

RAPPORT D'ETUDE

Qualité de l'air dans le métro lillois

Surveillance sur les quais et dans les rames

Etude menée en 2021



Auteurs : Peggy DESMETTRES et Shouwen ZHANG

Relecteurs : Benoit ROCQ et Arabelle PATRON-ANQUEZ

Diffusion : février 2022



Avant-propos

Atmo Hauts-de-France est une association de type « loi 1901 » agréée par le Ministère de la Transition Ecologique et Solidaire (décret 2007-397 du 22 mai 2007) 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. Atmo Hauts-de-France est agréée du 1^{er} janvier 2019 au 31 décembre 2022, au titre de l'article L.221-3 du Code de l'environnement.

Conditions de diffusion

Atmo Hauts-de-France 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 www.atmo-hdf.fr.

Responsabilités

Les données contenues dans ce document restent la propriété intellectuelle d'Atmo Hauts-de-France. Ces données ne sont pas rediffusées en cas de modification ultérieure. Les résultats sont analysés selon les objectifs de l'étude, le contexte et le cadre réglementaire des différentes phases de mesures, les financements attribués à l'étude et les connaissances métrologiques disponibles.

Avertissement

Atmo Hauts-de-France n'est en aucune façon responsable des interprétations et travaux intellectuels, publications diverses ou de toute œuvre utilisant ses mesures et ses rapports d'études pour lesquels aucun accord préalable n'aurait été donné.

Toute utilisation partielle ou totale de ce document (extrait de texte, graphiques, tableaux, ...) doit faire référence à l'observatoire dans les termes suivants : © **Atmo Hauts-de-France – Rapport N°01/2021/PDES/V0.**

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

- depuis le formulaire de contact disponible à l'adresse <http://www.atmo-hdf.fr/contact.html>
- par mail : contact@atmo-hdf.fr
- par téléphone : 03 59 08 37 30

Réclamations

Les réclamations sur la non-conformité de l'étude doivent être formulées par écrit dans les huit jours de la livraison des résultats. Il appartient au partenaire de fournir toute justification quant à la réalité des vices ou anomalies constatées. Il devra laisser à Atmo Hauts-de-France toute facilité pour procéder à la constatation de ces vices pour y apporter éventuellement remède. En cas de litige, un accord amiable sera privilégié. Dans le cas où une solution n'est pas trouvée la résolution s'effectuera sous l'arbitrage des autorités compétentes.

	Nom	Qualité	Visa
Approbation	Benoit Rocq	Directeur adjoint	

Version du document : V3 basé sur trame vierge : EN-ETU-20

Date d'application : 01/01/2021

Sommaire

1. Synthèse de l'étude	7
2. Enjeux et objectifs de l'étude	8
3. Matériels et méthodes	10
3.1. Matériel utilisé	10
3.2. Localisation	11
3.3. Méthode utilisée	13
4. Contexte environnemental	15
4.1. Description de l'EFS	15
4.2. Emissions connues liées au métro	16
4.3. Episodes de pollution	17
5. Résultats de l'étude	18
5.1. PM10	18
5.2. PM2.5	25
5.3. Métaux	30
5.4. Granulométrie des particules ultrafines au quai Gare Lille Flandres	40
5.5. Black Carbon sur le Quai Gare Lille Flandres	46
5.6. Niveau de confinement : dioxyde de carbone (CO ₂)	51
5.7. Paramètres de confort : Température (T°) et Humidité Relative (HR)	54
6. Conclusion et perspectives	58

Annexes

Annexe 1 : Glossaire	61
Annexe 2 : Modes de surveillance de la qualité de l'air	62
Les stations de mesures	62
Critères d'implantation des stations fixes	62
Techniques de mesures	63
Annexe 3 : Tableaux de données des particules en suspension PM10, selon le guide INERIS	65
Annexe 4 : Tableaux de données pour les mesures de particules PM10 et PM2.5 dans les rames	69
Annexe 5 : Tableaux de données des particules fines PM2.5, selon le guide INERIS	70
Annexe 6 : Etude sur les quais « Gare Lille Flandres » - Prélèvements sur filtres	74

Annexe 7 : Etude sur les quais « Porte des Postes » - Prélèvements sur filtres.....	75
Annexe 8 : Etude sur les quais « Mairie d’Hellemmes » - Prélèvements sur filtres ..	76
Annexe 9 : Caractéristiques du matériel roulant.....	77
Annexe 10 : Tableaux de données de confinement (CO₂), selon le guide INERIS.....	78
Annexe 11 : Tableaux de données de paramètres de confort (T° et HR), selon le guide INERIS	80

Illustrations

Figure 1 : Carte des stations des Ligne 1 (jaune) et Ligne 2 (rouge).....	15
Figure 2 : Profils moyens horaires (semaine et week-end) des concentrations en PