANSES.....	50
Annexe 3 : Définitions statistiques pour la lecture des tableaux.....	51
Annexe 4 : Station Saxe-Gambetta en 2022 – Données PM10/PM2,5.....	52
Annexe 5 : Plan des lignes de métro A, B et D.....	55
Annexe 6 : Mesures dans les rames – Lignes A, B et D – Données Métaux.....	56
Annexe 7 : Etude de hiérarchisation - Liste des stations de métro étudiées.....	57
Annexe 8 : Etude de hiérarchisation - Particules fines PM10 (moyennes 15').....	58
Annexe 9 : Etude de hiérarchisation – Température (moyennes 15').....	59
Annexe 10 : Etude de hiérarchisation – Humidité relative (moyennes 15').....	60
Annexe 11 : Etude « 15 jours » - Station « Saxe-Gambetta » – Données PM10/PM2,5	
Annexe 12 : Etude « 15 jours » - Station « Bellecour » – Données PM10/PM2,5.....	62
Annexe 13 : Etude « 15 jours » - Station « Vieux Lyon » – Données PM10.....	63
Annexe 14 : Etude « 15 jours » - Station « Saxe-Gambetta » – Données Métaux.....	64
Annexe 15 : Etude « 15 jours » - Station « Bellecour » – Données Métaux.....	65
Annexe 16 : Etude « 15 jours » - Station « Vieux Lyon » – Données Métaux.....	66
Annexe 17 : Etude « 15 jours » - Situation des niveaux par rapport aux valeurs guides proposées par l'ANSES (Csout_OMS et Csout_Lim) et celle du CSHPF.....	67

Illustrations

Figure 1 - Station fixe de "Saxe-Gambetta".....	9
Figure 2 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta - Statistiques principales.....	11
Figure 3 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta - Statistiques sur les périodes de pointe, en semaine.....	12
Figure 4 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Evolution horaire des PM10.....	13
Figure 5 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Evolution horaire des PM2,5.....	13
Figure 6 -Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Profil hebdomadaire PM10 et PM2,5.....	14
Figure 7- Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Profil journalier PM10 et PM2,5.....	15
Figure 8 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Evolution horaire des particules sur la journée du 1er mai.....	15
Figure 9 – Mesures « rames » - Moyenne et max (trajets) en PM10 et PM2,5 par ligne.....	18
Figure 10 – Mesures « rames » ligne B - Evolution des concentrations des particules PM10 et PM2,5.....	18
Figure 11 – Mesures « rames » ligne A - Evolution des concentrations des particules PM10 et PM2,5.....	19
Figure 12 – Mesures « rames » ligne D - Evolution des concentrations des particules PM10 et PM2,5.....	19
Figure 13 - Mesures « rames » - Répartition des métaux (en %) par ligne.....	20
Figure 14 - Mesures « rames » - Répartition des métaux (en $\mu\text{g.m}^{-3}$) par ligne.....	21
Figure 15 - Mesures « rames » - Concentrations en fer (en $\mu\text{g.m}^{-3}$) lignes/Quais.....	21
Figure 16 - Mesures « rames » - Répartition des métaux (en %) hormis le fer, par ligne.....	22
Figure 17 - Mesures « rames » - Moyennes CO2 (en ppm) par ligne.....	23
Figure 18 - Mesures « rames » - Moyennes CO2/PM10 par ligne.....	23
Figure 19 - Mesures « rames » - Moyennes Température/Humidité/PM10 par ligne.....	24
Figure 20 -Mesures « rames » - Moyennes Température/Humidité par ligne.....	24
Figure 21 -Etude de hiérarchisation – Moyenne PM10 «15 min » (3*15min).....	27
Figure 22 – Station de métro « Vieux Lyon ».....	28
Figure 23 – Station de métro « Debourg ».....	28
Figure 24 - Etudes de hiérarchisation – Ligne B - Evolution des moyennes (3*15 min).....	29
Figure 25 - Etudes de hiérarchisation – Ligne B - Evolution des max (3*15 min).....	29
Figure 26 – Etude de hiérarchisation - PM10/température.....	30
Figure 27 - Etude de hiérarchisation – PM10/humidité.....	30
Figure 28 - Etude de hiérarchisation – Température/Humidité.....	31
Figure 29 – Station de métro « Bellecour » et « Vieux Lyon ».....	33
Figure 30 - Etude « 15 jours » - Moyenne et max horaire en PM10 et PM2,5 par station.....	34
Figure 31 – Etude « 15 jours » - Vieux-Lyon – Evolution des moyennes PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	35
Figure 32 – Etude « 15 jours » - Vieux-Lyon – Evolution des max horaire PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	35
Figure 33 – Etude « 15 jours » - Vieux-Lyon – Evolution des concentrations horaires PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	36
Figure 34 - Etude « 15 jours » - Vieux Lyon - Evolution des concentrations horaires des particules PM10.....	36
Figure 35 – Etude « 15 jours » - Saxe-Gambetta – Evolution des moyennes PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	37
Figure 36 – Etude « 15 jours » - Saxe-Gambetta – Evolution des max horaire PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	37
Figure 37 – Etude « 15 jours » - Saxe-Gambetta – Evolution des concentrations horaires PM10/PM2,5.....	38
Figure 38 – Saxe-Gambetta - Evolution des concentrations horaires des particules PM10 et PM2,5.....	38
Figure 39 – Etude « 15 jours » - Bellecour – Evolution des moyennes PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	39

Figure 40 – Etude « 15 jours » - Bellecour – Evolution des max horaire PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes.....	39
Figure 41 – Etude « 15 jours » - Bellecour – Evolution des concentrations horaires PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes	40
Figure 42 - Bellecour - Evolution horaire des particules PM10 et PM2,5 du 23 février au 10 mars 2023	40
Figure 43 – Etude « 15 jours » - Profils journaliers PM10	41
Figure 44 – Etude « 15 jours » - Evolution des niveaux de PM10 et proportion de métaux par stations	42
Figure 45 – Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) par stations.....	42
Figure 46 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en $\mu\text{g.m}^{-3}$) par station	43
Figure 47 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) hormis le fer, par station.....	43
Figure 48 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) à Vieux Lyon.....	44
Figure 49 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) à Saxe-Gambetta	44
Figure 50 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) à Bellecour	45

1. Contexte et objectifs

La surveillance de la qualité de l'air ambiant sur la région est une mission réglementaire confiée à Atmo Auvergne-Rhône-Alpes (Atmo AuRA) par le Ministère en charge de la transition écologique. Au-delà de cette mission, l'observatoire accompagne ses membres et les territoires dans le développement de travaux en lien avec les problématiques et enjeux régionaux, toujours guidé par les objectifs d'information et de protection de la santé des populations.

Avec l'appui technique de l'INERIS, le ministère en charge de l'écologie a piloté un groupe de travail sur la définition d'un protocole de mesure harmonisé de la qualité de l'air dans les Enceintes Ferroviaires Souterraines (EFS) afin de fixer les méthodes les plus adaptées au cas des usagers de ces transports. Ce travail avait pour objectif de permettre à tous les acteurs d'acquérir des données à travers des campagnes de mesures ponctuelles selon un référentiel commun. Quatre opérateurs ferroviaires volontaires, dont Keolis Lyon, ont collaboré à ces travaux et participé à des expérimentations sur tout ou partie du protocole.

Ces éléments et les travaux nationaux ont ainsi permis la rédaction du guide publié le 26 novembre 2020¹ qui a encadré le dispositif de surveillance présenté dans ce rapport.

Poursuivant sa volonté de rendre la ville plus durable et respirable, SYTRAL Mobilités avec l'appui de son opérateur Keolis Lyon, a souhaité anticiper la publication officielle de ce guide, en développant dès 2019 le partenariat déjà initié avec Atmo AuRA, avec l'ambition de mettre en place rapidement une surveillance. Dès le départ, l'ambition partagée a été d'aller au-delà des recommandations, en organisant une surveillance continue, avec des données publiques et disponibles en direct. L'objectif a été aussi de mettre en place un dispositif pouvant permettre d'évaluer les actions de réductions des émissions de particules programmées par SYTRAL Mobilités.

La transparence de l'information et l'engagement dans les actions d'amélioration sont les conditions que recherche systématiquement Atmo AuRA dans ses partenariats et qui sont réunies avec SYTRAL Mobilités.

Les actions ont été les suivantes :

- Début 2020 : installation de la **station de mesure « Saxe-Gambetta »** dans la station de métro du même nom. Elle délivre un suivi continu horaire des concentrations de particules fines (PM10) et très fines (PM2.5), consultable en direct sur les sites web d'Atmo AuRA et des Transports en Commun Lyonnais (TCL).
- Mise en place d'une **1^{ère} campagne de mesures** de particules fines (PM10 et PM2,5), de métaux (dans la fraction PM10) et de dioxyde de carbone (CO2) **à l'intérieur des rames** de métro des lignes A, B et D.
- Réalisation d'une **3^{ème} étude de hiérarchisation des 36 stations** du métro lyonnais des lignes A, B et D, permettant ainsi de les classer à nouveau en fonction de leurs concentrations en particules PM10.
- Mise en œuvre d'une **3^{ème} étude complémentaire** consistant à effectuer pendant **15 jours, des mesures en continu** de PM10 et PM2,5 mais aussi des mesures de particules métalliques dans l'air de **3 stations**, dont la station fixe de « Saxe-Gambetta », sélectionnées à la suite de l'étude de hiérarchisation.

Réalisés en suivant le guide de l'INERIS, ces travaux sont présentés dans ce rapport en 4 parties. Un premier volet où sont présentés les résultats des mesures de la station du métro Saxe-Gambetta, puis un second où nous présentons les résultats des mesures réalisées dans les habitacles des rames. L'analyse de l'étude de hiérarchisation des stations est exposée dans un troisième volet qui se poursuit par un dernier traitant des campagnes complémentaires effectuées sur les quais, à la suite de l'étude de hiérarchisation.

¹ Recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines : <https://www.ineris.fr/fr/recommandations-realisation-mesures-harmonisees-qualite-air-enceintes-ferroviaires-souterraines>

2. Mesures en continu à « Saxe-Gambetta »

2.1. Site de mesure et polluants étudiés

La station « Saxe-Gambetta » surveille en continu les particules PM10 et PM2,5. Le dispositif de mesure est positionné sur le quai du métro B, direction Gerland (*Annexe 1 -Plan du réseau TCL*) :



Figure 1 - Station fixe de "Saxe-Gambetta"

Pour rappel, cette station a été choisie :

- afin d'avoir une continuité d'observations dans les mesures (mesures ponctuelles déjà réalisées en 2017 et 2019 et depuis 2020).
- pour ces niveaux importants en particules et pour son importante fréquentation (82 000 voyages chaque jour), ce qui donne aux mesures un relief concernant l'impact sanitaire.
- vu que sa configuration (espace et équipements techniques) lui permet d'accueillir un équipement de surveillance de la qualité de l'air dans de bonnes conditions techniques et en toute sécurité.

2.2. Période de mesure et matériel mis en œuvre

Les premières mesures de particules à Saxe-Gambetta remontent au 8 janvier 2020. Elles sont réalisées en continu et délivrent des valeurs horaires. Dans cette partie du rapport, les données de particules PM10 et PM2,5 sont étudiées du 1^{er} janvier au 31 décembre 2022 avec :

- une période (du 11 mars au 8 avril 2022) durant laquelle les mesures n'ont pas pu être réalisées étant donné que le matériel a été utilisé dans la station de Bellecour pour l'étude « 15 jours ».
- deux périodes d'absence de données, la première à la suite d'une panne décelée sur l'analyseur (maintenance complète à l'atelier réalisée du 21 mai au 3 juin 2022), la seconde afin de réaliser un nettoyage complet à l'atelier (du 22 au 26 août 2022).

Les mesures de particules sont réalisées à l'aide d'un appareil de référence « TEOM 1405 » qui mesure en temps réel la masse des particules déposée sur un filtre après aspiration, et donne directement des

concentrations en microgrammes de particules par mètre cube d'air. Contrairement aux mesures en air ambiant, la mesure des particules a été effectuée sans la « fraction volatile » selon les recommandations de l'INERIS. La fraction volatile est peu importante dans les enceintes ferroviaires souterraines du fait de la composition principale des particules due à l'usure mécanique.

L'acquisition des données est faite via une centrale d'acquisition, avec transmission 4G, pour le rapatriement des données sur le poste central d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

L'armoire d'accueil et les protections des matériels, ainsi que l'alimentation électrique, ont été mises à disposition par SYTRAL Mobilités.

2.3. Sources de pollution et réglementation

Les particules en suspension, communément appelées « poussières », proviennent en majorité pour l'air extérieur de la combustion à des fins énergétiques de différents matériaux (bois, charbon, pétrole), du transport routier (imbrûlés à l'échappement, usure des pièces mécaniques par frottement des pneumatiques...) et d'activités industrielles très diverses (sidérurgie, incinération, chauffage, chaufferie).

La surveillance réglementaire porte sur les particules PM10 (de diamètre inférieur à 10 µm) mais également sur les PM2,5 (de diamètre inférieur à 2,5 µm).

Dans l'enceinte des métros, les sources de particules sont généralement issues de l'abrasion des pneus, des freins et des rails, de la remise en suspension des particules par le passage à grande vitesse des rames dans les tunnels, le déplacement des usagers, et de l'air extérieur qui pénètre dans les couloirs du métro.

La qualité de l'air dans les EFS où circulent les trains de voyageurs n'est pas réglementée à l'instar d'autres établissements recevant du public (ERP). Toute la réglementation liée à l'air ambiant (air extérieur) ne s'applique pas non plus dans les EFS.

Depuis 2020, les données de particules PM10 de la station de Saxe-Gambetta avaient été comparées, à titre indicatif, aux valeurs de références définies par le CSHPF (Conseil Supérieur d'Hygiène Public de France). Pour 2022, les valeurs mises à jour sont les suivantes :

Temps de présence dans le métro	30 minutes	1 heure	1 heure et 30 minutes
Valeurs guide en PM10 en 2022	755 µg.m ⁻³	395 µg.m ⁻³	275 µg.m ⁻³

Dans ce rapport et comme le préconise l'INERIS, la valeur de 395 µg.m⁻³ qui correspond à une présence d'1 heure dans le métro (temps maximal entre les 2 stations d'extrémité de la ligne la plus longue du métro lyonnais) servira encore de référence dans les résultats présentés.

Cependant, en mai 2022, l'ANSES (Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail) a rendu les valeurs de référence du CSHPF obsolètes, à savoir la C_{sout} « locale » qui prend en compte la qualité de l'air extérieure de l'agglomération de Lyon. Elle a défini et proposé d'autres valeurs guides² communes pour le territoire national, en tenant compte :

- de la sortie des nouvelles valeurs OMS pour l'air ambiant,
- des micro-environnements « travail » et « logement »,
- des niveaux de pollution dans l'air ambiant des 7 agglomérations françaises accueillant ces EFS.

² <https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2019SA0148Ra.pdf>

Les concentrations dans l'air à ne pas dépasser en EFS selon les recommandations de l'ANSES (*présentées en annexe 2*) serviront également de référence dans les résultats présentés dans ce rapport et seront nommées ainsi :

- **Csout_OMS** (concentration en $\mu\text{g.m}^{-3}$ calculée à partir de la valeur guide journalière de l'OMS) fixées à $140 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10 et $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM2,5 en moyenne sur une heure
- **Csout_Lim** (concentration en $\mu\text{g.m}^{-3}$ calculée à partir de la valeur limite journalière de la directive européenne 2008/50/CE) fixée à $480 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10 en moyenne sur une heure

2.4. Résultats

Les mesures sont diffusées en direct et validées quotidiennement : une première validation technique concerne le fonctionnement de l'analyseur puis vient ensuite une validation environnementale pour vérifier la cohérence des données par rapport à l'historique.

Un système d'alarme en cas de valeurs atypiques est aussi en place et donne lieu à des échanges systématiques avec SYTRAL Mobilités : avec le recul des 3 années de mesures, ces valeurs sont peu fréquentes et majoritairement liées à des pannes de l'analyseur ou à des maintenances du réseau ferroviaire durant la nuit.

Statistiques globales

Les mesures en particules PM10 et PM2,5 ont été réalisées sur toute l'année 2022 avec une couverture de données de 80 % (c'est-à-dire que 20 % des données horaires sont manquantes entre le 1^{er} janvier et le 31 décembre 2022 – cf. paragraphe 2.1) contre 70 % de couverture de données en 2021.

En 2022, les concentrations horaires en particules PM10 relevées à « Saxe-Gambetta » respectent la valeur guide « CSHPF » mais également la nouvelle valeur guide « ANSES » (Csout_Lim), hormis un dépassement relevé en début d'année, ce qui est particulièrement faible. En revanche, les nouvelles valeurs guides « ANSES » (Csout_OMS) pour les PM10 et pour les PM2,5 ont régulièrement été dépassées sur le 1^{er} semestre de l'année. A partir du 25 juin, date de mise en circulation des nouvelles rames sur la ligne B, ces valeurs guides sont très largement respectées, hormis quelques dépassements ponctuels constatés en PM10.

La moyenne en PM10 est égale à $70 \mu\text{g.m}^{-3}$ situant ce résultat à environ 16 % de la valeur guide CSHPF ($395 \mu\text{g.m}^{-3}$) et à 17 % de la valeur guide de l'ANSES ($480 \mu\text{g.m}^{-3}$).

Cette valeur est légèrement plus faible que celle enregistrée en 2021 à $75 \mu\text{g.m}^{-3}$. De plus, 90 % des valeurs horaires sont inférieures à $157 \mu\text{g.m}^{-3}$ et sont donc inférieures au tiers de la référence horaire de l'ANSES.

Année 2022			
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 31 décembre			
Tous les jours de l'année (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)			
Méto Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Nombre de valeurs horaires	6983		6983
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	80%		80%
Moyenne	29		70
Médiane	18		55
P10 - P90	6	71	13 157
Min horaire - Max horaire	0	156	0 1017

Figure 2 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta - Statistiques principales

La moyenne en PM2,5 est également inférieure au résultat 2021 : 29 $\mu\text{g.m}^{-3}$ contre 40 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en 2021. A la vue de ces statistiques annuelles 2022 (*annexe 4 - station Saxe-Gambetta en 2022 – Données PM10/PM2,5*), on peut noter une fraction de PM2,5 dans les particules PM10 autour de 41 % (presque la moitié des PM10 sont des PM2,5).

En période de forte présence des usagers (période de pointe en semaine), la fraction des particules PM2,5 dans les PM10 est proche des 38 % mais avec des valeurs médianes et moyennes plus élevées de l'ordre de 95-115 $\mu\text{g.m}^{-3}$ soit 24 % de la valeur guide ANSES (Csout_Lim). De plus, 90 % des valeurs horaires en PM10 sont inférieures à 217 $\mu\text{g.m}^{-3}$ soit environ 45 % de la référence horaire ANSES (480 $\mu\text{g.m}^{-3}$).

Année 2022			
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 31 décembre			
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)			
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Nombre de valeurs horaires	1059		1059
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	81%		81%
Moyenne	44		115
Médiane	27		93
P10 - P90	12	97	42 - 217
Min horaire - Max horaire	2	148	4 - 343

Figure 3 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta - Statistiques sur les périodes de pointe, en semaine

Evolution des concentrations horaires

Sur les deux graphiques ci-après, une baisse importante des concentrations en particules PM10 et PM2,5 est constatée à partir du 25 juin 2022. La baisse est dans un premier temps très visible sur la période estivale et elle se confirme sur les mois suivants où les niveaux sont encore plus bas que ceux enregistrés en juillet/août.

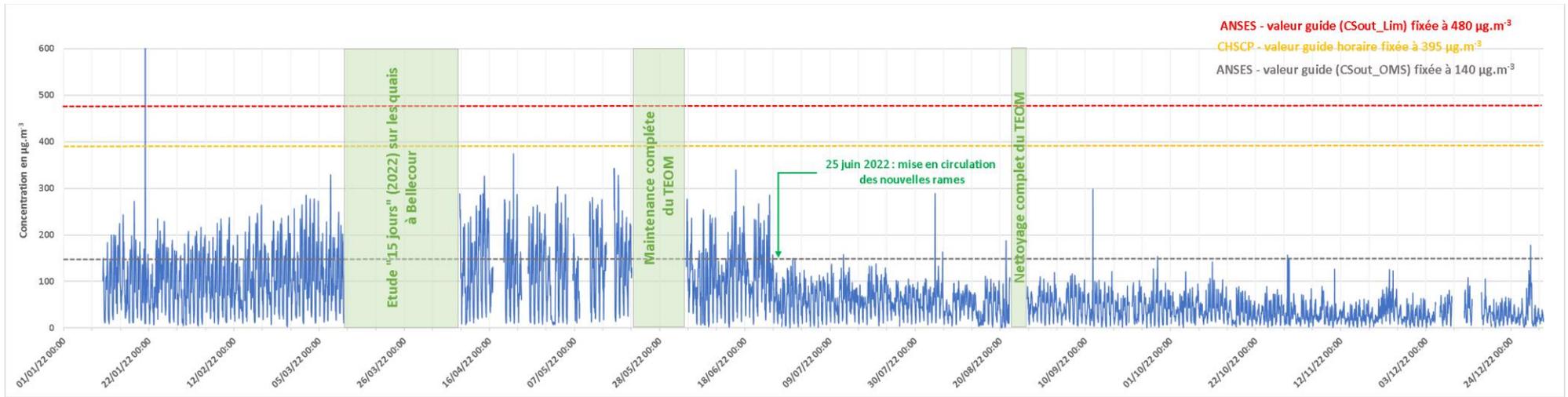


Figure 4 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Evolution horaire des PM10

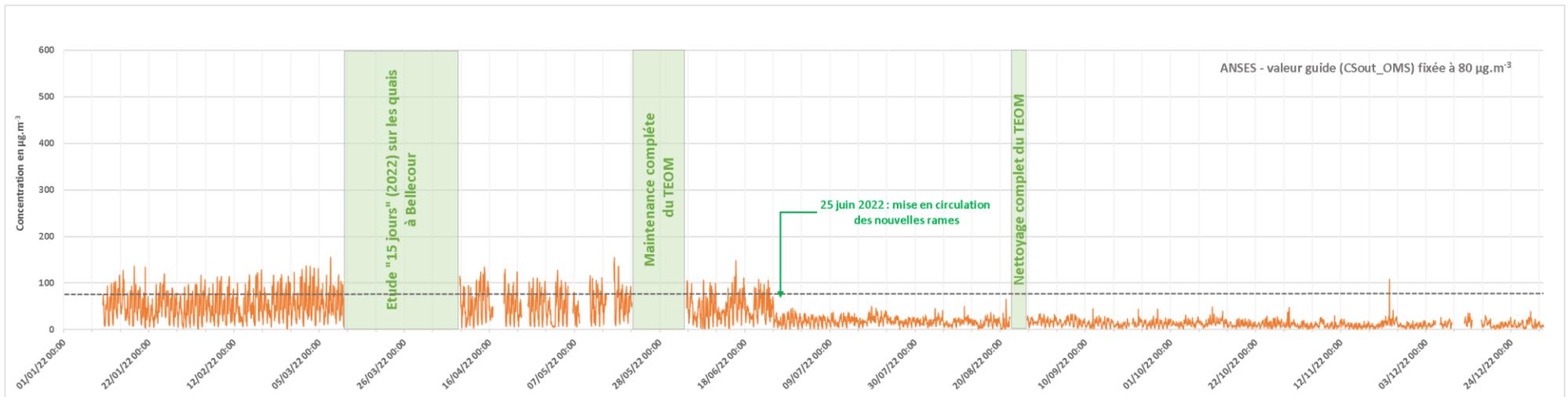


Figure 5 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Evolution horaire des PM2,5

Cette baisse des concentrations en particules PM10 et PM2,5 correspond à la date de mise en service des nouvelles rames de métro sur la ligne B. En effet, SYTRAL Mobilités a investi dans des rames de métro de nouvelle génération dotées de dispositifs de récupération de l'énergie de freinage plus performants que les dispositifs équipant les rames jusqu'ici utilisées. Cette évolution technologique a pour conséquence de réduire très significativement l'utilisation du freinage mécanique (sabot de frein frottant les roues en fer) et de ce fait, limite également les émissions de particules issues en partie de l'abrasion des pneus, des freins et des rails.

Le 25 juin 2022, ces nouvelles rames de métro ont été mises en service sur la ligne B, ligne sur laquelle la station de qualité de l'air de Saxe-Gambetta est implantée. Nous dissociérons par conséquent 2 périodes :

- la 1^{ère} que l'on nommera « avant le 25 juin » et qui s'étend du 1^{er} janvier au 24 juin 2022.
- la 2nd que l'on appellera « après le 25 juin » et qui s'étale du 25 juin au 31 décembre 2022.

Avant le 25 juin, la moyenne en PM10 calculée à « Saxe-Gambetta » est de 112 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Après le 25 juin, elle passe à 44 $\mu\text{g.m}^{-3}$, donc une diminution de plus de la moitié.

La moyenne en PM2,5, quant à elle, diminue plus fortement car elle est même divisée par 3,5. En effet, elle passe de 51 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 14 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

A la vue de ces statistiques (*annexe 4 - station Saxe-Gambetta en 2022 – Données PM10/PM2,5*), on peut noter une fraction de PM2,5 dans les particules PM10 autour de 45 % sur la période avant le 25 juin puis elle passe à 32 % après le 25 juin (le tiers des PM10 sont des PM2,5). En période de forte présence des usagers (période de pointe en semaine), la fraction des particules PM2,5 dans les PM10 est proche des 70 % avant le 25 juin et elle passe à 29 % après la mise en circulation des nouvelles rames.

Sur la période « avant le 25 juin », 90 % des valeurs horaires en PM10 sont inférieures à 203 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Sur la période « après le 25 juin », elles passent sous la barre des 82 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (baisse de 60 %).

En règle générale, les niveaux de particules PM10 et PM2,5 ont très fortement varié d'un semestre à un autre en 2022, contrairement à l'année 2021 où les concentrations avaient très peu évolué. En effet, sur le 1^{er} semestre, les concentrations ont très souvent dépassé les 200 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en horaire pour les PM10 et les 100 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM2,5, alors que sur le 2nd semestre, les niveaux sont restés stables ne dépassant que très rarement ces 2 seuils.

Profils hebdomadaires/journaliers

L'utilisation de profils hebdomadaires (moyenne des résultats de chaque jour d'une semaine sur une période) et des profils journaliers (moyennes de chaque heure de la journée sur une période) renseigne sur les variations des niveaux de polluants dans l'air selon les jours et les heures. On observe ainsi l'influence possible de paramètres hebdomadaires ou journaliers récurrents comme les heures d'ouverture et fermeture ou la fréquence des rames par rapport à la fréquentation du métro (semaine / week-end).

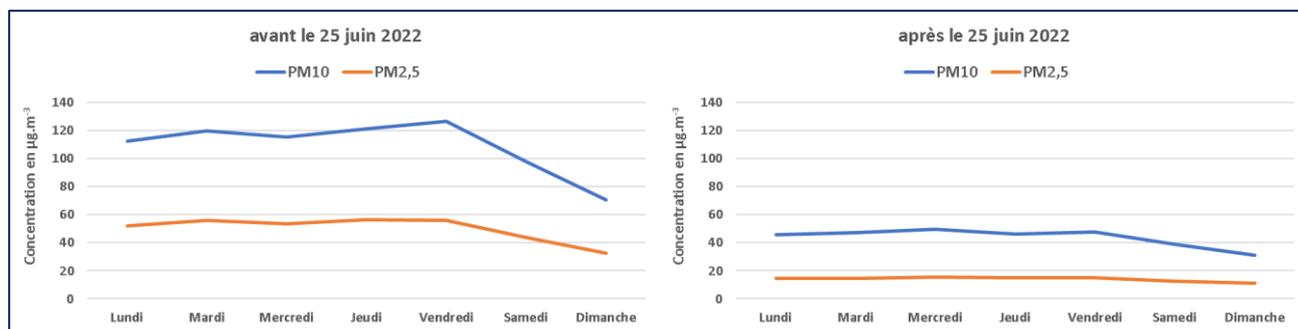


Figure 6 - Mesures 2022 - Saxe-Gambetta - Profil hebdomadaire PM10 et PM2,5

Les variations selon les jours de semaine sont assez logiques et montrent une décroissance liée à la baisse d'activité et de fréquentation les jours de week-end. Les niveaux enregistrés après le 25 juin sont particulièrement bas avec très peu de variation entre les jours de la semaine et les jours du week-end, phénomène davantage marqué pour les particules PM2,5.

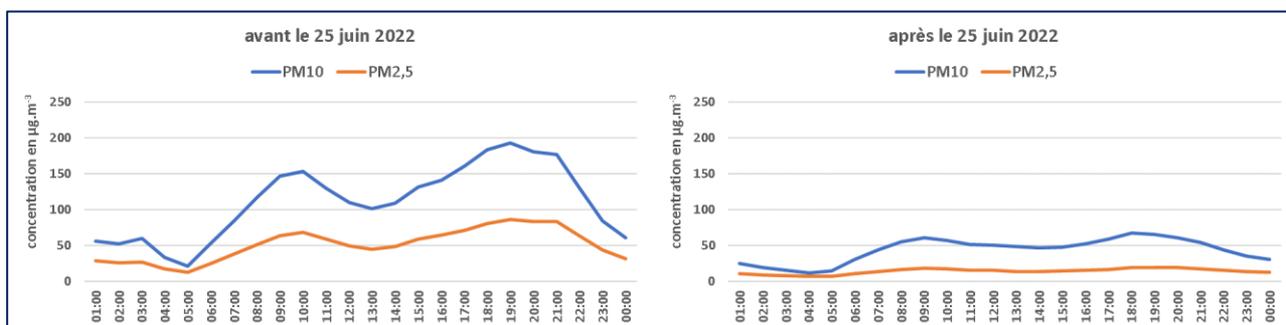


Figure 7- Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Profil journalier PM10 et PM2,5

Même si cela est bien moins marqué, après le 25 juin, on observe toujours une évolution des concentrations en particules (PM10 et PM2,5) en fonction des heures d'ouverture et de fermeture des stations mais aussi avec l'influence des périodes de pointe le matin et en fin de journée. Les niveaux horaires demeurent toujours les plus faibles à 5h du matin et restent même très bas pour les particules PM2,5, se rapprochant ainsi des niveaux de base moyens de ces particules relevés durant la journée du 1^{er} mai 2022, en l'absence de toute activité dans le métro.

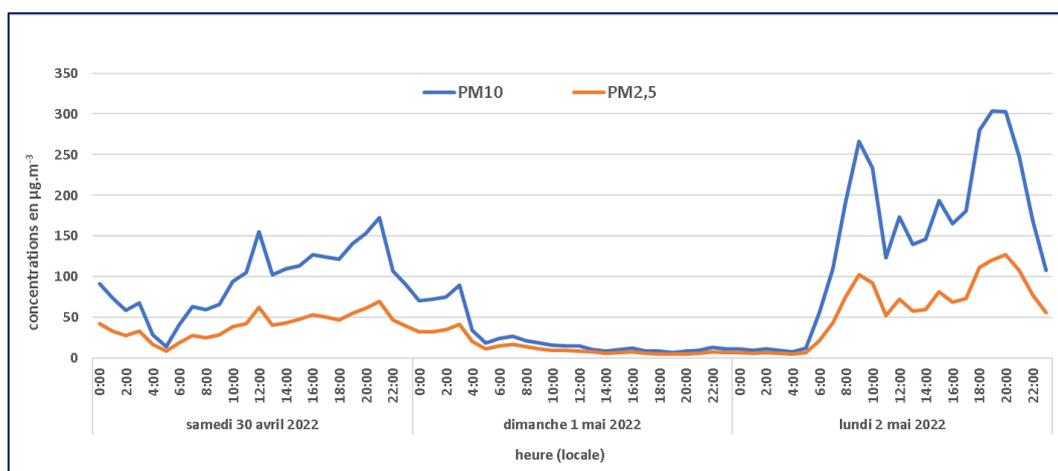


Figure 8 - Mesures 2022 – Saxe-Gambetta – Evolution horaire des particules sur la journée du 1er mai

Comme pour les années précédentes, la journée du 1^{er} mai (fermeture du métro) reste très intéressante pour observer la vitesse de décroissance des concentrations de particules dans l'air : les valeurs moyennes sur la journée dans le métro sont autour de 14 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en PM10 et 9 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en PM 2,5 représentant les niveaux de base de ces particules en l'absence de toute activité. Même avec des valeurs très faibles, le ratio de 60% des PM2.5 dans les PM10 se maintient (peu visible sur le graphique vu la faiblesse des concentrations).

Avec la reprise de l'activité le 2 mai, les concentrations augmentent à nouveau très rapidement, ce qui laisse à penser que les niveaux de particules enregistrés dans le métro sont fortement liés à l'activité du métro et démontre qu'il y a peu, voire pas d'apport extérieur.

2.5. Conclusion

Les mesures de particules réalisées en continu à Saxe-Gambetta du 1^{er} janvier au 31 décembre 2022 sont en baisse par rapport à celles réalisées en 2021 (en moyennes annuelles : - 7 % pour les PM10 et - 28 % pour les PM2,5). Elles font également ressortir deux périodes très différentes qui se situent avant et après le 25 juin 2022, date à laquelle les nouvelles rames de métro ont été mises en fonctionnement sur la ligne B.

Les concentrations moyennes en particules PM10 ($44 \mu\text{g.m}^{-3}$) et PM2,5 ($14 \mu\text{g.m}^{-3}$) enregistrées sur la période après le 25 juin sont en très forte baisse par rapport à celles enregistrées avant le 25 juin (- 60 % pour les PM10 et - 73 % pour les PM2,5), avec des niveaux en PM2,5 proches du niveau de fond que l'on retrouve en l'absence de toute activité dans le métro (journée du 1^{er} mai).

S'il n'existe toujours pas de seuil réglementaire officiel concernant la qualité de l'air dans le métro, la valeur guide « CSHPF » ($395 \mu\text{g.m}^{-3}$) et celle proposée par l'ANSES ($480 \mu\text{g.m}^{-3}$) pour les PM10 sont globalement respectées depuis le début de l'année. De plus, les valeurs guides « ANSES » (CSout_OMS) pour les PM10 ($140 \mu\text{g.m}^{-3}$) et pour les PM2,5 ($80 \mu\text{g.m}^{-3}$), très souvent dépassées sur le 1^{er} semestre de l'année 2022, sont très largement respectées depuis le 25 juin, hormis quelques dépassements constatés en PM10.

Depuis le début de l'année, les profils hebdomadaires montrent des niveaux moyens quotidiens de particules assez bas. Ils diminuent encore très fortement après la mise en circulation des nouvelles rames et la variation entre les jours de semaine et les jours du week-end est de moins en moins visible, particulièrement pour les particules PM2,5. En lien avec l'activité du métro, l'évolution horaire des concentrations marque toujours un pic en matinée et un autre en fin de journée. Cependant, ces pointes sont moins visibles après le 25 juin, principalement pour les particules PM2,5.

Depuis le 25 juin 2022, les concentrations de particules PM10 et PM2,5 mesurées en continu à Saxe-Gambetta ont très fortement baissé, en lien avec la mise en circulation des nouvelles rames de métro sur la ligne B du réseau. Cette nouvelle technologie a donc exercé une influence positive sur les niveaux de pollution enregistrés dans cette station et probablement sur l'ensemble de la ligne du métro B

3. Mesures dans les rames

Le temps passé par un voyageur dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS) est souvent court (trajet dans la rame inférieur à 2 heures et attente de quelques minutes sur les quais). Conformément au protocole méthodologique de l'INERIS, une première étude dans les habitacles des rames des lignes A, B et D a ainsi été réalisée en 2022.

	Ligne A	Ligne B	Ligne D
Stations terminus	Perrache Vaulx-en-Velin – La Soie	Charpennes Gare d'Oullins	Gare Vénissieux Gare Vaise
Nombre total de stations	14 stations	10 stations	15 stations
Longueur totale de la ligne	9,2 km	7,7 km	12,5 km
Temps de parcours (2 allers/retours complets)	1h et 20 min	1h	1h et 40 min

3.1. Polluants et paramètres étudiés

Les polluants prospectés sont les particules en suspension (PM10 et PM2,5) et les métaux (fer, baryum, cuivre, zinc, antimoine, manganèse, nickel, plomb, arsenic, cadmium, chrome, aluminium et calcium) dans la fraction PM10 des particules.

Les mesures du dioxyde de carbone (CO2), de la température et de l'humidité relative ont également été réalisées afin d'identifier les situations atypiques en termes de ventilation ou de confort pour les voyageurs.

3.2. Période de mesure et matériels mis en oeuvre

Les mesures ont été réalisées en continu à l'intérieur des rames de métro des lignes A, B et D (*Annexe 5 - Plan des lignes de métro A, B et D*). Elles ont été répétées 3 fois par ligne (3 journées différentes) sur 2 aller/retours complets (d'un terminus à l'autre) et dans des conditions semblables (jours ouvrés, heures de pointe de fréquentation, position similaire dans les différentes rames) :

- Ligne A : le 6 avril (soir), le 7 avril (matin) et le 14 avril (matin) 2022.
- Ligne B : le 6 avril (matin), le 13 avril (soir) et le 14 avril (soir) 2022.
- Ligne D : le 5 avril (soir), le 13 avril (matin) et le 15 avril (matin) 2022.

Ces mesures ont été réalisées à l'aide d'appareils portables (automatiques et préleveurs sur filtres) :

- Des préleveurs sur filtres pour les particules PM10 et PM2,5 mais également les métaux. Cependant, un défaut sur les filtres (effritement et perte de matières), identifié à l'analyse, rend les résultats de particules PM10 et PM2,5 inexploitable. De ce fait, ces résultats ne seront pas présentés dans ce rapport.
- Un analyseur portatif qui permet de mesurer en continu les particules PM10 et PM2,5 mais également les paramètres de confort que sont la température et l'humidité relative ;
- Un autre appareil qui permet de mesurer le dioxyde de carbone, indicateur de confinement.

3.3. Résultats

3.3.1. Les particules PM10 et PM2,5

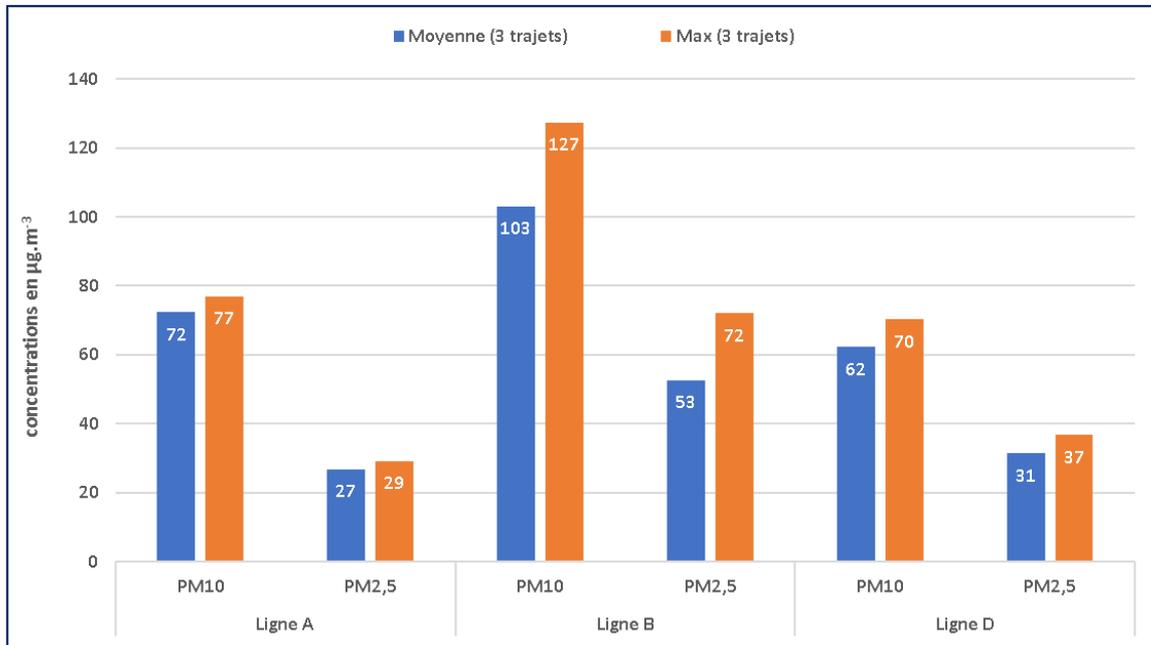


Figure 9 – Mesures « rames » - Moyenne et max (trajets) en PM10 et PM2,5 par ligne

Dans les rames, l'exposition des usagers aux particules PM10 et PM2,5 est plus élevée sur la ligne B que sur les deux autres lignes (environ + 30 %). En effet, on y enregistre la plus forte concentration moyenne en PM10 ($103 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) et en PM2,5 ($53 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). Les concentrations moyennes PM10 et PM2,5 enregistrées dans les rames des lignes A et D sont du même ordre de grandeur.

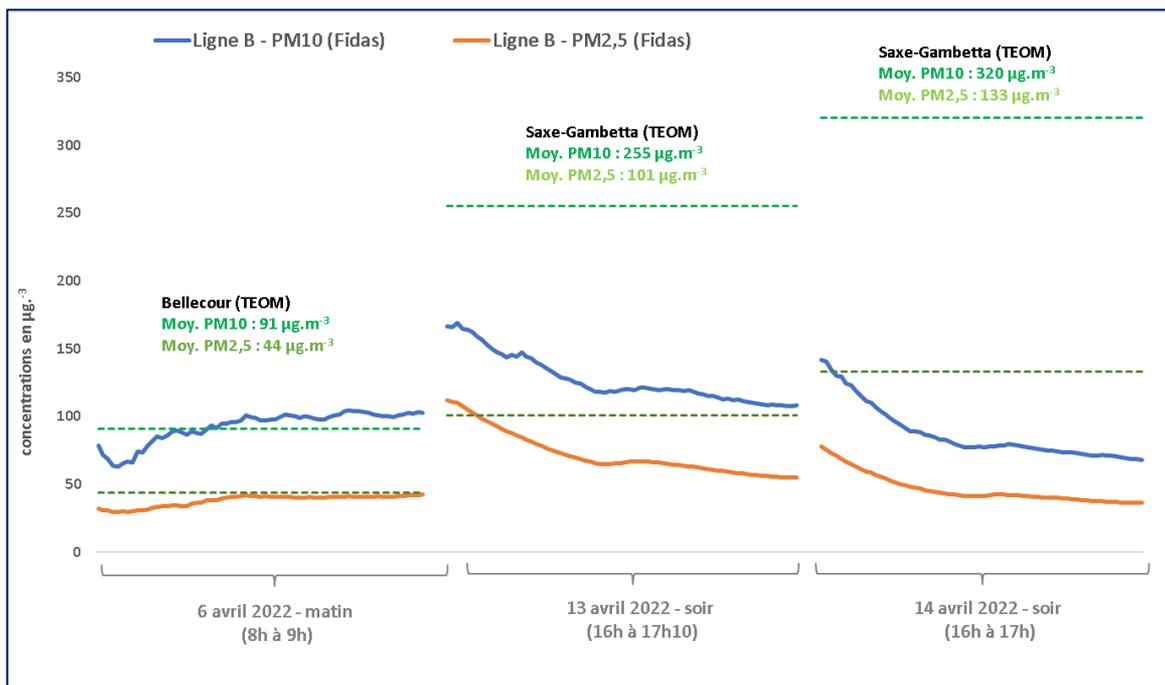


Figure 10 – Mesures « rames » ligne B - Evolution des concentrations des particules PM10 et PM2,5

Sur la ligne B, les concentrations de particules PM10 et PM2,5 enregistrées dans les rames et sur les différentes périodes de mesures (matin et soir) varient très peu, hormis les 13 et 14 avril où l'on observe une décroissance des niveaux.

Les niveaux moyens enregistrés dans les rames de ligne B sont quasi-identiques d'une journée à l'autre et peuvent être comparés au niveau moyen de Bellecour (campagne « 15 jours » avec l'analyseur TEOM). Ils sont également très en-dessous des niveaux moyens enregistrés en continu à l'aide de l'analyseur TEOM, à Saxe-Gambetta. En effet, ces concentrations sont à peu près 2,5 fois moins élevées dans les rames de la ligne B que sur les quais de Saxe-Gambetta.

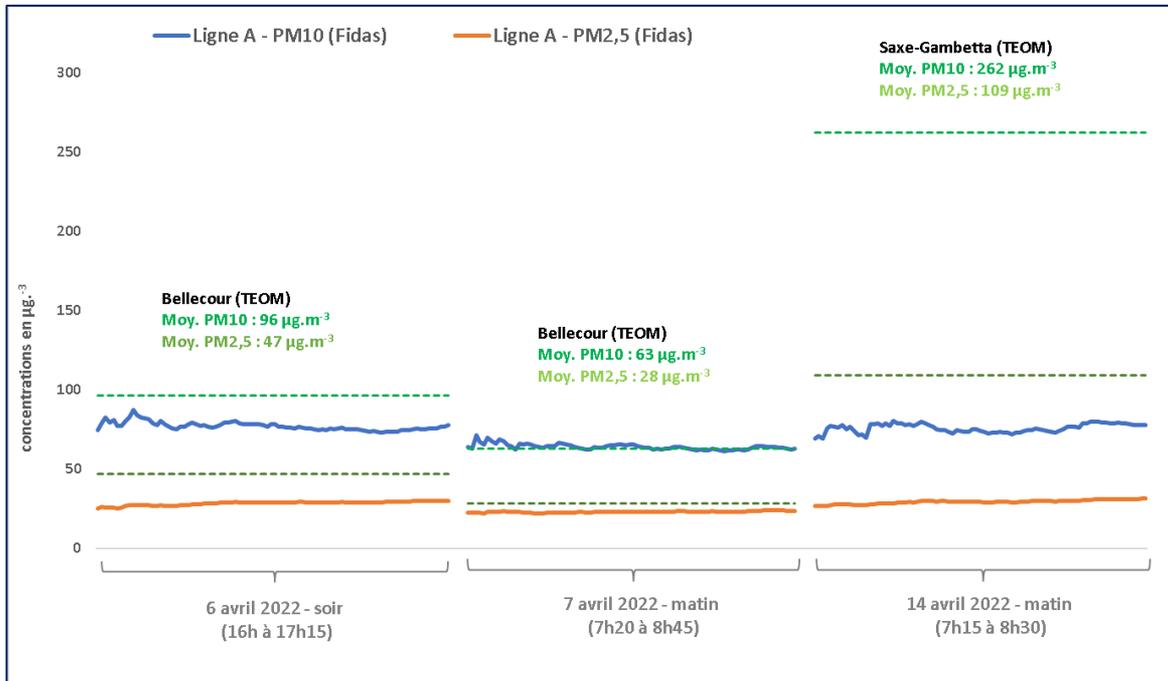


Figure 11 – Mesures « rames » ligne A - Evolution des concentrations des particules PM10 et PM2,5

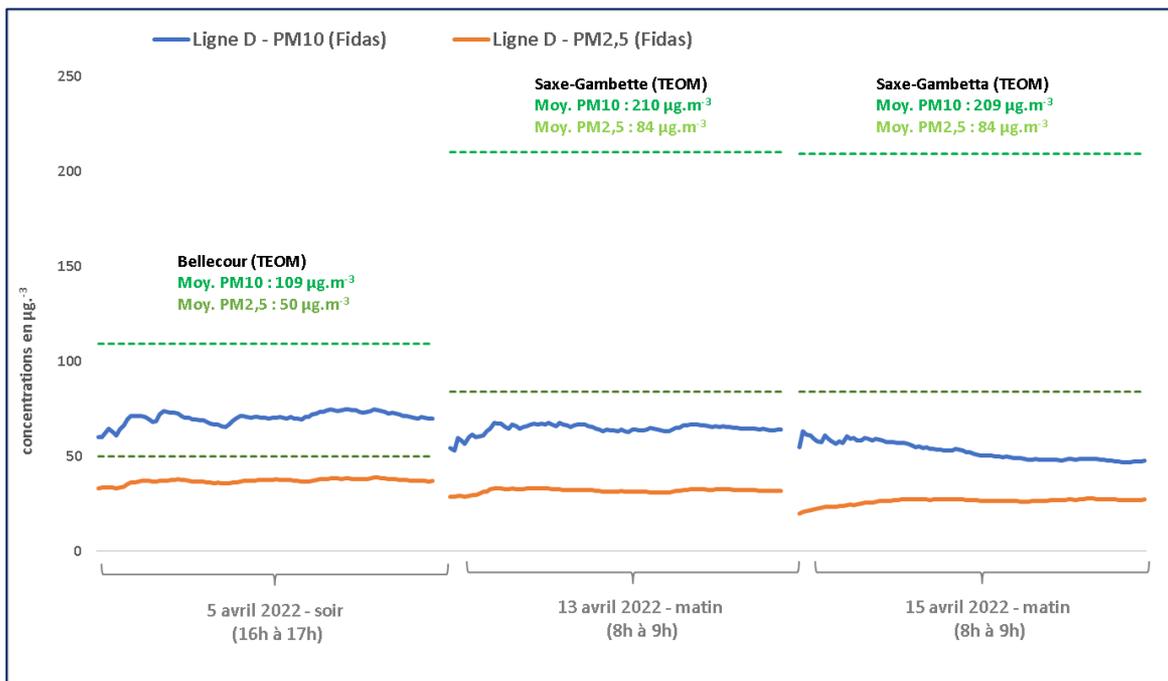


Figure 12 – Mesures « rames » ligne D - Evolution des concentrations des particules PM10 et PM2,5

Dans les rames des ligne A et D, les concentrations moyennes de particules PM10 et PM2,5 enregistrées sur les différentes périodes de mesures (matin et soir) restent stables et sont quasi-identiques d'une journée à l'autre. En moyenne, elles se situent à environ 60-70 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10 et à 25-30 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM2,5. Ces concentrations moyennes sont globalement inférieures au niveau moyen enregistré sur le quai de la station Bellecour (campagne « 15 jours » à l'aide de l'analyseur TEOM) et très en-dessous du niveau enregistré à saxe-Gambetta (mesures en continu également avec le TEOM).

Les concentrations sont à peu près 3,5 fois moins élevées dans les rames des lignes A et D que sur les quais de Saxe-Gambetta.

3.3.2. Les métaux

Les résultats détaillés des métaux pour les lignes A, B et D sont présentés en *annexe 6*, sous forme de trois tableaux distincts .

Réglementation et origine dans les EFS

Les métaux regroupent une famille de composés assez vaste, la plupart se trouvant à l'état particulaire (voir liste paragraphe 3.1). Ils ne sont pas réglementés dans les enceintes ferroviaires souterraines et ne le sont uniquement en air ambiant avec des valeurs cibles en moyenne annuelle pour le nickel, le cadmium, l'arsenic et le plomb.

La source principale de particules riche en fer est liée aux phénomènes de friction et d'arrachement (contact roue-frein, contact du matériel roulant avec le système d'alimentation électrique, contact rail-roue).

Pour les autres métaux, les sources sont plus variables d'un réseau à l'autre. La présence d'éléments, comme l'aluminium ou le calcium, est généralement attribuée à des sources externes mais peut dans certains cas avoir une origine interne telle que l'usure des matériaux de construction, du ballast ou l'utilisation d'abrasif ou antidérapant ainsi que les freins. Cela est dépendant du type de matériels roulants (âge et composition).

Niveaux rencontrés

Comme sur les quais, le fer reste l'élément majoritaire représentant 59 à 76 % des métaux prélevés. Cette teneur en fer est équivalente sur les lignes A et B ; elle est plus élevée (76 %) sur la ligne D. La présence importante de fer reste caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines.

Sur les graphiques suivants, l'ensemble des métaux est pris en compte dans la répartition. Cependant, certains à très faible pourcentage ne sont pas « visibles ».

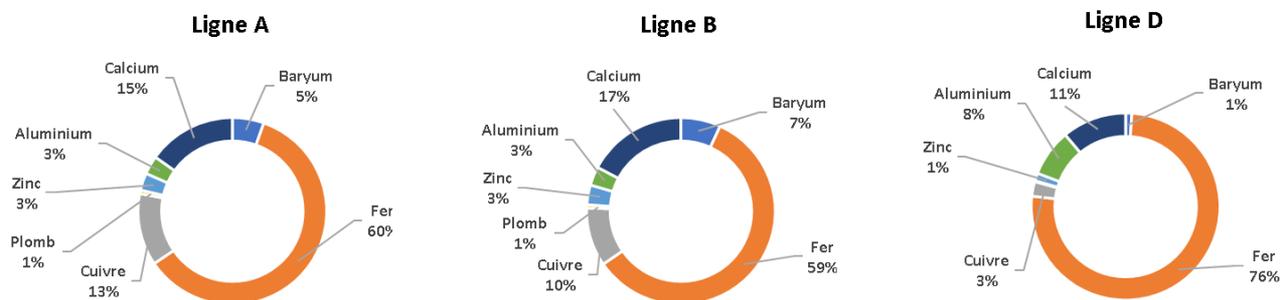


Figure 13 - Mesures « rames » - Répartition des métaux (en %) par ligne

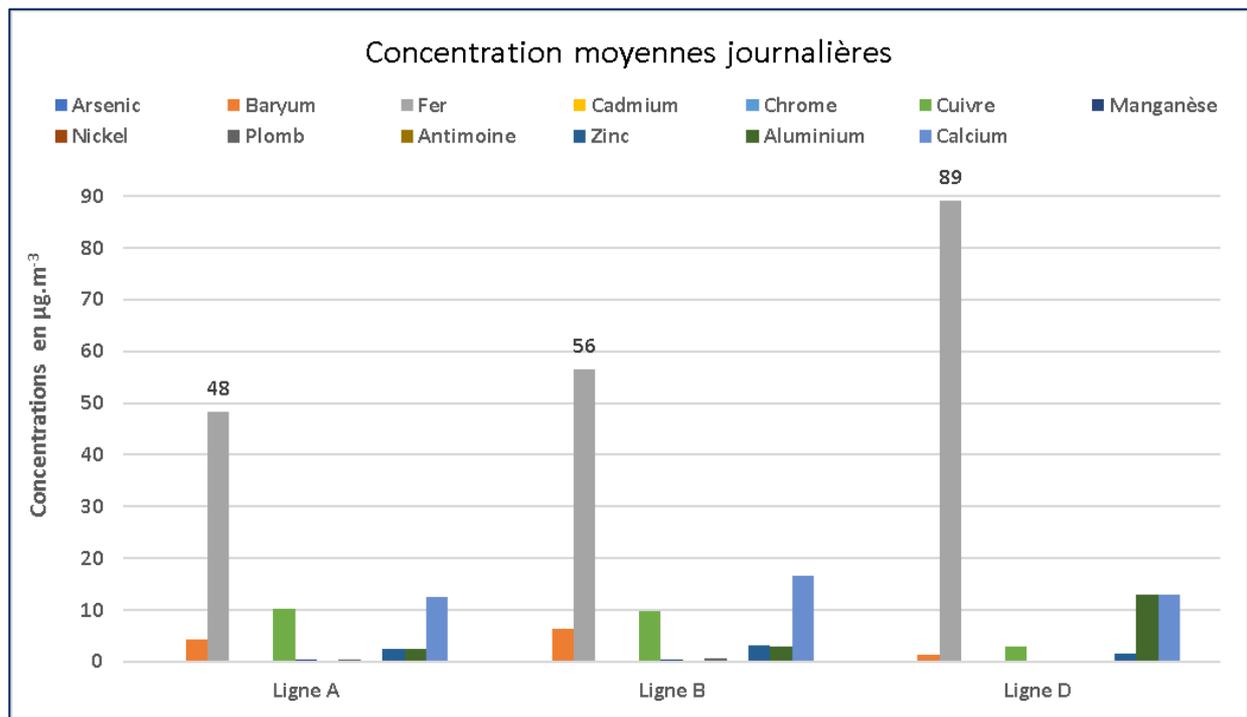


Figure 14 - Mesures « rames » - Répartition des métaux (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) par ligne

Les niveaux de fer sur les lignes A et B sont du même ordre de grandeur, alors qu'ils sont près presque 2 fois plus élevés sur la ligne D avec $89 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Première campagne d'étude dans les habitacles des rames de métro, il n'existe pas d'autres études permettant de faire une comparaison des résultats. A titre indicatif, les concentrations en fer sont comparées à celles réalisées durant les études « 15 jours » (campagne 2022) sur les quais de « Saxe-Gambetta », « Bellecour » et « Vieux Lyon » (cf. paragraphe 5)

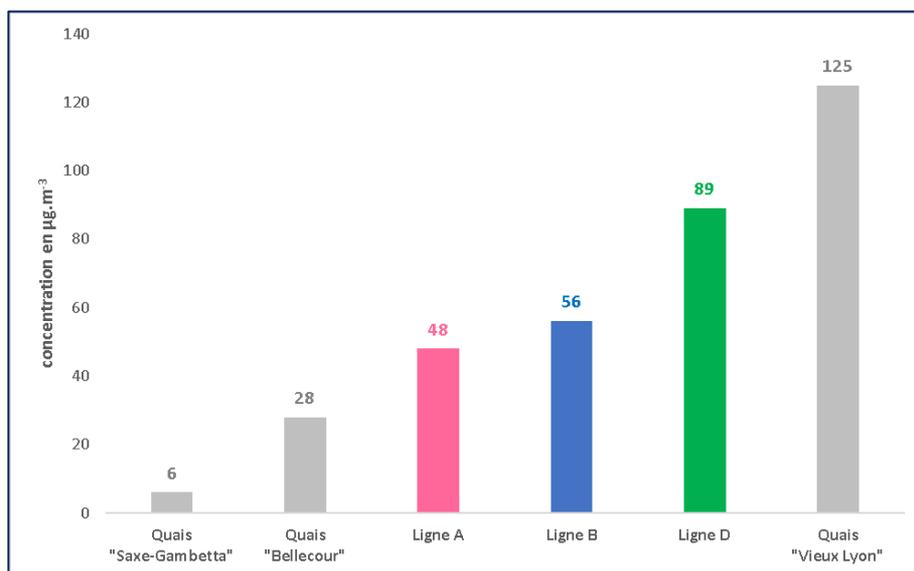


Figure 15 - Mesures « rames » - Concentrations moyennes sur la période en fer (en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) lignes/Quais

Les niveaux en fer, dans les habitacles des rames (lignes A, B et D) se situent entre les niveaux moyens relevés à « Bellecour » et à « Vieux Lyon ». Ceux relevés sur la ligne D sont proches de ceux relevés à « Vieux Lyon » (station située sur la ligne D).

Sur le quai de Saxe-Gambetta, station de la ligne B, les mesures ($6 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) ont été réalisées après la mise en circulation des nouvelles rames de métro, contrairement aux mesures réalisées dans les habitacles des rames de la ligne B ($56 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$), ce qui peut, en partie, expliquer l'écart entre ces 2 moyennes.

Remarque : il est nécessaire de rester vigilants sur ces comparaisons entre les quais et l'intérieur des rames puisque les campagnes de mesures n'ont pas été réalisées de manière simultanée durant les mêmes durées et les mêmes périodes et au même endroit.

Les autres métaux analysés (baryum, calcium, zinc, cuivre, ...), présents en quantité moins importante que le fer, se répartissent de la manière suivante :

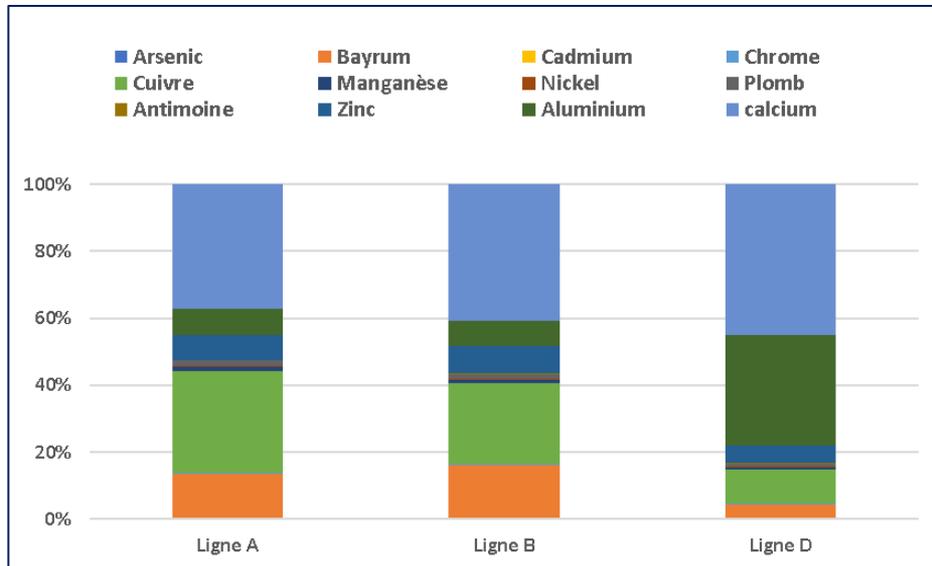


Figure 16 - Mesures « rames » - Répartition des métaux (en %) hormis le fer, par ligne

Parmi les différences entre les 3 lignes de métro, on peut souligner :

- une répartition des métaux globalement équivalente sur les lignes A et B mais différente de la ligne D.
- l'aluminium est plus présent dans les métaux sur la ligne D (33 %) que sur les lignes A (9 %) et B (9 %).
- La part de Baryum (5 %) et de cuivre (10 %) est moins importante sur la ligne D que sur les lignes A (baryum 12 % et cuivre 24 %) et B (baryum 13 % et cuivre 21 %).

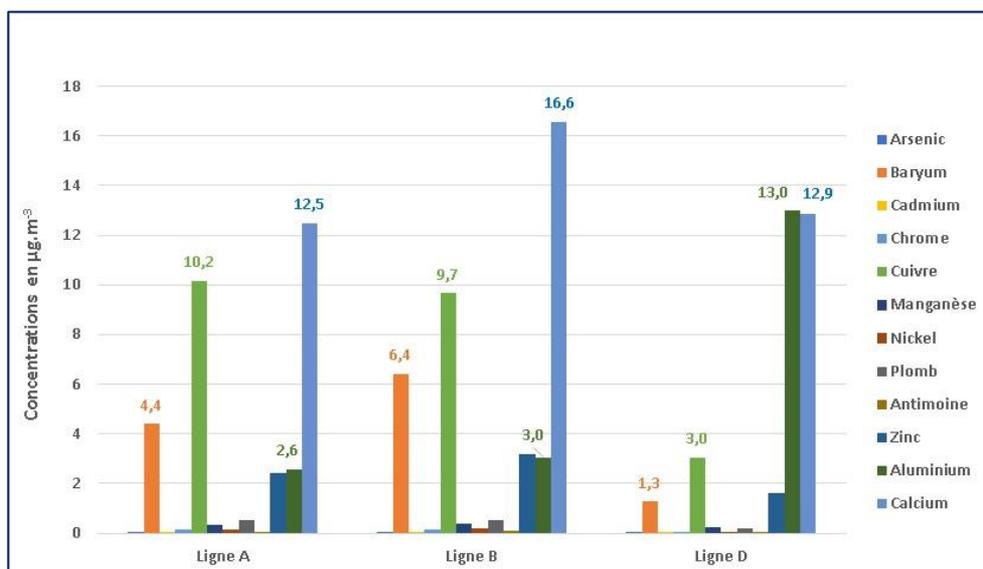


Figure 16 - Mesures « rames » - Concentrations des autres métaux (en µg.m⁻³) par ligne

Comme dans l'analyse des proportions, ces métaux se distinguent aussi en concentration sur la ligne D, c'est-à-dire plus d'aluminium et moins de baryum et de cuivre.

Même si les niveaux ne sont pas comparables, les concentrations en métaux lourds relevées dans les EFS sont bien au-dessus de celles enregistrées en air extérieur.

3.3.3. Niveaux de confinement et paramètres de confort

Le dioxyde de carbone (CO₂) – indicateur de confinement

Il n'existe pas de valeur de référence en CO₂ pour les EFS. Toutefois, afin d'appréhender des situations de confinement, il est utile de se référer au HCSP (Haut Conseil de Santé Publique) qui définit une valeur repère de 800 ppm de CO₂ comme objectif d'un renouvellement de l'air satisfaisant des locaux occupés et une valeur d'action rapide fixée à 1500 ppm. Le RSD (Règlement Sanitaire Départemental), quant à lui, recommande de se situer en dessous d'un seuil de 1 000 ppm.

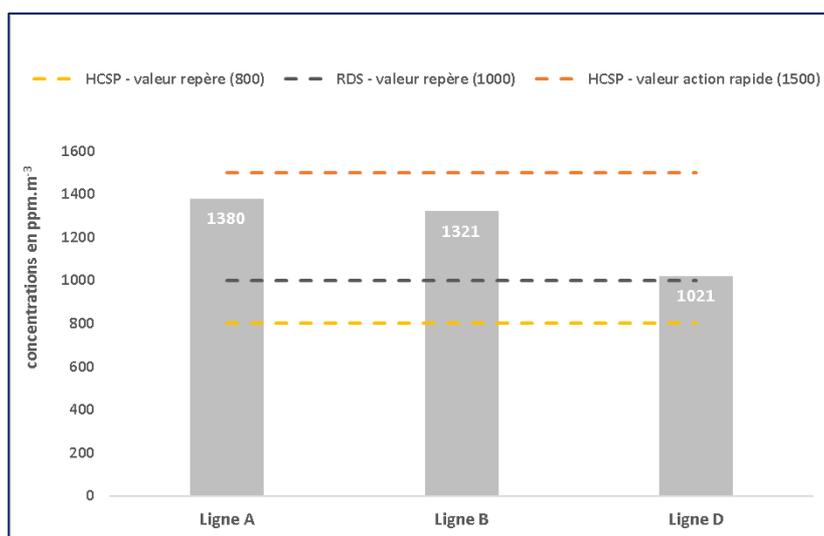


Figure 17 - Mesures « rames » - Moyennes CO₂ (en ppm) par ligne

Les niveaux de confinement (concentration en dioxyde de carbone – CO₂) mesurés dans les rames des lignes A, B et D dépassent les seuils de 800 ppm (HCSP) et 1000 ppm (RSD) mais restent en dessous de la valeur d'action rapide fixée à 1500 ppm par le HCSP.

Les niveaux mesurés dans les rames des lignes A et B traduisent donc une situation de confinement. Les rames sont plus confinées, en lien avec des volumes plus petits que ceux des quais, conduisant à une accumulation du CO₂ plus rapide et en conséquence à l'augmentation des niveaux relevés. Cette observation est cohérente avec la présence des usagers dans un espace réduit, plus confiné.

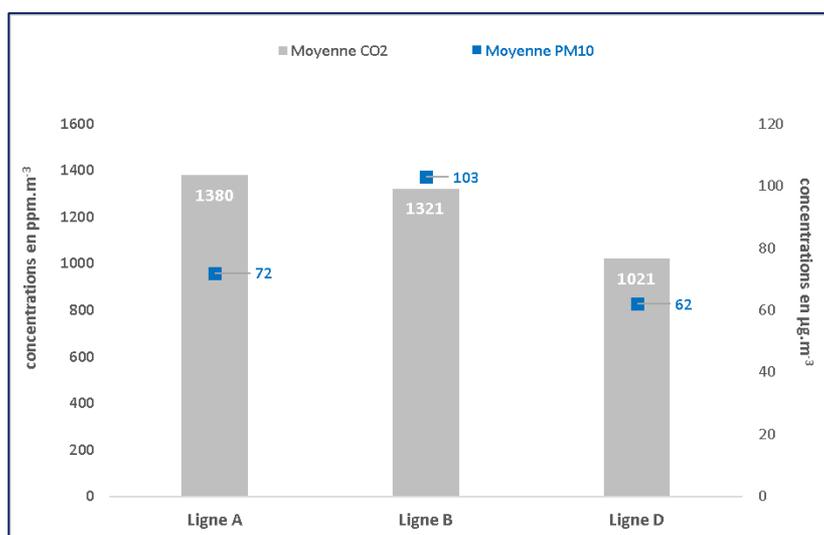


Figure 18 - Mesures « rames » - Moyennes CO₂/PM₁₀ par ligne

En première approche, les concentrations moyennes en PM10 et en CO₂ de chacune des lignes ne sont pas corrélées : par conséquent, il ne semble pas avoir de lien entre une ambiance plutôt confinée et la hausse possiblement attendue des concentrations de particules dans ce cas.

Cependant, des mesures de CO₂ réalisées en continu sur la station de Saxe-Gambetta, en parallèle des mesures fixes de PM10, ont montré qu'il pourrait y avoir une corrélation entre ces 2 paramètres lorsque les mesures sont réalisées sur des périodes plus longues et en continu.

La température (T°) et l'humidité relative (HR) – paramètres de confort

La température moyenne (calculée sur les 3 trajets) la plus élevée est de 22,7 °C et concerne la ligne B. Le taux d'humidité le plus élevé a été enregistré sur la ligne A (57 %). En comparaison, le taux d'humidité recommandé en environnement intérieur se situe entre 40 et 60%.

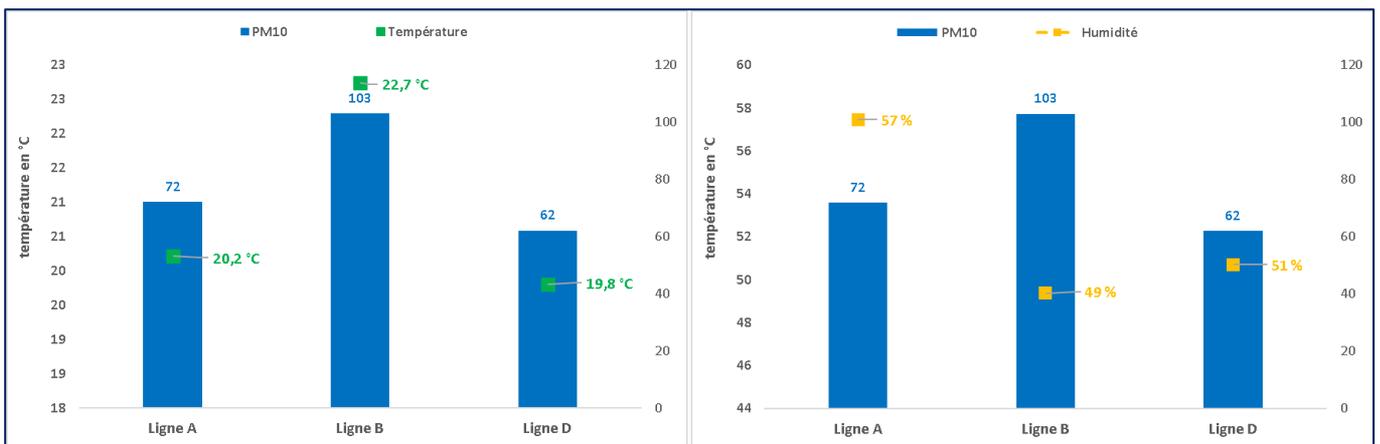


Figure 19 - Mesures « rames » - Moyennes Température/Humidité/PM10 par ligne

Ces 2 paramètres de confort n'ont a priori pas de lien évident avec les niveaux de particules mesurés dans les rames. En revanche, l'humidité est très souvent liée à la température : plus les températures augmentent et plus l'air est sec. L'anti-corrélation est bien visible sur chacune des lignes de métro :

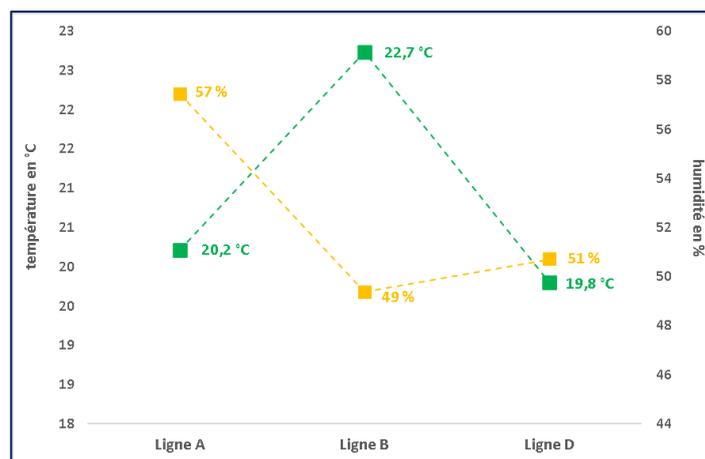


Figure 20 - Mesures « rames » - Moyennes Température/Humidité par ligne

3.4. Conclusion

En 2022, l'exposition des usagers a été évaluée pour la 1^{ère} fois dans les habitacles des rames de métro. Des mesures de particules (PM10 et PM2,5), de métaux et de dioxyde de carbone (CO2) ont été réalisées dans les habitacles des lignes A, B et D. La température et l'humidité ont également été suivies.

Concernant les particules PM10 et PM2,5, les niveaux moyens relevés dans les rames de la ligne B (103 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en PM10 et 53 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ en PM2,5) sont plus élevés (environ 30 % de plus) que ceux relevés sur les lignes A et D. En comparaison des mesures réalisées à Saxe-Gambetta (mesures sur le quai), les concentrations sont 2,5 fois moins élevées dans les rames de la ligne B et elles sont 3,5 fois moins élevées dans les rames des lignes A et D.

Concernant, les métaux lourds, et comme sur les quais, le polluant majoritaire est le fer sur la ligne A (60 %) et la ligne B (59 %). C'est également le polluant dominant sur la ligne D mais en quantité plus importante (76 %). Les 12 autres métaux mesurés sont présents mais en quantité moindre avec des différences relevées également sur la ligne D en concentration et répartition des métaux.

Les niveaux de confinement mesurés dans les rames sont supérieurs aux seuils recommandés par le HCSP (800 ppm) et par le RDS (1000 ppm) ; ils traduisent donc une situation de confinement dans les rames A et B. Cependant, ces niveaux restent en dessous de 1500 ppm (valeur d'action rapide fixée par le HCSP) et sont peu problématique au regard des temps passés dans les rames.

La température moyenne (20,9 °C) relevée sur l'ensemble des lignes ainsi que l'humidité relative (52 %) n'ont pas de lien évident avec les niveaux de particules relevés dans les habitacles des rames.

4. Etude de hiérarchisation des stations

A l'identique des années précédentes, l'étude de hiérarchisation consiste à réaliser des mesures ponctuelles, avec du matériel léger et dans l'ensemble des stations du métro, (mesures irréalisables avec le matériel plus technique comme celui qui équipe la station fixe). Les résultats indicatifs mais exhaustifs permettront de classer les stations de métro en fonction des résultats trouvés et ainsi d'identifier les 3 stations dans lesquelles des mesures plus poussées seront mises en œuvre.

Le protocole méthodologique de l'INERIS prévoit de faire cette étude de hiérarchisation trois années de suite afin de consolider les résultats et tenir compte de la variabilité des concentrations de particules en fonction des stations et des périodes de mesure (heures et jours). De ce fait, une troisième étude de hiérarchisation des stations du métro lyonnais a ainsi été réalisée à l'automne 2022.

4.1. Polluants et paramètres étudiés

L'étude de hiérarchisation des stations de métro s'appuie sur la mesure des PM10, de manière ponctuelle et répétée dans chacune des stations : pour cela, nous utilisons un analyseur portatif ³ qui permet également de mesurer des paramètres de confort que sont la température et l'humidité relative.

4.2. Sites et période de mesure

Comme pour les 2 années antérieures, les mesures ont de nouveau été réalisées dans les 36 stations de métro des lignes A, B et D représentant ainsi 90 % de la totalité du réseau du métro lyonnais. Les stations concernées par les 10 % restant sont situées en surface et ne font pas l'objet de l'étude. Les stations avec des correspondances (Bellecour, Saxe-Gambetta et Charpennes) ont été investiguées sur les quais des 2 lignes, soit au total 39 points de mesure (*annexe 7 - Etude de hiérarchisation – liste des stations de métro étudiées*).

Le protocole de mesure consiste à effectuer de courtes campagnes de mesure des particules PM10 d'environ 15 minutes dans des conditions semblables (jours ouvrés, heures de pointe de fréquentation, position similaire sur les différents quais...). Ces mesures sont répétées 3 fois par station, à des moments différents (jours différents, matin et après-midi, horaires variables dans les plages visées), pour consolider et moyenner les résultats de chacune des stations (*annexe 8 - Etude de hiérarchisation – Particules PM10 – moyennes 15 min*).

Les mesures ont donc été faites :

- hors période de vacances : les 20, 21, 22, 26, 27 et 28 septembre 2022 et le 4 octobre 2022.
- en période de pointe du matin entre 7h et 9h et en fin de journée entre 16h et 20h.
- au milieu des quais et à hauteur des voies respiratoires d'un voyageur en position debout.

³ Analyseurs « FIDAS frog » recommandés dans le guide de l'INERIS

4.3. Résultats

4.3.1. Classement des études précédentes

Les études de hiérarchisation réalisées en 2020 et 2021 avaient donné les classements suivants :

	1 ^{ère} étude de hiérarchisation	2 ^{ème} étude de hiérarchisation
	2020	2021
Classements (moyenne PM10 « 15 min »)	1 ^{er} Vieux Lyon (162 $\mu\text{g.m}^{-3}$)	1 ^{er} Bellecour-A (114 $\mu\text{g.m}^{-3}$)
	2 ^{ème} Bellecour-A (129 $\mu\text{g.m}^{-3}$)	2 ^{ème} Vieux Lyon (113 $\mu\text{g.m}^{-3}$)
	3 ^{ème} Saxe-Gambetta (92 $\mu\text{g.m}^{-3}$)	3 ^{ème} Charpennes (105 $\mu\text{g.m}^{-3}$)

4.3.2. Les particules PM10

Le graphique ci-dessous présente les moyennes « 15 min » (3*15min) des stations de métro étudiées et classées de la station montrant les niveaux les plus importants à celles ayant les concentrations les plus faibles.

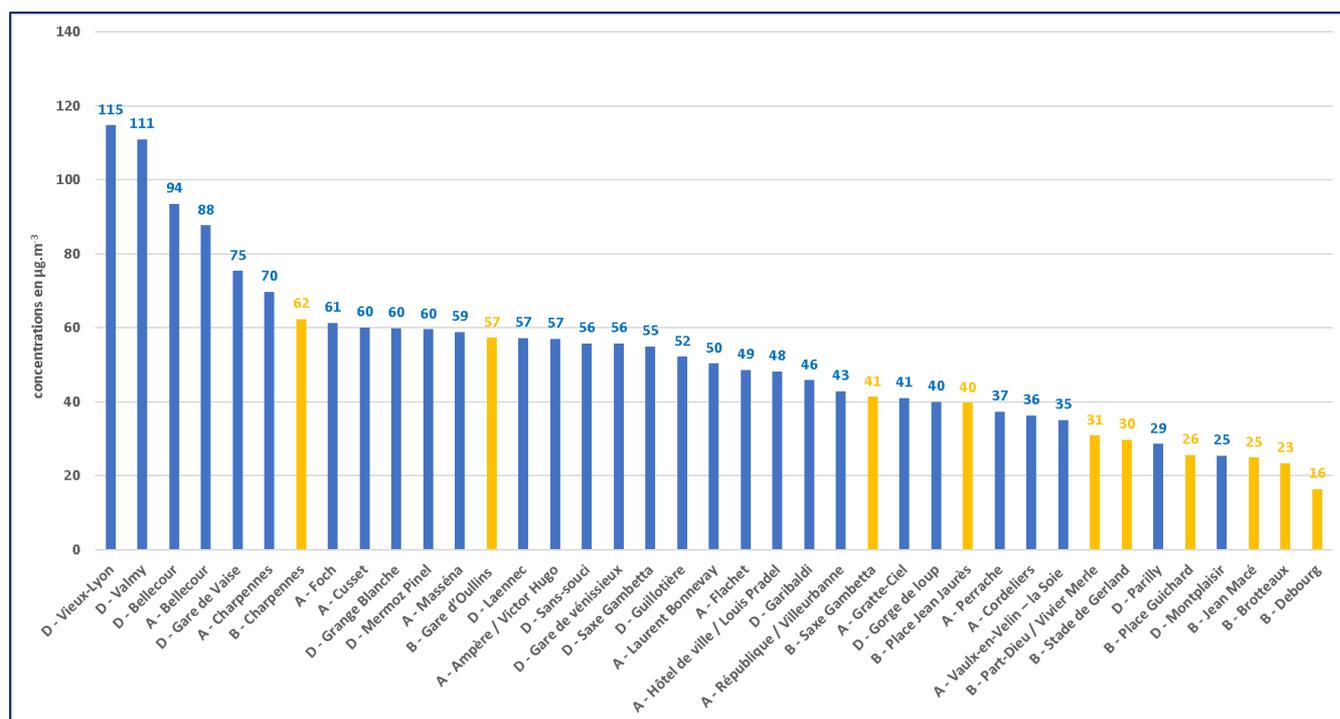


Figure 21 - Etude de hiérarchisation – Moyenne PM10 «15 min » (3*15min)

En 2022, la station « Vieux-Lyon » (métro D) est la station qui enregistre les concentrations moyennes en PM10 les plus élevées (115 $\mu\text{g.m}^{-3}$) et c'est également la station qui enregistre la valeur maximale la plus haute sur 15 minutes (151 $\mu\text{g.m}^{-3}$). Cette station occupait la 2^{ème} place lors de l'étude de hiérarchisation de 2021 avec une moyenne de 113 $\mu\text{g.m}^{-3}$.

« Vieux Lyon » est la station la plus profonde du métro lyonnais. Sa situation est probablement défavorable avec des quais étroits, des plafonds assez bas et en voute, et une capacité de renouvellement d'air faible. Cela pourrait expliquer en partie l'accumulation importante des particules et les fortes concentrations en PM10 enregistrées.

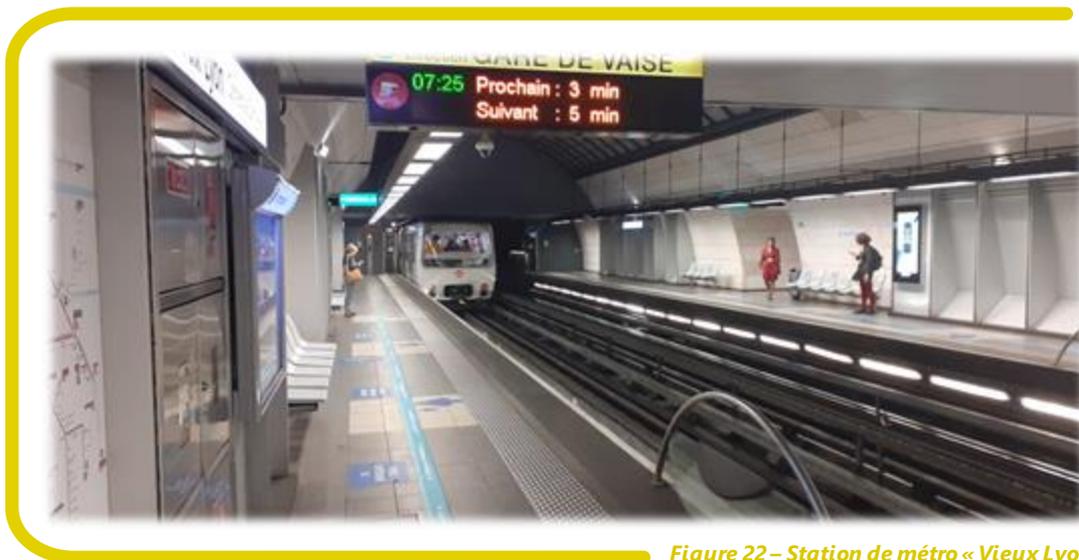


Figure 22 – Station de métro « Vieux Lyon »

En 2022, « Debourg » (ligne B) est la station qui enregistre les concentrations en PM10 les moins élevées ($16 \mu\text{g.m}^{-3}$). Elle est également celle qui enregistre la valeur sur 15 min la plus basse ($23 \mu\text{g.m}^{-3}$). Cette station occupait la 25^{ème} place en 2021 avec une moyenne de $64 \mu\text{g.m}^{-3}$.



Figure 23 – Station de métro « Debourg »

Par rapport à l'étude de hiérarchisation réalisée en 2021 :

- la station « Bellecour-A », qui occupait la 1^{ère} place ($114 \mu\text{g.m}^{-3}$) est maintenant 4^{ème} du classement 2022 avec une moyenne encore élevée ($88 \mu\text{g.m}^{-3}$) mais en baisse par rapport à 2021.
- la station « Parilly », qui occupait la dernière place ($37 \mu\text{g.m}^{-3}$), se positionne encore dans les dernières en 2022 (34^{ème}) avec une moyenne à $29 \mu\text{g.m}^{-3}$.

Même constat qu'en 2021, les écarts de concentrations en PM10 varient différemment d'une station à une autre et d'une année à l'autre. Même si la méthodologie de l'INERIS cadre les périodes de mesure et demande de les mixer dans le but d'avoir des moyennes représentatives, le fait de devoir réitérer l'étude 3 années consécutives démontre que des biais peuvent tout de même apparaître, ce qui pourrait être le cas pour les stations avec un classement très différent entre 2021 et 2022 : ce sera un point d'amélioration à étudier pour les futurs échantillonnages.

De plus, avec la mise en circulation des nouvelles rames de métro sur la ligne B (cf. paragraphe 2.4.2), les concentrations enregistrées sur toutes les stations de cette ligne (en orange sur le graphique suivant) ont fortement diminué (environ - 50 % en moyenne sur l'ensemble des stations).

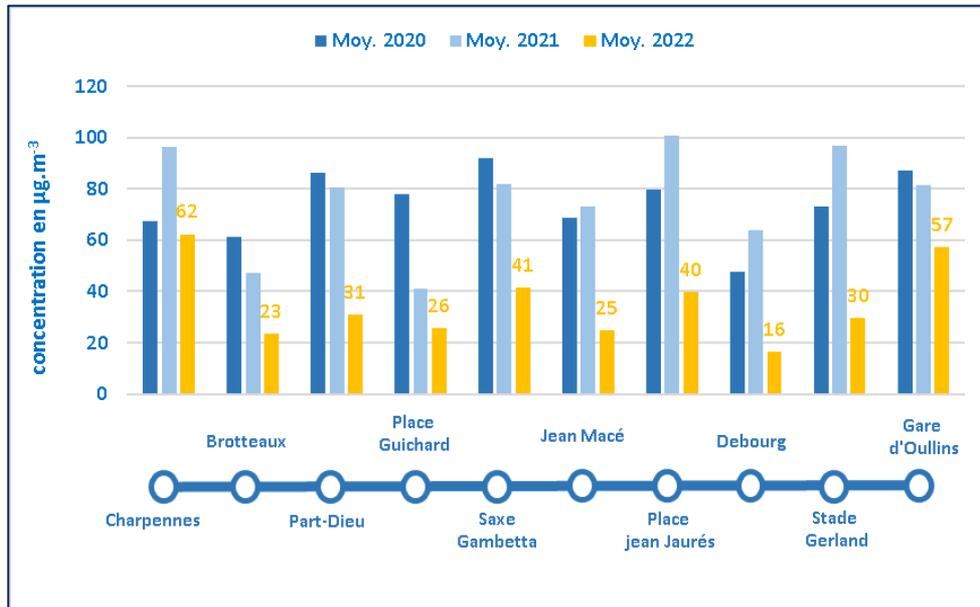


Figure 24 - Etudes de hiérarchisation – Ligne B - Evolution des moyennes (3*15 min)

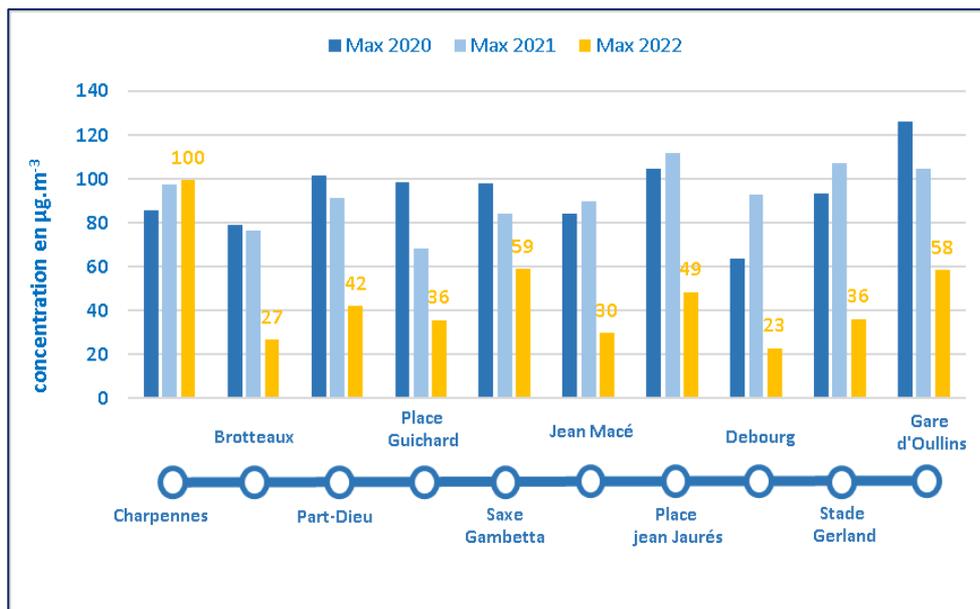


Figure 25 - Etudes de hiérarchisation – Ligne B - Evolution des max (3*15 min)

4.3.3. Paramètres de confort

Lors de cette étude, des mesures de température et d'humidité relative ont également été réalisées afin d'identifier des situations atypiques en termes de circulation d'air ou de confort pour les voyageurs.

La température (T°) – paramètre de confort

La température moyenne calculée sur l'ensemble des sites (*Annexe 9 - Etude de hiérarchisation – Température moyennes 15'*) est de 25 °C. La moyenne la plus forte a été relevée pour la station de « Bellecour-A » avec 29 °C et la plus faible pour la station de « Gare d'Oullins » avec 17 °C.

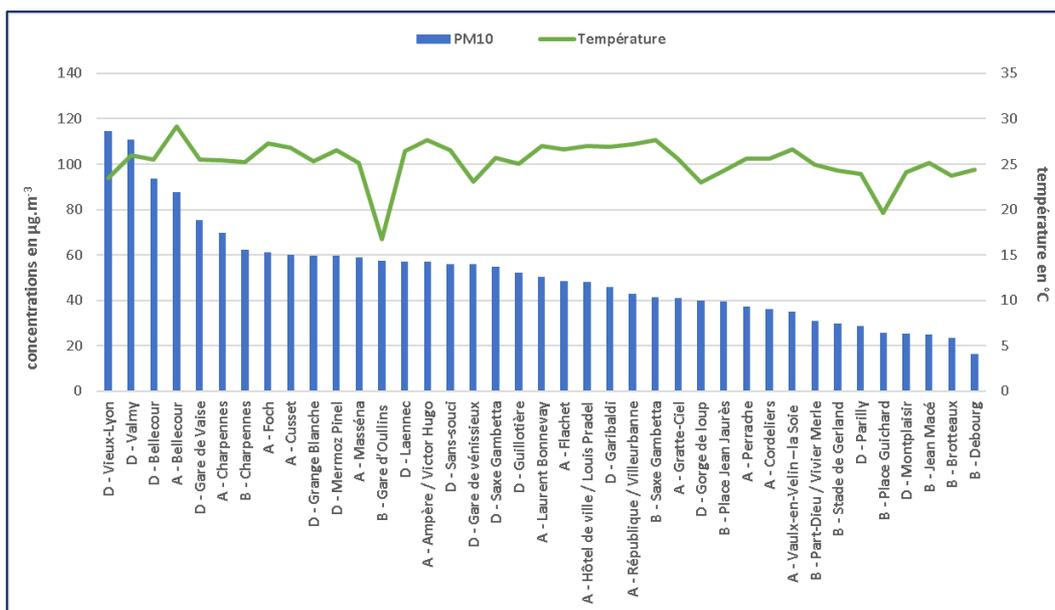


Figure 26 – Etude de hiérarchisation - PM10/température

L'humidité relative (HR) – paramètre de confort

L'humidité relative moyenne enregistrée sur l'ensemble des sites (*Annexe 10 - Etude de hiérarchisation – Humidité relative moyennes 15'*) est de 30 % et elle varie entre 24 et 41 %, selon les stations de métro. En comparaison, le taux d'humidité recommandé en environnement intérieur se situe entre 40 et 60%.

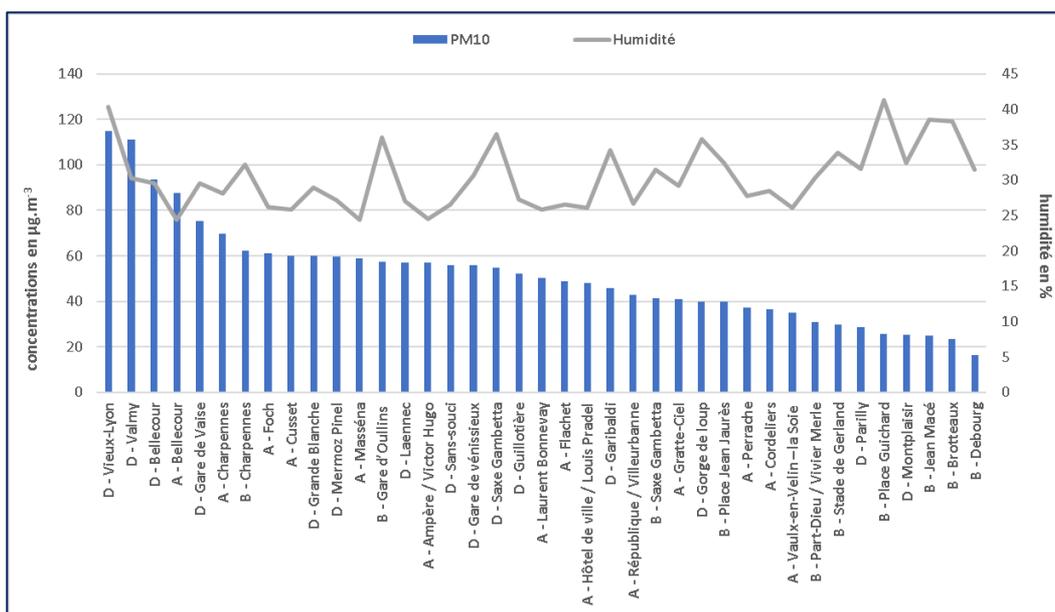


Figure 27 - Etude de hiérarchisation – PM10/humidité

Ces 2 paramètres de confort n'ont donc a priori pas de lien évident avec les niveaux de particules mesurés dans le métro. En revanche, l'humidité est très souvent liée à la température : plus les températures augmentent et plus l'air est sec. L'anti-corrélation est bien visible sur cette période de mesures :

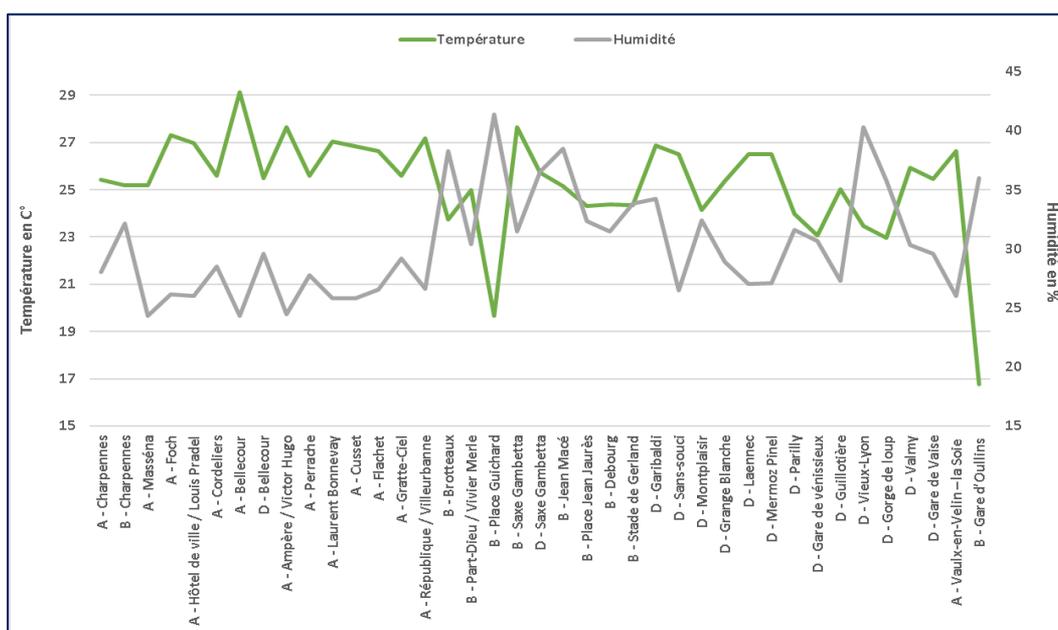


Figure 28 - Etude de hiérarchisation – Température/Humidité

4.4. Conclusion

Cette troisième étude de hiérarchisation a permis d'établir un nouveau classement des 36 stations (39 points de mesures) étudiées des lignes A, B et D du métro lyonnais, en fonction de leurs concentrations moyennes en PM10. Les 3 stations observant les plus forts niveaux sont :

1. « Vieux Lyon » (métro D) avec la concentration moyenne en PM10 la plus élevée ($115 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). En 2021, cette station occupait la 2^{ème} place.
2. « Valmy » (métro D) qui occupe en 2022 la 2^{ème} place ($111 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$). En 2021, elle se positionnait à la 13^{ème} place.
3. « Bellecour-D » est 3^{ème} ($94 \mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$) et se plaçait à la 33^{ème} place en 2021.

A l'issue de l'étude de hiérarchisation, le protocole d'étude de l'INERIS prévoit des mesures complémentaires de métaux et des mesures renforcées de particules dans les 2 stations dont les niveaux en particules sont les plus élevés ainsi que dans celle qui est la plus fréquentée.

Compte tenu de la mesure pérenne de la station de « Saxe-Gambetta », quel que soit son classement à l'issue de l'étude de hiérarchisation, il a été décidé de l'investiguer chaque année avec des mesures complémentaires de métaux afin d'assurer une continuité dans les mesures des particules et des métaux et ainsi disposer d'une référence pour l'évolution temporelle des niveaux d'année en année.

Le choix définitif des 2 autres stations a été effectué en fonction des niveaux de particules enregistrés dans les stations mais aussi des possibilités pratiques d'installation du matériel et des opportunités de mesures complémentaires. En concertation avec SYTRAL Mobilités et en complément de la station fixe de « Saxe-Gambetta », les 2 stations suivantes ont été retenues pour réaliser ces campagnes de mesures complémentaires de 15 jours :

- La station « Bellecour » : régulièrement positionnée dans les 3 premières places des études de hiérarchisation depuis 2020, cette station a de nouveau été retenue afin de consolider les résultats de l'année dernière et d'assurer une continuité dans les mesures des particules et des métaux.
- La station « Vieux Lyon » enregistre toujours des niveaux élevés en particules et métaux et elle se positionne constamment dans les 3 premières places des études de hiérarchisation depuis 2020.

Malgré des campagnes déjà effectuées, des mesures supplémentaires sont encore nécessaires afin de pouvoir en comprendre les causes et accompagner SYTRAL Mobilités dans ses actions.

La station « Valmy » posant des problèmes pratiques quant à l'installation du dispositif de mesure, n'a donc pas été retenue.

5. Etude « 15 jours » sur les quais

5.1. Sites de mesure et polluants étudiés

À la suite de l'étude de hiérarchisation, les stations de « Bellecour » (métro A) et « Vieux Lyon », en plus de celle de « Saxe-Gambetta », ont donc été sélectionnées pour réaliser une campagne complémentaire.



Figure 29 – Station de métro « Bellecour » et « Vieux Lyon »

Les polluants prospectés sont les particules (PM10 et PM2,5) et les métaux dans la fraction PM10 des particules (fer, baryum, cuivre, zinc, antimoine, manganèse, nickel, plomb, arsenic, cadmium, chrome, aluminium et calcium).

5.2. Période de mesure et matériel mis en oeuvre

Dans le but d'être représentative d'une période standard d'exploitation du métro et comme indiqué dans le protocole national, les mesures ont été réalisées hors périodes de vacances scolaires et dans l'ordre suivant : « Saxe-Gambetta » du 19 novembre au 3 décembre 2022, « Bellecour » du 23 février au 10 mars 2023 puis « Vieux Lyon » du 29 mars au 9 avril 2023.

Les systèmes de mesure mis en oeuvre pour cette campagne de mesure sur les 3 stations sont :

- Un préleveur bas-débit de type « Partisol » pour les métaux avec une tête de prélèvement des PM10 : prélèvement sur filtre (1 prélèvement de 24 heures par jour sur au moins 14 jours consécutifs) avec analyse différée des filtres en laboratoire.
- L'analyseur automatique TEOM 1405D de référence (celui utilisé à Saxe-Gambetta pour la mesure des poussières PM10 et PM2,5. Les mesures ont été réalisées en continu (24h/24, 7j/7) et sur au moins 14 jours consécutifs, dans la mesure du possible.

Cependant, un dysfonctionnement survenu sur l'analyseur TEOM 1405D nous a obligé à utiliser un autre analyseur de poussières TEOM qui ne mesure que les particules PM10 (une seule microbalance). De ce fait, il n'y aura pas de mesures PM2,5 à Vieux Lyon pour cette campagne de « 15 jours ».

5.3. Résultats

Les résultats détaillés des particules PM10 et PM2,5 ainsi que des métaux sont présentés dans les *annexes 11 à 16*, sous forme de quatre tableaux distincts pour les périodes suivantes :

- Sur la totalité de la campagne de mesures ;
- Sur les jours de semaine ;
- Sur les week-ends ;

- Sur les périodes de pointe en semaine, uniquement pour les particules PM10 et PM2,5 (non disponible pour les métaux étant donné que ce sont des résultats journaliers).

5.3.1. Les particules PM10 et PM2,5

À la suite de plusieurs problèmes techniques survenus en station lors de la campagne à Vieux Lyon et pour éviter d'étendre la période de mesure pendant les vacances scolaires (recommandation de l'INERIS d'exclure les périodes de vacances scolaires pour faire les mesures), les statistiques ont été calculées uniquement sur 12 jours entre le 29 mars et le 9 avril 2023 au lieu des 14 jours consécutifs demandés dans le guide de l'INERIS.

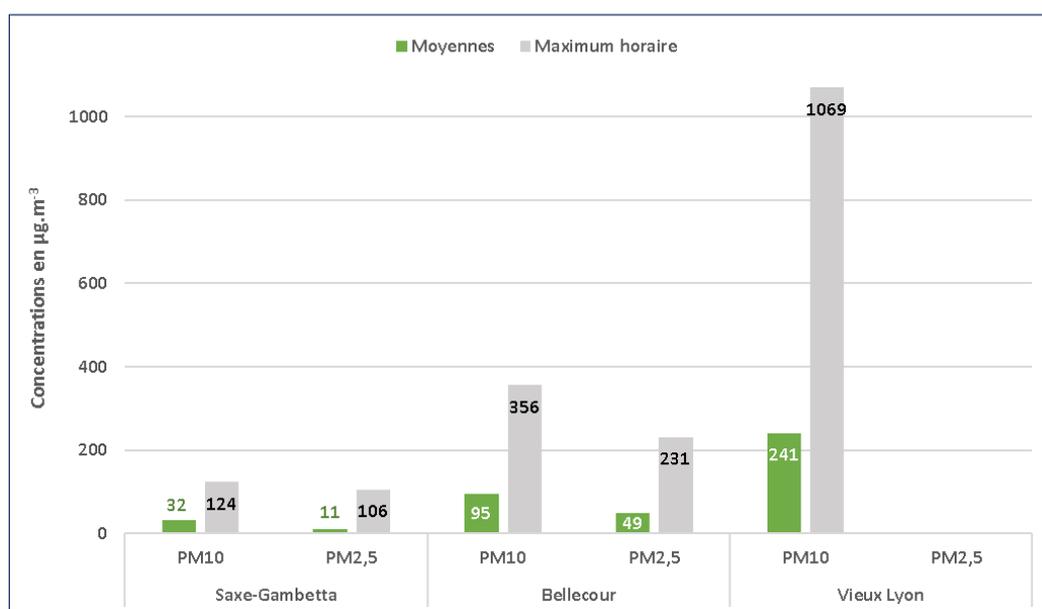


Figure 30 - Etude « 15 jours » - Moyenne et max horaire en PM10 et PM2,5 par station

La station « Vieux Lyon » montre une nouvelle fois les plus fortes concentrations moyennes en PM10 (241 $\mu\text{g.m}^{-3}$) confirmant ainsi la 1^{ère} place constatée lors de l'étude de hiérarchisation et ses niveaux de particules PM10 (111 $\mu\text{g.m}^{-3}$).

Par rapport à l'étude « 15 jours » réalisée en 2021, les niveaux enregistrés à « Vieux Lyon » sont en très forte hausse ; les moyennes en PM10 passent de 124 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à 241 $\mu\text{g.m}^{-3}$. Cette moyenne est même très supérieure à celle enregistrée durant la 1^{ère} campagne de mesure réalisée en 2020 (148 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en janvier 2021).

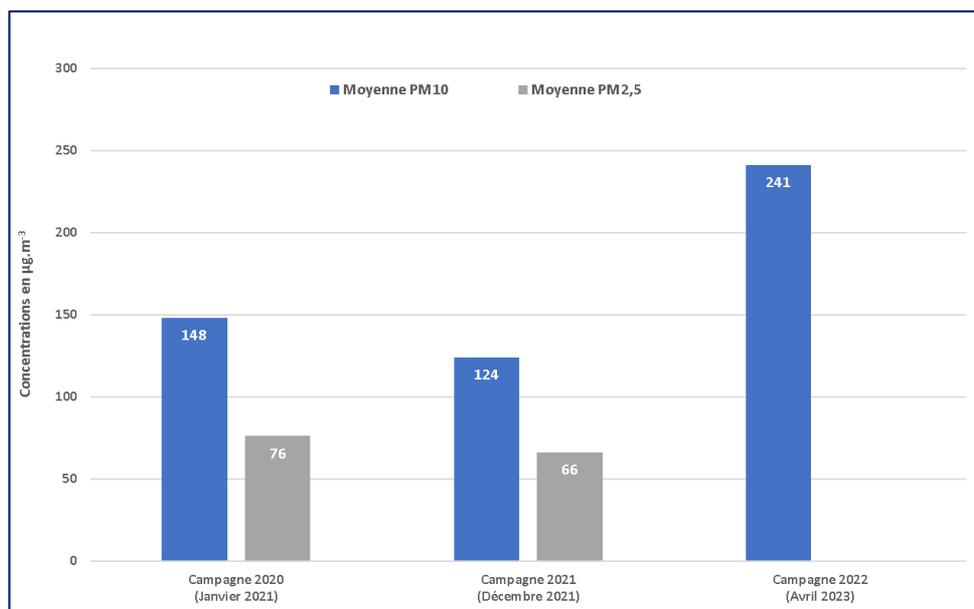


Figure 31 – Etude « 15 jours » - Vieux-Lyon – Evolution des moyennes PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

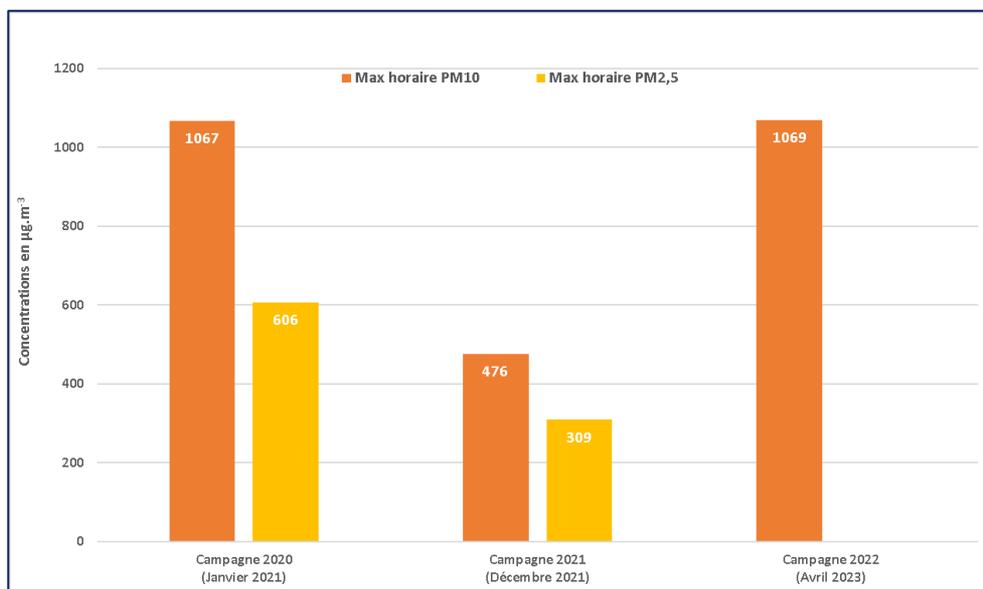


Figure 32 – Etude « 15 jours » - Vieux-Lyon – Evolution des max horaire PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

La baisse des concentrations constatée durant la 2^{ème} campagne (décembre 2021) était liée au nettoyage complet de la station (quai, rails, bouches d'aération) réalisé par SYTRAL Mobilités en octobre 2021 mais également au déplacement, sur le même quai et de quelques mètres, de la station qui se trouvait initialement sous des conduits d'aération très empoussiérés.

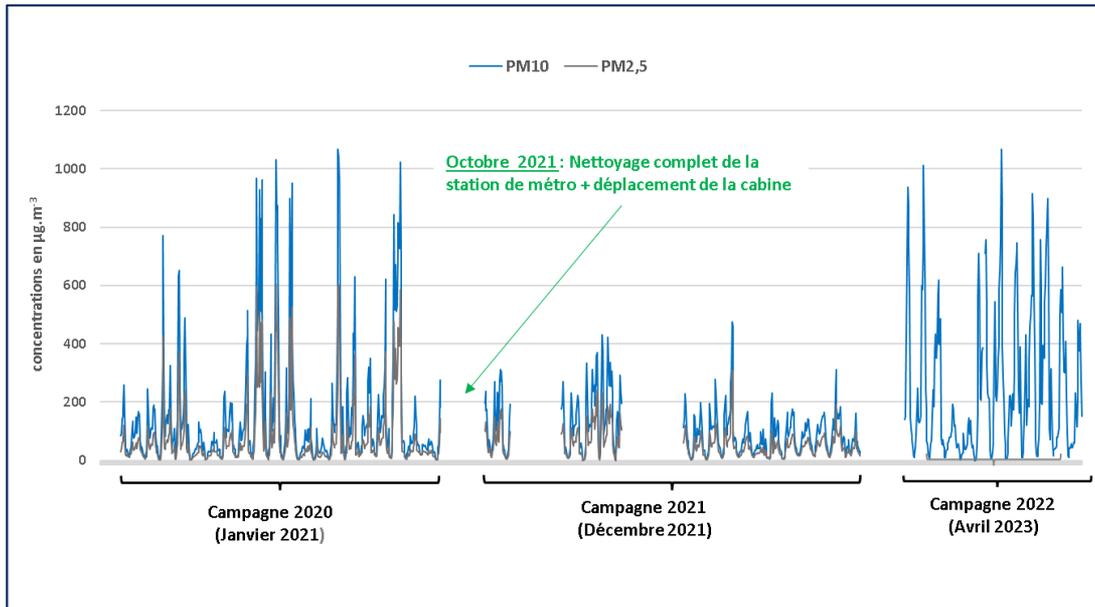


Figure 33 – Etude « 15 jours » - Vieux-Lyon – Evolution des concentrations horaires PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

La hausse des niveaux de particules PM10 constatée durant la 3^{ème} campagne de mesure (campagne 2022) est très certainement liée à une nouvelle accumulation des poussières dans la station (1 an et demi après le dernier nettoyage), à la remise en suspension régulière des particules par les usagers (fréquentation des usagers) et par la circulation des rames de métro.

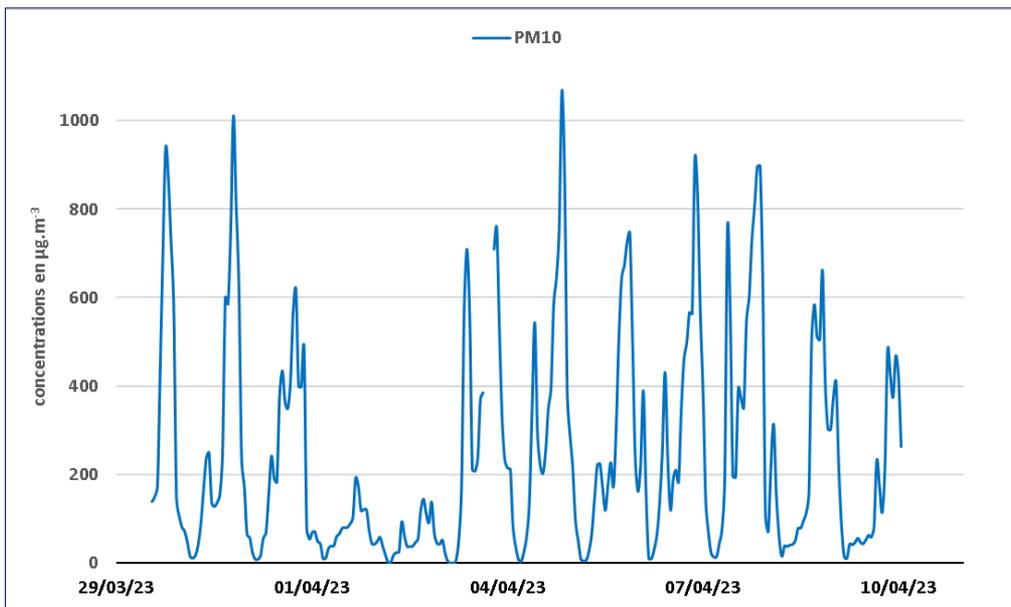


Figure 34 - Etude « 15 jours » - Vieux Lyon - Evolution des concentrations horaires des particules PM10 du 29 mars au 9 avril 2022 (campagne 2022)

La station « **Saxe-Gambetta** » enregistre des moyennes en PM10 et PM2,5 sur 15 jours (correspondante à la campagne avec la mesure des métaux) respectivement de 32 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ et de 11 $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$. Contrairement aux observations faites à « **Vieux Lyon** », les niveaux enregistrés à « **Saxe-Gambetta** » sont en très forte baisse entre les 2 campagnes de 15 jours (2021 et 2022).

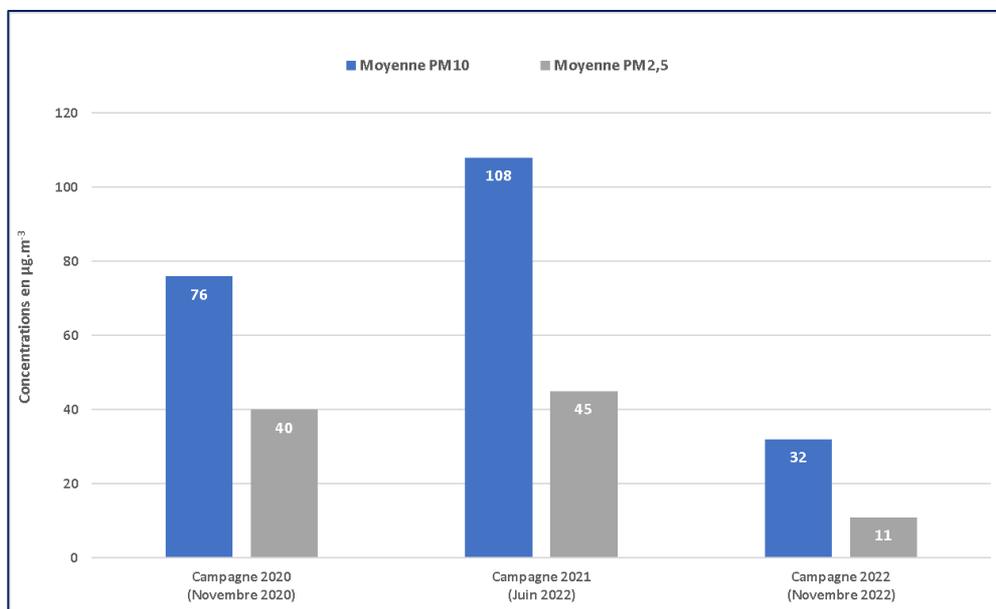


Figure 35 – Etude « 15 jours » - Saxe-Gambetta – Evolution des moyennes PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

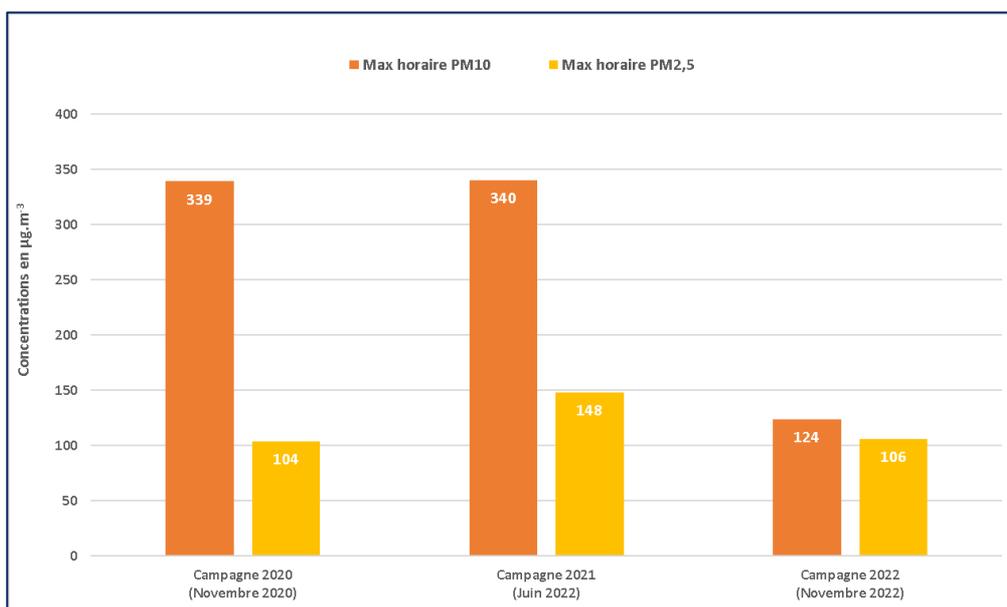


Figure 36 – Etude « 15 jours » - Saxe-Gambetta – Evolution des max horaire PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

Cette baisse des concentrations est en lien avec la mise en circulation des nouvelles rames de métro sur la ligne B (cf. paragraphe 2.4.2). Ces nouvelles rames ont été mises en service le 25 juin 2022 entre la campagne 2021 (réalisée en juin 2022) et celle de 2022 (réalisée en novembre 2022).

Mises en comparaison avec les moyennes calculées après le 25 juin (du 25 juin au 31 décembre 2022), les moyennes PM10 et PM2,5 de la campagne « 15 jours » sont cohérentes et confirment donc la baisse des concentrations :

- en PM10 : 32 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour « 15 jours » contre 44 $\mu\text{g.m}^{-3}$ du 25 juin au 31 décembre 2022
- en PM2,5 : 11 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour « 15 jours » contre 14 $\mu\text{g.m}^{-3}$ du 25 juin au 31 décembre 2022

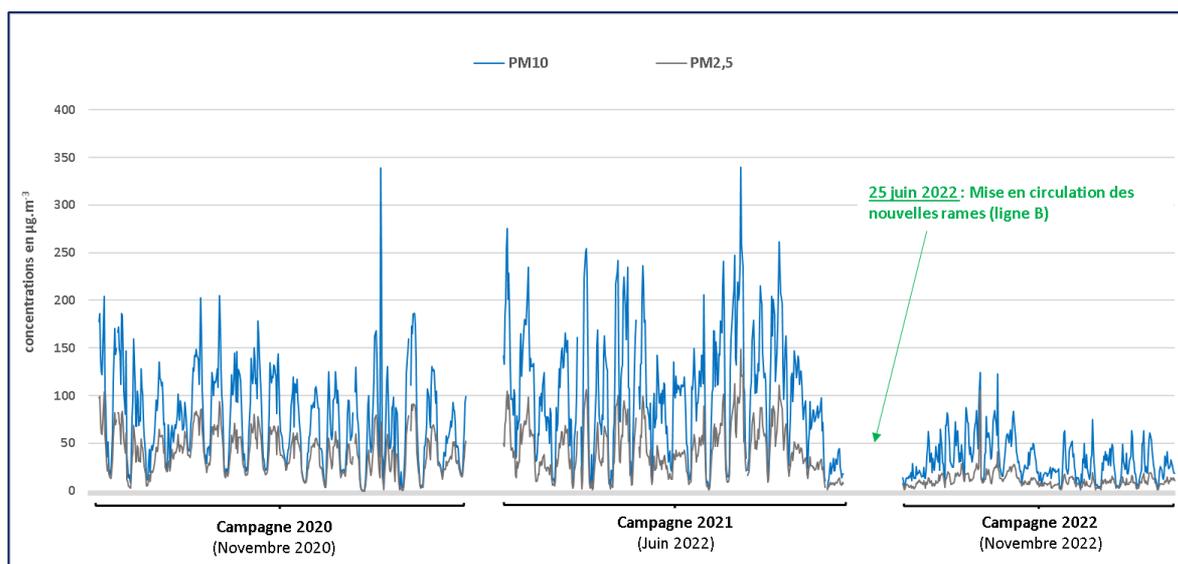


Figure 37 – Etude « 15 jours » - Saxe-Gambetta – Evolution des concentrations horaires PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

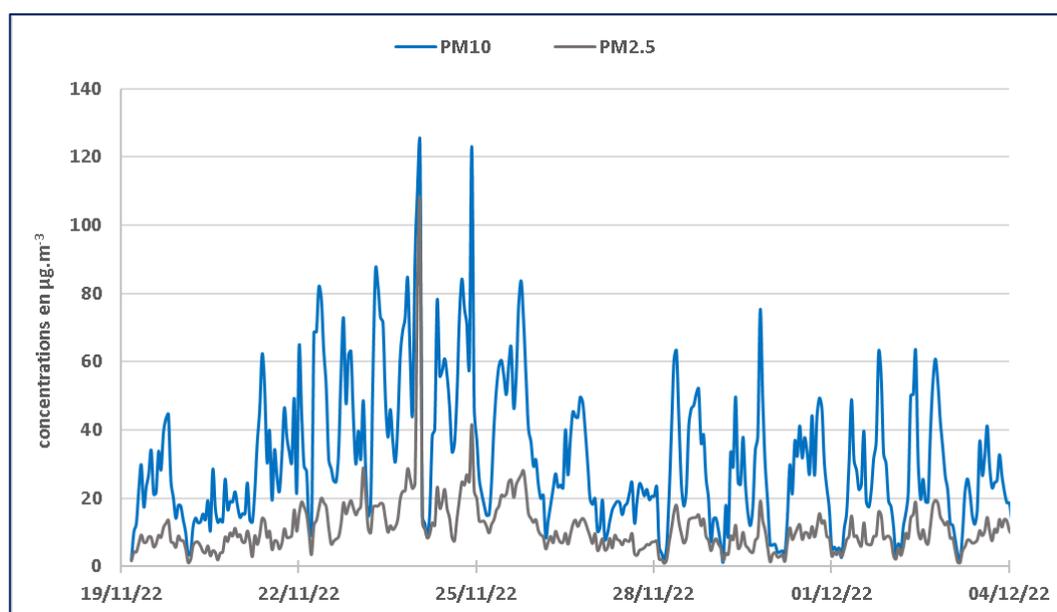


Figure 38 – Saxe-Gambetta - Evolution des concentrations horaires des particules PM10 et PM2,5 du 19 novembre au 3 décembre 2022 (campagne 2022)

Confirment les résultats de l'étude de hiérarchisation, les niveaux moyens enregistrés à « Bellecour » se situent entre les 2 stations de Saxe-Gambetta et Vieux Lyon, avec une moyenne en PM10 à 95 $\mu\text{g.m}^{-3}$ (et en PM2,5 à 49 $\mu\text{g.m}^{-3}$) contre une estimation des PM10 à 88 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Bellecour-A et 94 $\mu\text{g.m}^{-3}$ à Bellecour-D lors de l'étude (approximativement les mêmes ordres de grandeur).

La méthodologie nationale demande que l'étude de hiérarchisation soit réalisée durant 3 années successives, afin de mieux consolider les résultats.

Cependant, les concentrations moyennes relevées durant cette campagne « 15 jours » de 2022 sont en hausse par rapport à celle de 2021 : + 53 % pour les PM10 et + 69 % pour les PM2,5.

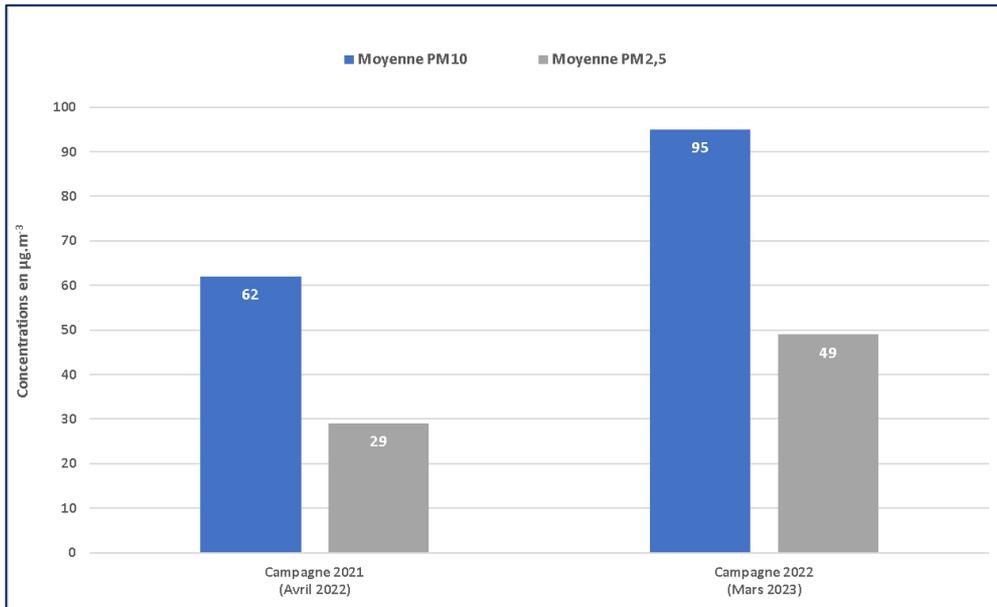


Figure 39 – Etude « 15 jours » - Bellecour – Evolution des moyennes PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

Les concentrations maximum horaires sont également en très forte hausse d'une campagne à une autre : un facteur 2 pour les PM10 et 3 pour les PM2,5.

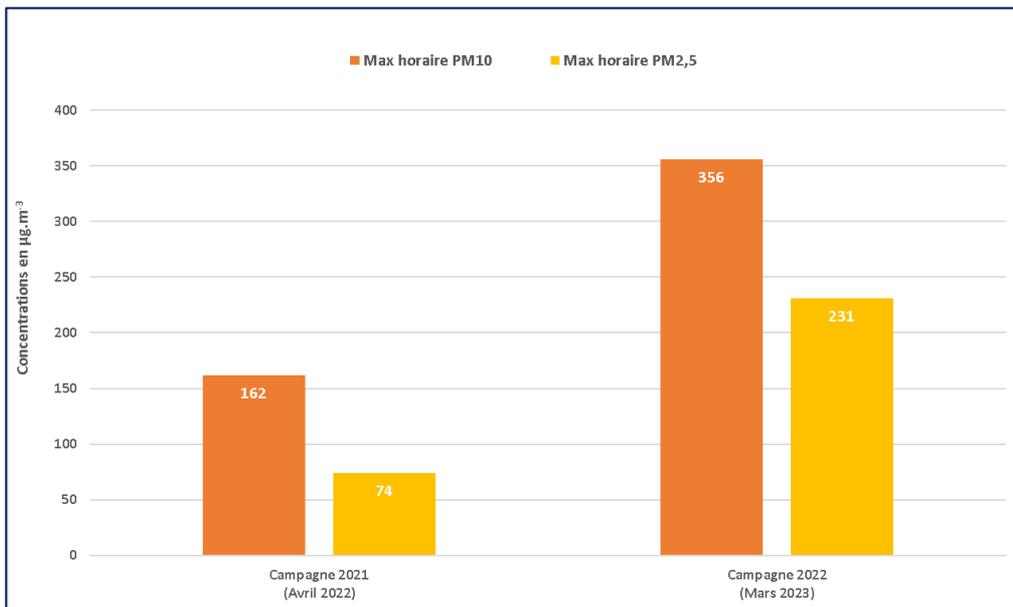


Figure 40 – Etude « 15 jours » - Bellecour – Evolution des max horaire PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

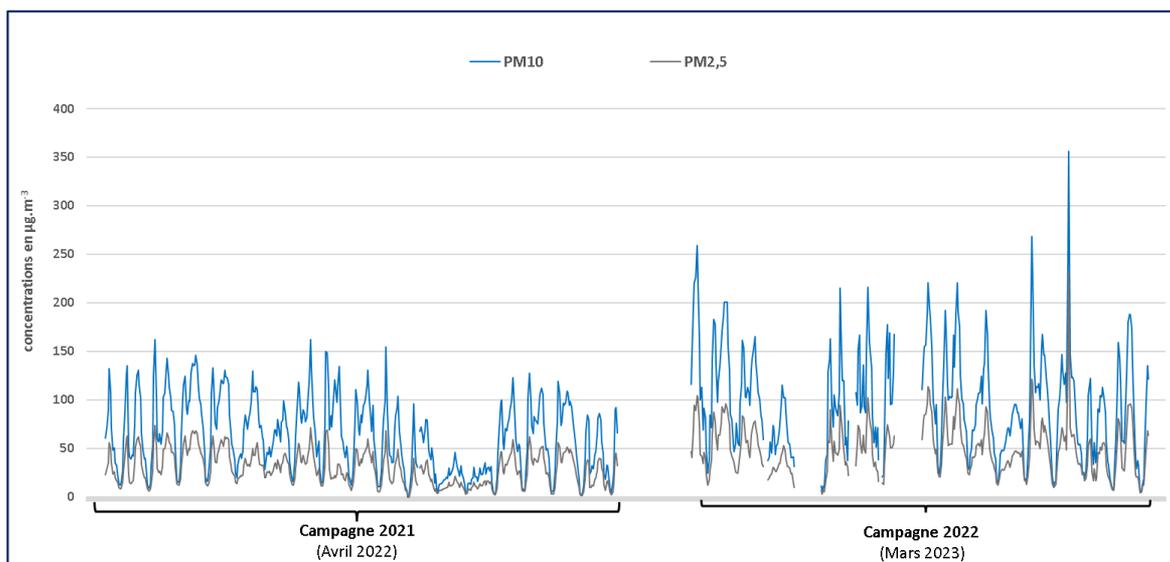


Figure 41 – Etude « 15 jours » - Bellecour – Evolution des concentrations horaires PM10/PM2,5 sur l'ensemble des campagnes

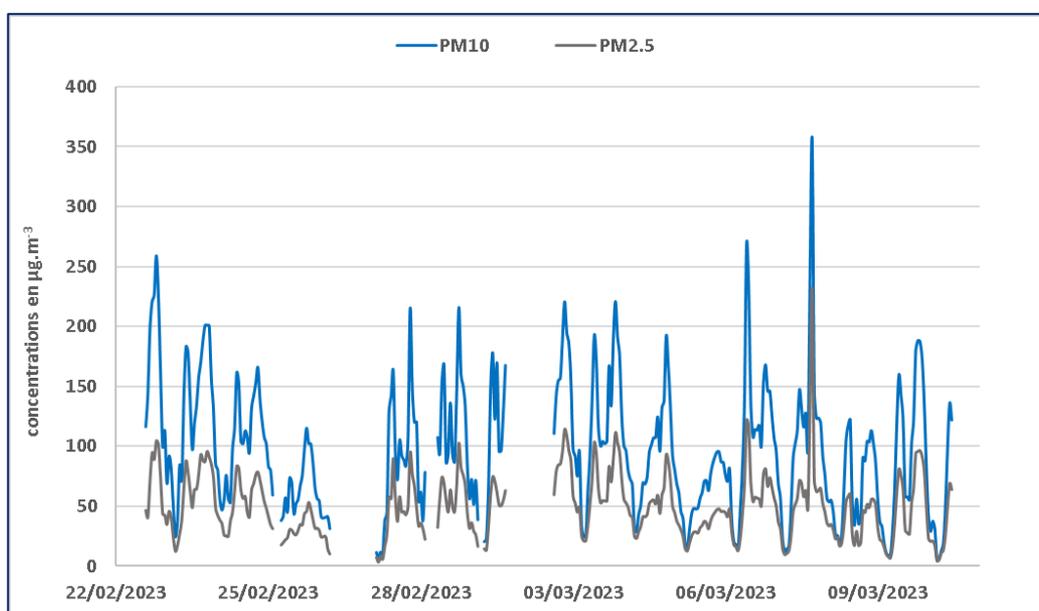


Figure 42 - Bellecour - Evolution horaire des particules PM10 et PM2,5 du 23 février au 10 mars 2023

Les concentrations horaires enregistrées à Saxe-Gambetta et Bellecour durant ces 15 jours d'étude respectent très largement les valeurs guides sur une heure en PM10 du CSHPF (fixée à $395 \mu\text{g.m}^{-3}$) et de l'ANSES (CSout_Lim à $480 \mu\text{g.m}^{-3}$). La valeur guide de l'ANSES (CSout_OMS) fixée à $140 \mu\text{g.m}^{-3}$, quant à elle, est très souvent dépassée à Bellecour, contrairement à Saxe-Gambetta où aucun dépassement n'a été enregistré. Concernant les PM2,5, la valeur guide de l'ANSES (CSout_OMS) fixée à $80 \mu\text{g.m}^{-3}$ est globalement respectée sur ces deux stations hormis quelques dépassements ponctuels constatés, surtout à Bellecour.

En revanche, avec des concentrations horaires plus élevées, Vieux Lyon enregistre des dépassements réguliers de la valeur guide ANSES (CSout_OMS) fixée à $140 \mu\text{g.m}^{-3}$ mais également des 2 valeurs guides ANSES (CSout_Lim à $480 \mu\text{g.m}^{-3}$) et CSHPF ($395 \mu\text{g.m}^{-3}$). Le maximum horaire en PM10 a été relevé à $1069 \mu\text{g.m}^{-3}$ le 4 avril 2023 à 20h en semaine et début de soirée.

L'évolution de ces concentrations horaires, en lien avec ces valeurs guides est présentée en annexe (Annexe 17 - Etude « 15 jours » - Situation des niveaux par rapport aux valeurs guides proposées par l'ANSES (CSout_OMS et CSout_Lim) et celle du CSHPF).

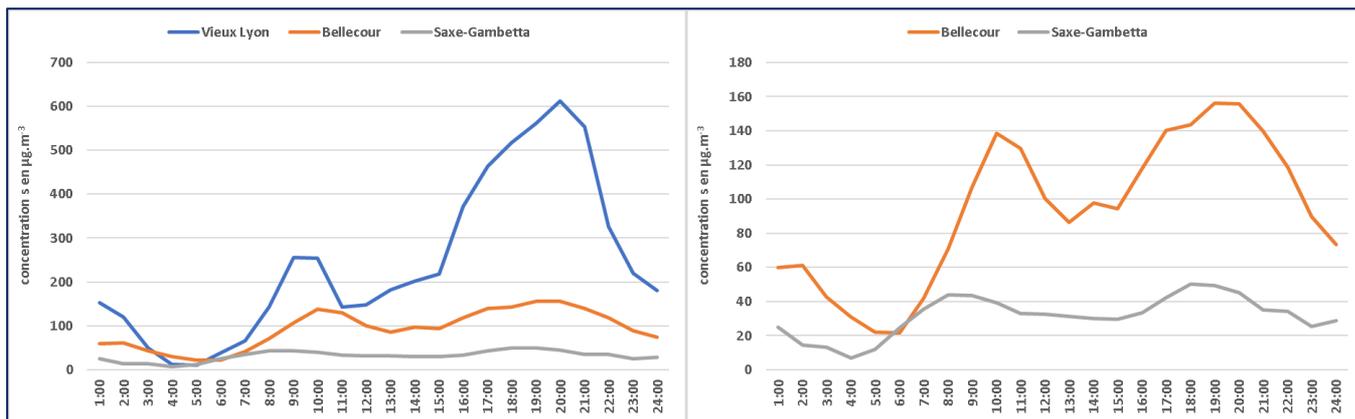


Figure 43– Etude « 15 jours » - Profils journaliers PM10

Les profils journaliers des PM10 et PM2,5 sont assez bien corrélés d’une station à une autre : on retrouve les pointes du matin (7h à 10h) et du soir (17h à 21h) liées à la fréquentation du métro et au nombre de rames en circulation. Les profils de la journée sont beaucoup plus marqués pour les stations de Vieux Lyon et de Bellecour qui présentent des niveaux de PM10 très élevés pour Vieux Lyon et des niveaux de PM10 et PM2,5 plus élevés qu’à Saxe-Gambetta (en lien avec la mise en circulation des nouvelles rames de métro sur la ligne B) pour Bellecour et donc des différences de concentrations de particules plus importantes entre les heures de pointe et les autres heures de la journée.

Concernant « Vieux Lyon », il est intéressant de constater que les niveaux de nuit (fermeture du métro de minuit à 5h du matin) sont plus élevés que ceux des 2 autres stations (même si Bellecour reste encore plus élevé que Saxe-Gambetta), ce qui indique bien un lien très marqué avec l’activité relative à la circulation des rames durant la journée et une dispersion des particules moins efficace. La forte baisse des niveaux à partir de 24h confirme le phénomène de dépôt des particules au sol pendant la nuit.

Les résultats obtenus dans la station de « Vieux Lyon » étant encore très élevés cette année et très différents des deux autres stations, ces derniers ont fait l’objet d’une analyse et d’une recherche de l’origine de ce phénomène avec SYTRAL Mobilités. De nouvelles mesures à Vieux Lyon seront réalisées en 2023.

5.3.2. Les métaux

Réglementation et origine dans les EFS

Les métaux regroupent une famille de composés assez vaste, la plupart se trouvant à l’état particulaire (voir liste paragraphe 5.1). Ils ne sont pas réglementés dans les enceintes ferroviaires souterraines et ne le sont uniquement en air ambiant avec des valeurs cibles en moyenne annuelle pour le nickel, le cadmium, l’arsenic et le plomb.

La source principale de particules riche en fer est liée aux phénomènes de friction et d’arrachement (contact roue-frein, contact du matériel roulant avec le système d’alimentation électrique, contact rail-roue).

Pour les autres métaux, les sources sont plus variables d’un réseau à l’autre. La présence d’éléments, comme l’aluminium ou le calcium, est généralement attribuée à des sources externes mais peut dans certains cas avoir une origine interne telle que l’usure des matériaux de construction, du ballast ou l’utilisation d’abrasif ou antidérapant ainsi que les freins. Cela est dépendant du type de matériels roulants (âge et composition).

Niveaux rencontrés

Phénomène connu dans les EFS, les proportions de métaux dans les particules sont bien plus importantes qu'en air extérieur. La part des métaux mesurée dans les particules, en moyenne sur les 14 prélèvements effectués, est différente d'un site à un autre : en moyenne 52 % à Vieux Lyon (46 % en 2021), 38 % à Bellecour (60 % en 2021) et 33 % à Saxe-Gambetta (40 % en 2020) :

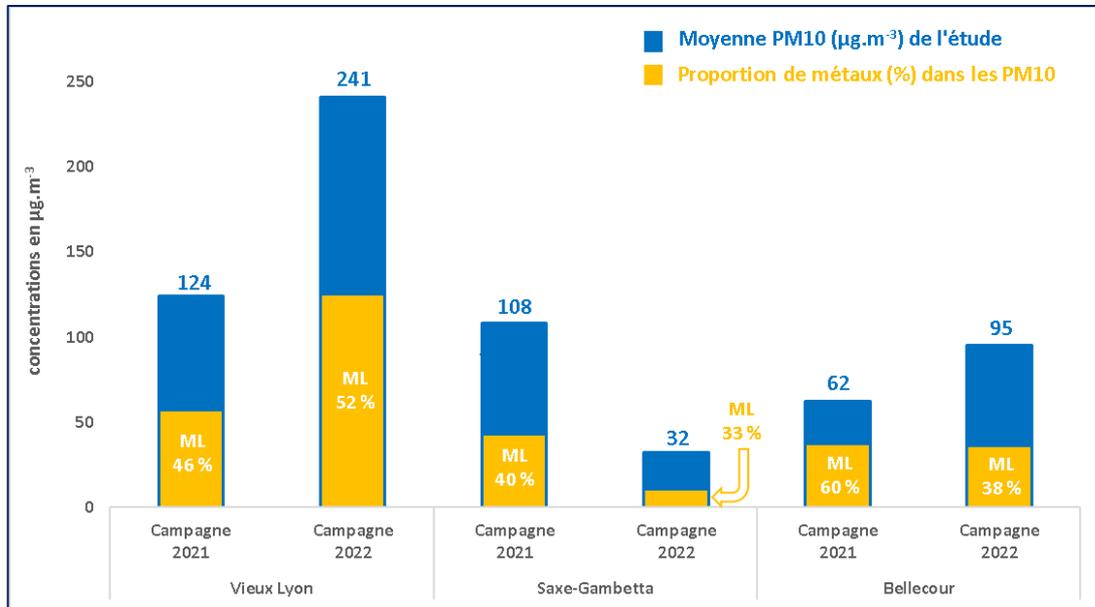
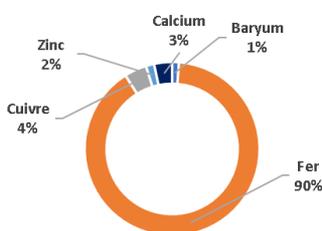


Figure 44 – Etude « 15 jours » - Evolution des niveaux de PM10 et proportion de métaux par stations

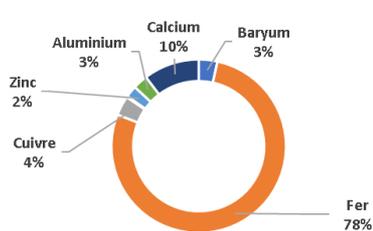
Comme vu précédemment, les niveaux de PM10 à Saxe-Gambetta lors de cette campagne 2022 ont fortement baissé par rapport à la précédente, et la proportion de métaux, quant à elle, baisse légèrement. Pour « Bellecour », la proportion de métaux représente un peu plus du tiers des particules et elle baisse par rapport à la campagne 2021. Quant à la station de « Vieux Lyon », avec une forte augmentation des niveaux de particules entre les 2 campagnes (2 fois plus), la proportion de métaux reste stable à une petite moitié de la quantité de particules.

Comme pour les campagnes antécédentes, le fer reste l'élément majoritaire représentant 59 à 90 % des métaux analysés : la présence importante de fer reste caractéristique des enceintes ferroviaires souterraines. Cette teneur en fer varie fortement d'un site à un autre : 59 % à Saxe-Gambetta » (en lien avec la mise en circulation des nouvelles rames sur la ligne B), 78 % à Bellecour et jusqu'à 90 % à Vieux Lyon.

Vieux Lyon - Répartition des métaux



Bellecour - Répartition des métaux



Saxe Gambetta - Répartition des métaux

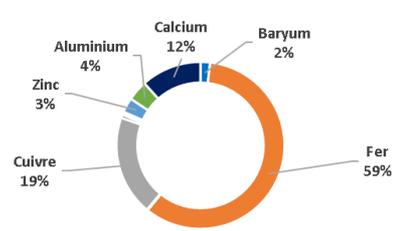


Figure 45 – Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) par stations

Remarque : sur les graphiques, l'ensemble des métaux est pris en compte dans la répartition. Cependant, certains à très faible pourcentage ne sont pas « visibles ».

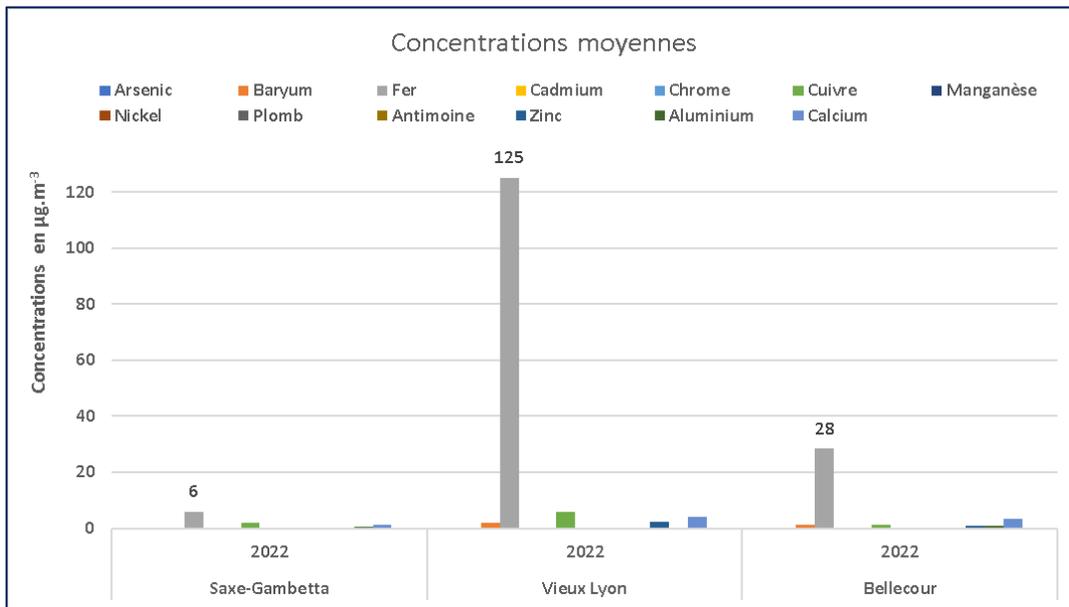


Figure 46 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en µg.m⁻³) par station

Les autres métaux analysés (baryum, calcium, zinc, cuivre, ...), présents en quantité moins importante que le fer, se répartissent de la manière suivante :

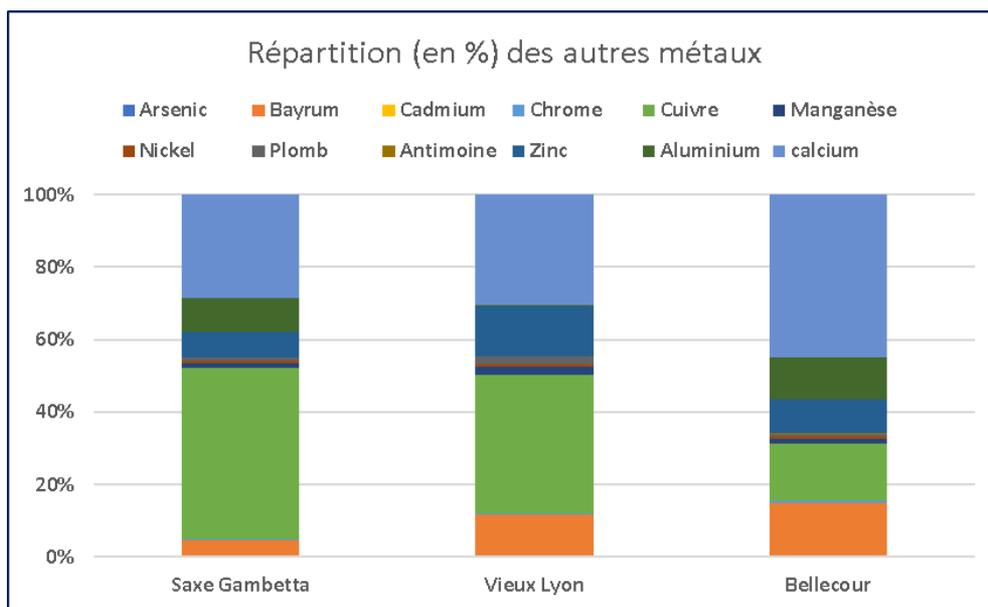


Figure 47 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) hormis le fer, par station

Parmi les différences entre les 3 stations, on peut distinguer :

- Le Baryum qui est plus présent dans les métaux à « Vieux Lyon » (11 %) et à « Bellecour » (16 %) qu'à « Saxe-Gambetta » (3 %).
- La part de Zinc est plus importante à Vieux Lyon (12 %) que sur les 2 autre stations.
- Moins de cuivre à Bellecour (14 %) qu'à Saxe-Gambetta (44 %) et Vieux Lyon (40 %).
- quasiment plus d'aluminium à Vieux Lyon contrairement à Saxe-Gambetta et Bellecour (10 %)

Pour « Vieux Lyon », les niveaux en PM10 sont en forte augmentation entre 2021 et 2022 mais la proportion globale de métaux reste stable. Cependant, dans le graphique ci-dessous, on constate que cette stabilité de proportion n'est plus vérifiée pour chacun des métaux.

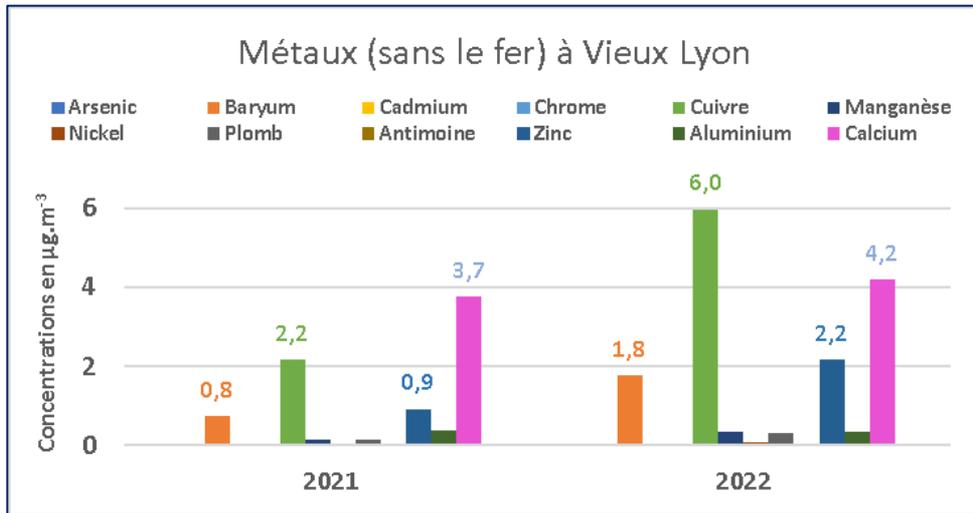


Figure 48 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) à Vieux Lyon

Concernant « Saxe-Gambetta », les niveaux en PM10 sont en très forte baisse entre les 2 campagnes de mesures mais la proportion de métaux baisse plus légèrement (de 40% à 33% en 2022). Globalement, on observe cette baisse dans la présentation par métal ci-dessous : pas de métal nouvellement présent et un léger déséquilibre qui concerne le Cuivre, le Calcium et le Baryum qui sont analysés en plus petite quantité cette année.

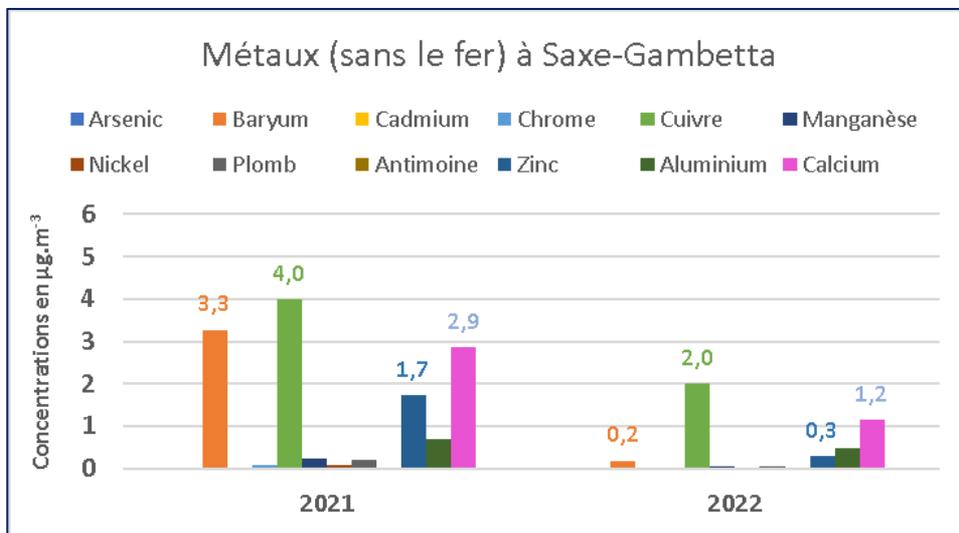


Figure 49 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en %) à Saxe-Gambetta

Pour « Bellecour », les niveaux en PM10 sont en augmentation entre 2021 et 2022 mais la proportion globale de métaux baisse quasiment de moitié (de 60 à 38 %). Cependant, dans le graphique ci-dessous, on constate que cette baisse se confirme uniquement pour le cuivre et reste stable pour les autres métaux.

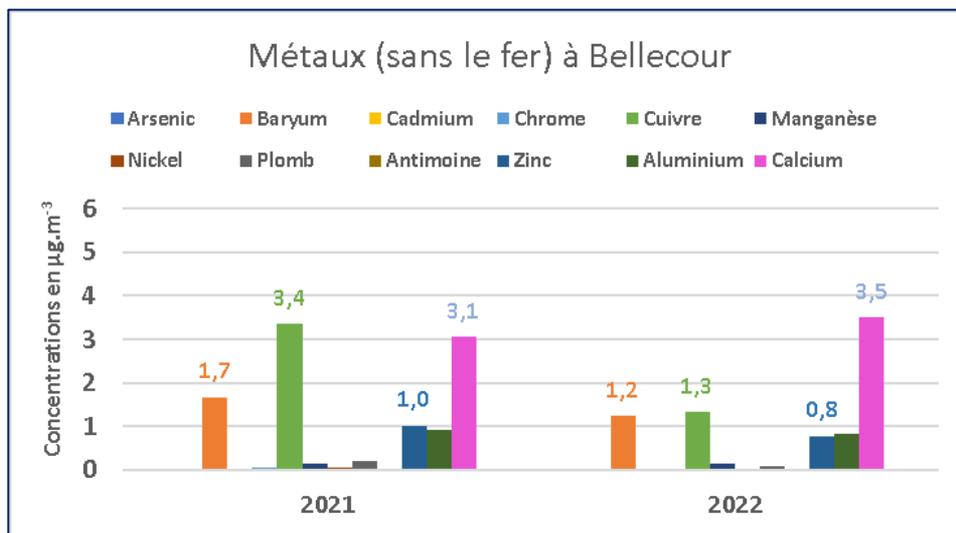


Figure 50 - Etude « 15 jours » - Répartition des métaux (en%) à Bellecour

5.4. Conclusion

À la suite de l'étude de hiérarchisation, des mesures complémentaires de PM10, PM2,5 et métaux ont été réalisées dans les stations de « Saxe-Gambetta » (station fixe, ajout des métaux), « Bellecour » et « Vieux Lyon », lors d'une campagne intensive de 15 jours.

Même si cela ne remet pas en cause les principaux constats, il est nécessaire de rester vigilants sur les comparaisons entre les stations car les campagnes de mesures n'ont pas été réalisées de manière simultanée durant les mêmes périodes.

Concernant les particules PM10 et PM2,5, des niveaux différents ont été mesurés dans les 3 stations : les plus forts à « Vieux Lyon » (pour les PM10 uniquement étant donné que la mesure PM2,5 n'a pas pu être réalisée), les plus faibles à « Saxe-Gambetta » et ceux de la station de « Bellecour », s'intercalant au milieu.

Par rapport à la campagne précédente, les concentrations sont en baisse à « Saxe-Gambetta » avec des moyennes sur 15 jours à 32 µg.m⁻³ pour les PM10 et 11 µg.m⁻³ pour les PM2,5 et en hausse à « Bellecour » avec des moyennes sur 15 jours à 95 µg.m⁻³ pour les PM10 et 49 µg.m⁻³ pour les PM2,5.

L'ensemble des données de « Saxe-Gambetta » et « Bellecour » respecte :

- la valeur guide 2022 fixée par le CSHPF à 395 µg.m⁻³ sur 1 heure.
- la valeur guide « Csout_Lim » proposée par l'ANSES et fixée à 480 µg.m⁻³ pour les particules fines PM10. En revanche, la valeur guide fixée à 140 (CSout_OMS) est très souvent dépassée à Bellecour.

Concernant les PM2,5, la valeur guide de l'ANSES (CSout_OMS) fixée à 80 µg.m⁻³ est globalement respectée sur ces deux stations.

Les concentrations enregistrées à « Vieux Lyon » sont en hausse par rapport à la campagne précédente et restent toujours plus élevées (241 µg.m⁻³ en moyenne pour les PM10) que celles enregistrées sur les deux autres stations. Le site de « Vieux Lyon » enregistre des dépassements réguliers des différentes valeurs guides de l'ANSES et du CSHPF pour les particules PM10.

L'analyse des résultats confirme certains constats de l'étude de hiérarchisation :

- des niveaux, à nouveau, très élevés à « Vieux Lyon »,
- des résultats cohérents et en baisse sur « Saxe-Gambetta » en lien avec la mise en circulation des nouvelles rames de métro sur la ligne B,
- pour « Bellecour », des résultats de l'étude du même ordre de grandeur que ceux obtenus par les moyens plus légers utilisés lors de l'étude de hiérarchisation (en moyenne $95 \mu\text{g.m}^{-3}$ contre $91 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10) d'où la consigne de l'INERIS de réitérer les études de hiérarchisation plusieurs années de suite.

Concernant les métaux, et de la même façon que la campagne précédente, le composé majoritaire reste le fer à 59 % à « Saxe-Gambetta » et 78 % à « Bellecour ». C'est également toujours le polluant dominant dans la station « Vieux Lyon » mais en quantité plus importante que dans les deux autres stations, à savoir une proportion de 90 % de la totalité des métaux.

Les 12 autres métaux mesurés sont présents mais en quantité moins importante et avec des particularités relevées d'une station à une autre.

Au regard des résultats de « Vieux Lyon », la situation nécessite toujours une recherche des causes occasionnant ces niveaux atypiques. Ce travail est en cours par SYTRAL Mobilités et le gestionnaire Keolis, avec l'appui d'Atmo AuRA, dans l'objectif d'identifier des possibilités de réduction des niveaux de particules dans cette station.

6. Conclusion générale

Depuis janvier 2020, un suivi permanent de la qualité de l'air dans le métro lyonnais est en place, avec des mesures en continu, et mises à disposition grâce à une diffusion publique en direct sur les sites internet des TCL et d'Atmo Auvergne-Rhône-Alpes.

Dans le contexte de la publication des recommandations de l'INERIS en novembre 2020 sur les méthodes de suivi de la qualité de l'air dans les EFS, les partenaires SYTRAL Mobilités et Atmo Auvergne-Rhône-Alpes ont souhaité aller plus loin que ces préconisations en créant un dispositif permanent de suivi de la qualité de l'air. Ce dernier s'est traduit par l'installation d'une station permanente de suivi des particules PM10 et PM2,5 sur les quais de la station de métro « Saxe-Gambetta ». Ce dispositif permet également, au moyen de divers matériels de mesures, d'accompagner SYTRAL Mobilités dans l'évaluation de leur plan d'actions ambitieux de réduction des particules dans les stations du métro.

Station fixe de « Saxe-Gambetta »

De nouvelles mesures sur une année complète ont été réalisées sur la station de Saxe-Gambetta en 2022. Ces mesures supplémentaires nous ont permis d'établir de nouvelles statistiques visant à connaître l'évolution des niveaux de concentration par rapport à 2021, leurs variations journalières et hebdomadaires, et l'exposition des usagers sur des années complètes.

Les concentrations moyennes de 2022 en particules PM10 et PM2,5 sont en baisse par rapport à 2021 (- 7 % pour les PM10 et - 28 % pour les PM2,5), en lien notamment avec la mise en circulation des nouvelles rames de métro sur la ligne B (baisse des concentrations constatée surtout sur le second semestre de l'année). Les niveaux sont également toujours plus réduits la nuit, le week-end, ou lors de périodes spécifiques, en lien avec les heures d'ouverture du métro et la fréquence des rames.

La valeur guide du CSHPF fixée à 395 $\mu\text{g.m}^{-3}$ et celle proposée par l'ANSES (480 $\mu\text{g.m}^{-3}$) pour les PM10 sont globalement respectées depuis le début de l'année. De plus, les nouvelles valeurs guides (CSout_OMS), fixées respectivement à 140 $\mu\text{g.m}^{-3}$ et à 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10 et le PM2,5, régulièrement dépassées sur le 1^{er} semestre de l'année 2022, ont été très largement respectées sur le second.

Au regard de ces références, ces résultats peuvent donc être considérés comme satisfaisants. Ils restent néanmoins sensiblement plus élevés qu'en air extérieur : en concentration moyenne annuelle, environ d'un facteur 2,5 pour les PM2,5 et 4 pour les PM10, que l'on se réfère à une station lyonnaise de forte proximité automobile ou par comparaison à une station urbaine de fond. Ces niveaux sont habituellement rencontrés dans les EFS.

Etude dans les habitacles des rames

Des mesures de particules PM10 et PM2,5 et de métaux ont été réalisées pour la première fois dans les habitacles des rames des lignes A, B et D.

A titre indicatif, l'exposition des usagers aux particules en suspension PM10 et PM2,5 est en moyenne 3 fois moins élevée dans les rames que sur les quais de Saxe-Gambetta. Les niveaux moyens en particules dans les rames de la ligne B sont plus élevés (+ de 30 %) que ceux des rames des lignes A et D.

Concernant, les métaux lourds, le polluant majoritaire est le fer que l'on retrouve en quantité plus importante (76 %) sur la ligne D.

Les niveaux de confinement mesurés dans les rames sont supérieurs aux seuils recommandés par le HCSP à 800 et par le RDS à 1000 ppm mais restent en dessous de 1500 ppm (valeur d'action rapide fixée par le HCSP).

La température moyenne relevée sur l'ensemble des lignes est de 20,9 °C et l'humidité relative (52 % en moyenne sur les 3 lignes) reste correcte.

Etude de hiérarchisation

Une 3^{ème} étude de hiérarchisation des 36 stations des lignes A, B et D du métro lyonnais a été réalisée en 2022 dans l'objectif d'établir un nouveau classement en fonction des concentrations moyennes en particules PM10 de chacune d'entre elles. Ce travail mené avec un capteur léger a montré les niveaux les plus importants sur la station « Vieux Lyon ». La station « Valmy » arrive en seconde position, suivie de « Bellecour ».

Etude « 15 jours » sur les quais

Sur la base de la hiérarchisation, le protocole prévoit de retenir 3 stations pour réaliser des mesures plus approfondies sur les quais, durant 15 jours consécutifs, à l'aide d'un appareil de référence et en réalisant des analyses complémentaires de métaux dans les particules PM10. Les stations de « Saxe-Gambetta », « Bellecour » et « Vieux Lyon » ont été sélectionnées pour cette phase.

Cette étude approfondie sur 15 jours pour les PM10 et les PM2,5 a montré :

- les niveaux les plus forts à « Vieux Lyon » (pas de mesure PM2,5) et en forte hausse (241 $\mu\text{g.m}^{-3}$ en moyenne pour les PM10) par rapport à ceux enregistrés lors de la campagne précédente . Ces observations continuent de faire l'objet d'investigations de SYTRAL Mobilités afin d'identifier l'origine de cet écart de résultats avec les deux autres stations.
- les niveaux les plus faibles et en baisse par rapport à la campagne précédente sur la station de « Saxe Gambetta » avec des concentrations moyennes à 32 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10, et 11 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM2,5.
- les niveaux en hausse à « Bellecour » avec des moyennes sur 15 jours à 95 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM10 et 49 $\mu\text{g.m}^{-3}$ pour les PM2,5.

Les données de « Saxe-Gambetta » et « Bellecour » respectent la valeur guide horaire du CSHPF pour les PM10 fixée à 395 $\mu\text{g.m}^{-3}$ mais également la valeur guide proposée par l'ANSES et fixée à 480 $\mu\text{g.m}^{-3}$. La valeur guide fixée à 140 $\mu\text{g.m}^{-3}$ est très souvent dépassée à Bellecour. Concernant les PM2,5, la valeur guide de l'ANSES fixée à 80 $\mu\text{g.m}^{-3}$ est globalement respectée sur ces deux stations.

Le site de « Vieux Lyon » quant à lui, enregistre des dépassements réguliers des différentes valeurs guides de l'ANSES et du CSHPF pour les particules PM10.

L'étude des 13 métaux dans les particules PM10, sur ces 3 stations, confirme la proportion élevée de métaux dans une enceinte ferroviaire souterraine comme le métro. Le fer y est prépondérant au regard des autres métaux avec une contribution de 59 à 90 % du total des métaux. Les 12 autres métaux étudiés sont mesurés mais en quantité moindre.

Comme pour les particules PM10, la station « Vieux Lyon » se distingue encore en concentration et en répartition des métaux, avec notamment une part plus élevée en fer.

Bilan et prospectives

L'ensemble des résultats de 2022, obtenus en suivant les recommandations du protocole national de l'INERIS, permet de dresser un nouvel état des lieux et de progresser dans l'observation de la qualité de l'air dans le métro. Les actions de SYTRAL Mobilités accompagnées de mesures par Atmo AuRA permettront au fil du temps de mieux cerner et comprendre les phénomènes qui conditionnent la qualité de l'air.

Par conséquent, la surveillance de l'air du métro lyonnais se poursuit en 2023 avec la mesure pérenne de « Saxe-Gambetta », des campagnes de mesures et des analyses de données spécifiques, de nouvelles mesures de l'air à l'intérieur des rames et de nouvelles mesures plus approfondies sur les quais avec des campagnes sur 15 jours visant les particules et les métaux.

Annexe 2 : Concentrations dans l'air à ne pas dépasser en EFS selon les recommandations de l'ANSES

Tableau 2 : Concentrations dans l'air en EFS recommandées *a minima*

Polluant	Durée cumulée de fréquentation de l'EFS sur une journée	Concentration calculée à partir de la valeur limite journalière de la directive européenne 2008/50/CE * (C _{sout_Lim}) (µg.m ⁻³)	Concentration calculée à partir de la valeur guide journalière de l'OMS * (C _{sout_OMS}) (µg.m ⁻³)
PM₁₀	2h/j	260	80
	1h30/j	330	100
	1h/j	480	140
	30min/j	940	250
PM_{2.5}	2h/j	s.o.	50
	1h30/j	s.o.	60
	1h/j	s.o.	80
	30min/j	s.o.	140

*Valeurs calculées en assimilant les particules d'EFS aux particules de l'air ambiant

s.o. : sans objet

Annexe 3 : Définitions statistiques pour la lecture des tableaux

Moyenne : somme de toutes les valeurs, divisée par le nombre total des valeurs.

Médiane : nombre qui partage la série de données en deux groupes de même quantité. Par conséquent, 50% des valeurs sont inférieures à la médiane et 50% des valeurs lui sont supérieures.

Percentile 90 (P90) : valeur au-dessous de laquelle se situent 90% des données et au-dessus de laquelle se situent 10 % des données. Cette valeur, en comparaison de la moyenne ou la médiane mais aussi du max, permet d'avoir une idée de l'importance des valeurs de pointe (possiblement atypiques par rapport à la série de données).

Percentile 10 (P10) : valeur au-dessous de laquelle se situent 10% des données et au-dessus de laquelle se situent 90 % des données. Cette valeur, en comparaison du min, permet d'avoir une idée de l'importance de valeurs très basses (possiblement atypiques par rapport à la série de données).

Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue : proportion de données valides sur la période de mesure visée initialement. Traduit le taux de fonctionnement des mesures et donc les périodes de perte de données (pannes, vérifications métrologiques, coupures de courant).

Annexe 4 : Station Saxe-Gambetta en 2022 – Données PM10/PM2,5

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 31 décembre				
Tous les jours de l'année (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)				
Méto Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	6983		6983	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	80%		80%	
Moyenne	29		70	
Médiane	18		55	
P10 - P90	6	71	13	157
Min horaire - Max horaire	0	156	0	1017

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 31 décembre				
sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures.				
Méto Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	4988		4988	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	80%		80%	
Moyenne	31		76	
Médiane	20		60	
P10 - P90	6	78	13	172
Min horaire - Max horaire	0	156	0	1017

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 31 décembre				
sur les jours week-ends et toutes les heures				
Méto Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	1995		1995	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	79%		79%	
Moyenne	22		55	
Médiane	15		42	
P10 - P90	6	51	14	118
Min horaire - Max horaire	0	127	0	297

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 31 décembre				
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)				
Méto Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	1059		1059	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	81%		81%	
Moyenne	44		115	
Médiane	27		93	
P10 - P90	12	97	42	217
Min horaire - Max horaire	2	148	4	343

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 24 juin				
Tous les jours de la période (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	2715		2714	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	65%		65%	
Moyenne	51		112	
Médiane	48		106	
P10 - P90	13	92	23	203
Min horaire - Max horaire	1	156	2	1017

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 24 juin				
sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures.				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	1987		1987	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	66%		66%	
Moyenne	55		120	
Médiane	54		117	
P10 - P90	13	97	22	217
Min horaire - Max horaire	1	156	2	1017

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 24 juin				
sur les jours week-ends et toutes les heures				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	728		728	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	61%		61%	
Moyenne	40		88	
Médiane	37		83	
P10 - P90	14	70	24	118
Min horaire - Max horaire	3	127	5	257

Année 2022				
Statistiques du 1 ^{er} janvier au 24 juin				
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	426		1059	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	68%		81%	
Moyenne	81		115	
Médiane	80		178	
P10 - P90	53	111	124	251
Min horaire - Max horaire	22	148	63	343

Année 2022				
Statistiques du 25 juin au 31 décembre 2022				
Tous les jours de la période (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	4269		4269	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	94%		94%	
Moyenne	14		44	
Médiane	13		39	
P10 - P90	5	92	11	82
Min horaire - Max horaire	0	106	0	297

Année 2022				
Statistiques du 25 juin au 31 décembre 2022				
sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures.				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	3001		3001	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	93%		93%	
Moyenne	15		47	
Médiane	14		44	
P10 - P90	5	26	11	87
Min horaire - Max horaire	0	106	0	283

Année 2022				
Statistiques du 25 juin au 31 décembre 2022				
sur les jours week-ends et toutes les heures				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	1268		1268	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	96%		96%	
Moyenne	12		36	
Médiane	11		48	
P10 - P90	5	20	24	63
Min horaire - Max horaire	0	65	0	297

Année 2022				
Statistiques du 25 juin au 31 décembre 2022				
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 (µg.m ⁻³)		PM10 (µg.m ⁻³)	
Nombre de valeurs horaires	633		633	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	94%		94%	
Moyenne	20		69	
Médiane	19		71	
P10 - P90	9	29	35	101
Min horaire - Max horaire	2	49	4	162

Annexe 5 : Plan des lignes de métro A, B et D



Annexe 6 : Mesures dans les rames – Lignes A, B et D – Données Métaux

Ligne A - Statistiques sur 3 prélèvements : les 6, 7 et 14 avril 2022

C _{filtre} en µg/m ³	PM2,5	PM10	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Ligne A															
Nombre de valeurs	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Durée cumulée des prélèvements	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36	4h36
Moyenne	Résultats invalidés		0,01	4	48	0,01	0,1	10	0,34	0,2	1	0,1	2	3	12
Min			0,01	4	43	0,01	0,1	8	0,31	0,1	0	0,1	2	2	7
Max			0,01	5	55	0,01	0,2	13	0,37	0,2	1	0,1	3	4	15

Ligne B - Statistiques sur 3 prélèvements : les 6, 13 et 14 avril 2022

C _{filtre} en µg/m ³	PM2,5	PM10	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Ligne B															
Nombre de valeurs	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Durée cumulée des prélèvements	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29	3h29
Moyenne	Résultats invalidés		0	6	56	0	0,1	10	0,40	0,2	1	0,1	3	3	17
Min			0	5	35	0	0,1	6	0,26	0,1	0	0,1	2	2	9
Max			0	9	80	0	0,2	13	0,56	0,3	1	0,1	4	5	21

Ligne D - Statistiques sur 3 prélèvements : les 5, 13 et 15 avril 2022

C _{filtre} en µg/m ³	PM2,5	PM10	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Ligne D															
Nombre de valeurs	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
Durée cumulée des prélèvements	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19	5h19
Moyenne	Résultats invalidés		0	1	89	0	0,1	3	0,24	0,1	0	0,1	2	13	13
Min			0	1	81	0	0,1	2	0,21	0,1	0	0,1	1	1	12
Max			0	2	106	0	0,1	4	0,29	0,1	0	0,1	2	37	14

Annexe 7 : Etude de hiérarchisation - Liste des stations de métro étudiées

Ligne	Station
A	Charpennes
B	Charpennes
A	Masséna
A	Foch
A	Hôtel de ville / Louis Pradel
A	Cordeliers
A	Bellecour
D	Bellecour
A	Ampère / Victor Hugo
A	Perrache
A	Laurent Bonnevey
A	Cusset
A	Flachet
A	Gratte-Ciel
A	République / Villeurbanne
B	Brotteaux
B	Part-Dieu / Vivier Merle
B	Place Guichard
B	Saxe Gambetta
D	Saxe Gambetta
B	Jean Macé
B	Place Jean Jaurès
B	Debourg
B	Stade de Gerland
D	Garibaldi
D	Sans-souci
D	Montplaisir
D	Grande Blanche
D	Laennec
D	Mermoz Pinel
D	Parilly
D	Gare de vénissieux
D	Guillotière
D	Vieux-Lyon
D	Gorge de loup
D	Valmy
D	Gare de Vaise
A	Vaulx-en-Velin – la Soie
B	Gare d'Oullins

Annexe 8 : Etude de hiérarchisation - Particules fines PM10 (moyennes 15')

Lignes/Stations de métro	Particules fines PM ₁₀ - mesures 15 min														Moyennes 3*15min		Max des 3*15min	
	20/09/2022		21/09/2022		22/09/2022		26/09/2022		27/09/2022		28/09/2022		04/10/2022		Moyennes 3*15min	Max des 3*15min		
	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir				
A - Charpennes															70	91		
B - Charpennes															62	100		
A - Masséna		51,1													59	86		
A - Foch		73,7													61	77		
A - Hôtel de ville / Louis Pradel		46,3													48	51		
A - Cordeliers		36,1		28,4											36	45		
A - Bellecour		52,5		105,6											88	106		
D - Bellecour		139,5		87,3											94	139		
A - Ampère / Victor Hugo		46,1		55,2											57	69		
A - Perrache		22,7		58,3											37	58		
A - Laurent Bonnefoy															50	83		
A - Cusset															60	113		
A - Flachat															49	51		
A - Gratte-Ciel		56,5	48,3												41	48		
A - République / Villeurbanne			33,5												43	57		
B - Brotteaux			26,7												23	27		
B - Part-Dieu / Vivier Merle			42,1												31	42		
B - Place Guichard			24,5												26	36		
B - Saxe Gambetta															41	59		
D - Saxe Gambetta				35,6											55	63		
B - Jean Macé				52,7											25	30		
B - Place Jean Jaurès				38,6											40	49		
B - Debourg				22,9											16	23		
B - Stade de Gerland				35,4											30	36		
D - Garibaldi				47,2											46	59		
D - Sans-souci		39,2		30,0											56	98		
D - Montplaisir		18,9	18,6												25	39		
D - Grange Blanche		64,9	67,0												60	67		
D - Laennec		25,9	85,2												57	85		
D - Mermoz-Pinel		64,1	72,1												60	72		
D - Parilly		37,0	20,2												29	37		
D - Gare de vénissieux		14,9	109,5												56	109		
D - Guillotière			33,7												52	81		
D - Vieux-Lyon															115	151		
D - Gorge de Loup				42,7											40	44		
D - Valmy															111	124		
D - Gare de Vaise															75	98		
A - Vaulx-en-Velin - la Soie															35	61		
B - Gare d'Oullins			19,3												57	58		

Annexe 9 : Etude de hiérarchisation – Température (moyennes 15')

Lignes/Stations de métro		Température T° - mesures 15 min - 2022												Moyennes 3*15min	Max des 3*15min		
		20/09/2022		21/09/2022		22/09/2022		26/09/2022		27/09/2022		28/09/2022				04/10/2022	
		matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir		
A - Charpennes																25	26
B - Charpennes																25	26
A - Masséna																25	29
A - Foch																25,6	29
A - Hôtel de ville / Louis Pradel																27	30
A - Cordeliers																26	28
A - Bellecour																29	30
D - Bellecour																25	26
A - Ampère / Victor Hugo																28	28
A - Perrache																26	29
A - Laurent Bonnevay																27	28
A - Cusset																27	28
A - Flachat																27	28
A - Gratte-Ciel																26	27
A - République / Villeurbanne																27	28
B - Brotteaux																24	25
B - Part-Dieu / Vivier Merle																25	26
B - Place Guichard																20	23
B - Saxe Gambetta																28	28
D - Saxe Gambetta																26	26
B - Jean Macé																24	26
B - Place Jean Jaurès																24	26
B - Debourg																24	25
B - Stade de Gerland																24	26
D - Garibaldi																27	29
D - Sans-souci																27	27
D - Montplaisir																24	28
D - Grange Blanche																25	27
D - Laennec																26	28
D - Mermoz Pinel																26	28
D - Parilly																24	27
D - Gare de vénissieux																23	27
D - Guillotière																25	27
D - Vieux-Lyon																23	28
D - Gorge de Loup																23	26
D - Valmy																26	28
D - Gare de Vaise																25	28
A - Vaulx-en-Velin – la Soie																27	28
B - Gare d'Oullins																17	24

Annexe 10 : Etude de hiérarchisation – Humidité relative (moyennes 15')

Humidité relative en % - mesures 15 min

Lignes/Stations de métro	20/09/2022		21/09/2022		22/09/2022		26/09/2022		27/09/2022		28/09/2022		04/10/2022		Moyennes 2022	Max des 3*15min
	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir	matin	soir		
	A - Charpennes			27,4	21,1	28,7										
B - Charpennes			30,1		32,4										32	34
A - Masséna	19,0		40,5								29,7				24	30
A - Foch	19,5	28,9									32,8				26	33
A - Hôtel de ville / Louis Pradel	19,2	23,9									32,8				26	33
A - Cordeliers	20,9	22,3			42,2										28	42
A - Bellecour	18,3	21,7									33,0				33	33
D - Bellecour	26,6	26,5			35,6										30	36
A - Ampère / Victor Hugo	20,3	21,4									31,7				24	32
A - Perrache	25,9	20,4									37,0				28	37
A - Laurent Bonnefoy			27,0		24,6						44,3				26	27
A - Cusset			27,3		24,2				25,9						26	27
A - Flachet			29,3		25,0				25,3						27	29
A - Gratte-Ciel		33,7			26,9				27,0						29	34
A - République / Villeurbanne	18,9	34,5							26,4						27	35
B - Brotteaux		32,9			30,9										38	51
B - Part-Dieu / Vivier Merle		28,4							29,0						30	34
B - Place Guichard		49,2							30,6						41	49
B - Saxe Gambetta					24,0				30,3						31	40
D - Saxe Gambetta					24,4										37	47
B - Jean Macé									38,2						39	45
B - Place Jean Jaurès					26,3										32	43
B - Debourg					27,8										31	36
B - Stade de Gerland					24,2										34	41
D - Garibaldi					23,6										34	45
D - Sans-souci	21,0	26,7							34,4						34	45
D - Montplaisir	21,1	28,2							31,8						27	32
D - Grande Blanche	21,2	25,6			48,0										32	48
D - Laemec	20,9	22,9							39,9						29	40
D - Mermoz Pinel	19,9	24,6							37,3						27	37
D - Parilly	21,7	27,8							36,8						27	37
D - Gare de Vénissieux	26,6	22,7							45,2						32	45
D - Guillotière		28,0			28,0				42,7						31	43
D - Vieux-Lyon															27	28
D - Gorge de Loup															40	55
D - Valmy					45,6				25,7						36	46
D - Gare de Vaise					46,3				25,4						30	39
A - Vaulx-en-Velin - la Soie					38,7				24,1						30	36
B - Gare d'Oullins					28,3				24,8						26	30
					29,7				23,6						36	46

Annexe 11 : Etude « 15 jours » - Station « Saxe-Gambetta » – Données PM10/PM2,5

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022				
Tous les jours de la période (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	360		360	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%		100%	
Moyenne	11		32	
Médiane	9		26	
P10 - P90	4	19	10	61
Min - Max	1	106	1	124

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022				
uniquement sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	240		240	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%		100%	
Moyenne	13		37	
Médiane	11		33	
P10 - P90	4	21	9	69
Min - Max	1	106	2	124

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022				
uniquement sur les jours du week-ends et toutes les heures				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	119		119	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	99%		99%	
Moyenne	8		21	
Médiane	8		20	
P10 - P90	4	12	10	37
Min - Max	1	14	1	50

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022				
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)				
Métro Saxe Gambetta Ligne B	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	40		40	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%		100%	
Moyenne	16		57	
Médiane	16		55	
P10 - P90	9	23	37	37
Min - Max	8	28	21	84

Annexe 12 : Etude « 15 jours » - Station « Bellecour » – Données PM10/PM2,5

Statistiques du 23 février au 10 mars 2023				
Tous les jours de la période (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)				
Métro Bellecour Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	306		306	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	85%		85%	
Moyenne	49		95	
Médiane	47		93	
P10 - P90	17	85	29	167
Min - Max	3	231	5	356

Statistiques du 23 février au 10 mars 2023				
uniquement sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures				
Métro Bellecour Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	231		231	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	88%		88%	
Moyenne	53		102	
Médiane	52		102	
P10 - P90	16	89	25	173
Min - Max	3	231	5	356

Statistiques du 23 février au 10 mars 2023				
uniquement sur les jours du week-ends et toutes les heures				
Métro Bellecour Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	73		73	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	77%		77%	
Moyenne	38		73	
Médiane	35		69	
P10 - P90	22	55	40	107
Min - Max	10	93	15	192

Statistiques du 23 février au 10 mars 2023				
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)				
Métro Bellecour Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)	
Nombre de valeurs horaire	40		40	
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	91%		91%	
Moyenne	65		131	
Médiane	62		131	
P10 - P90	33	95	65	65
Min - Max	26	102	45	216

Annexe 13 : Etude « 15 jours » - Station « Vieux Lyon » – Données PM10

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023			
Tous les jours de la période (semaine + WE) et toutes les heures de l'année (0 à 24h)			
Métro Vieux Lyon Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Nombre de valeurs horaire	/		283
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	/		99%
Moyenne	/		241
Médiane	/		150
P10 - P90	/	/	19 616
Min - Max	/	/	0 1069

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023			
uniquement sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures			
Métro Vieux Lyon Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Nombre de valeurs horaire	/		0
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	/		0%
Moyenne	/		310
Médiane	/		222
P10 - P90	/	/	20 726
Min - Max	/	/	0 1069

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023			
uniquement sur les jours du week-ends et toutes les heures			
Métro Vieux Lyon Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Nombre de valeurs horaire	/		96
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	/		100%
Moyenne	/		132
Médiane	/		70
P10 - P90	/	/	25 392
Min - Max	/	/	1 662

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023			
uniquement sur les jours de semaine (hors WE) et en heures de pointe (7h à 9h inclus et 17h à 19h inclus)			
Métro Vieux Lyon Ligne D	PM2,5 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)		PM10 ($\mu\text{g.m}^{-3}$)
Nombre de valeurs horaire	/		29
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	/		97%
Moyenne	/		514
Médiane	/		570
P10 - P90	/	/	155 155
Min - Max	/	/	135 1012

Annexe 14 : Etude « 15 jours » - Station « Saxe-Gambetta » – Données Métaux

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022 réalisées sur la totalité de la campagne													
Ligne B	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Saxe Gambetta	(ng/m ³)												
Nombre de valeurs journalières	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	4,7	187	5984	0,5	15,7	2001	61,34	15,7	41	7,8	294	486	1156
Médiane	4,7	189	6212	0,5	15,7	2137	65,83	16,1	39	7,4	298	301	1118
P10	2,6	88	3413	0,5	8,9	1093	33,74	8,7	20	2,6	140	145	724
P90	6,2	273	7847	0,5	23,8	2370	79,98	22,7	55	13,4	430	414	1720
Min	1,6	68	2515	0,5	8,2	769	23,71	6,7	15	2,6	112	125	639
Max	10,0	371	9562	0,5	27,3	4100	110,17	24,3	73	15,4	516	3324	1869

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022 réalisées uniquement sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures (0 à 24h)													
Ligne B	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Saxe Gambetta	(ng/m ³)												
Nombre de valeurs journalières	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	5,6	229	6980	0,5	18,4	2357	72	18,5	49	9,7	357	635	1345
Médiane	4,9	216	6717	0,5	16,1	2211	68	17,6	49	7,9	317	334	1258
P10	4,6	167	5880	0,5	15,4	1939	61	15,5	38	6,9	281	295	1013
P90	6,7	291	8125	0,5	25,7	2543	85	24,0	58	14,0	441	731	1787
Min	4,5	152	5666	0,5	12,7	1800	54	14,6	36	6,7	251	288	806
Max	10,0	371	9562	0,5	27,3	4100	110	24,3	73	15,4	516	3324	1869

Statistiques du 19 novembre au 3 décembre 2022 réalisées uniquement sur les jours du WE et toutes les heures (0 à 24h)													
Ligne B	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Saxe Gambetta	(ng/m ³)												
Nombre de valeurs journalières	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5	5
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	3,0	105	3992	0,5	10,2	1289	39,20	9,9	24	4,1	167	188	777
Médiane	3,2	110	4603	0,5	9,0	1409	41,04	10,0	26	2,6	174	175	725
P10	1,8	70	2556	0,5	8,4	814	25,78	7,1	15	2,6	114	125	673
P90	4,1	140	5197	0,5	12,5	1710	52,27	12,5	32	6,3	218	265	912
Min	1,6	68	2515	0,5	8,2	769	23,71	6,7	15	2,6	112	125	639
Max	4,5	150	5541	0,5	13,0	1776	56,58	12,6	33	6,3	230	293	966

Annexe 15 : Etude « 15 jours » - Station « Bellecour » – Données Métaux

Statistiques du 23 février 2023 au 8 mars 2023 réalisées sur la totalité de la campagne													
Ligne A Bellecour	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cd (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mn (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zn (ng/m ³)	Al (ng/m ³)	Ca (ng/m ³)
Nombre de valeurs journalières	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14	14
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	2,4	1241	28313	0,5	34,0	1328	128,69	29,1	73	6,7	779	825	3512
Médiane	2,5	1247	29626	0,5	33,9	1463	134,00	31,9	82	2,6	815	897	3319
P10	1,3	832	17202	0,5	23,4	685	79,95	17,7	37	2,6	477	171	1966
P90	3,3	1699	38938	0,5	45,3	1806	173,62	38,6	102	6,3	1025	1535	4426
Min	1,1	306	7661	0,5	11,0	505	38,83	11,2	29	2,6	240	159	1727
Max	3,3	1780	39845	0,5	46,5	2069	174,46	39,4	106	47,0	1075	1626	9165

Statistiques du 23 février 2023 au 8 mars 2023 réalisées uniquement sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures (0 à 24h)													
Ligne A Bellecour	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cd (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mn (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zn (ng/m ³)	Al (ng/m ³)	Ca (ng/m ³)
Nombre de valeurs journalières	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	2,6	1356	31646	0,5	37,8	1503	142,38	32,5	82	8,1	857	775	3702
Médiane	2,7	1289	34071	0,5	39,5	1614	141,96	33,7	86	2,6	898	805	3107
P10	1,8	1137	20111	0,5	31,2	844	107,35	23,5	50	2,6	621	167	2142
P90	3,3	1750	39203	0,5	45,6	1839	174,31	38,9	102	10,4	1031	1433	5076
Min	1,2	720	16648	0,5	22,5	757	74,54	17,6	40	2,6	440	159	1727
Max	3,3	1780	39845	0,5	46,5	2069	174,46	39,4	106	47,0	1075	1586	9165

Statistiques du 23 février 2023 au 8 mars 2023 réalisées uniquement sur les jours du WE et toutes les heures (0 à 24h)													
Ligne A Bellecour	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cd (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mn (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zn (ng/m ³)	Al (ng/m ³)	Ca (ng/m ³)
Nombre de valeurs journalières	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	2,0	953	19981	0,5	24,6	890	94,47	20,8	49	3,3	586	951	3038
Médiane	1,8	1100	22656	0,5	26,9	808	107,38	21,8	47	2,6	658	1001	3407
P10	1,2	541	10911	0,5	15,4	550	54,96	13,2	31	2,6	337	393	2324
P90	2,9	1247	26911	0,5	32,0	1296	123,65	27,5	70	4,6	777	1469	3456
Min	1,1	306	7661	0,5	11,0	505	38,83	11,2	29	2,6	240	177	1871
Max	3,3	1307	26950	0,5	33,6	1439	124,29	28,3	75	5,5	787	1626	3466

Annexe 16 : Etude « 15 jours » - Station « Vieux Lyon » – Données Métaux

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023 réalisées sur la totalité de la campagne													
Ligne D	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Vieux Lyon	(ng/m ³)												
Nombre de valeurs journalières	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	5,0	1776	125127	0,5	56,5	5964	342,41	96,6	328	14,9	2177	333	4189
Médiane	5,7	2074	136048	0,5	64,5	6279	401,83	104,3	332	16,7	2360	201	4713
P10	1,9	537	39840	0,5	22,8	2049	118,63	36,2	107	2,6	654	71	1661
P90	6,7	2478	180994	0,5	77,1	9334	484,38	143,6	526	19,3	3403	449	5674
Min	1,2	365	26758	0,5	14,8	1449	76,92	25,2	81	2,6	466	60	1377
Max	7,1	2660	184029	0,5	80,3	10188	509,92	148,1	538	25,8	3519	1431	5797

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023 réalisées uniquement sur les jours de la semaine (hors WE) et toutes les heures (de 0 à 24h)													
Ligne D	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Vieux Lyon	(ng/m ³)												
Nombre de valeurs journalières	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7	7
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	6,2	2251	159160	0,5	70,5	7720	434,82	121,9	422	19,0	2810	440	5144
Médiane	6,2	2281	158225	0,5	68,8	6708	435,08	116,5	361	18,5	2466	289	5243
P10	5,6	1973	133861	0,5	63,6	6204	385,80	102,9	332	16,5	2275	163	4570
P90	6,9	2551	182208	0,5	78,4	9676	494,59	145,4	531	21,9	3449	842	5723
Min	5,4	1822	130582	0,5	62,1	6092	361,75	100,8	332	16,1	2148	140	4357
Max	7,1	2660	184029	0,5	80,3	10188	509,92	148,1	538	25,8	3519	1431	5797

Statistiques du 29 mars au 9 avril 2023 réalisées uniquement sur les jours du WE et toutes les heures (de 0 à 24h)													
Ligne D	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	Al	Ca
Vieux Lyon	(ng/m ³)												
Nombre de valeurs journalières	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Taux de couverture de la période d'échantillonnage prévue	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	2,8	945	65569	0,5	32,1	2892	180,70	52,3	164	7,8	1068	145	2519
Médiane	2,6	896	62060	0,5	30,3	2527	172,60	47,4	139	6,4	995	123	2402
P10	1,4	417	30682	0,5	17,2	1629	89,43	28,5	89	2,6	522	63	1462
P90	4,3	1513	103264	0,5	48,3	4446	278,44	79,9	258	14,1	1672	246	3670
Min	1,2	365	26758	0,5	14,8	1449	76,92	25,2	81	2,6	466	60	1377
Max	4,7	1623	111401	0,5	52,8	5063	300,67	89,0	296	15,8	1816	275	3897

Annexe 17 : Etude « 15 jours » - Situation des niveaux par rapport aux valeurs guides proposées par l'ANSES (Csout_OMS et Csout_Lim) et celle du CSHPF

Csout Lim : concentration en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ calculée à partir de la valeur limite journalière de la directive européenne 2008/50/CE.

Csout OMS : concentration en $\mu\text{g}\cdot\text{m}^{-3}$ calculée à partir de la valeur guide journalière de l'OMS.

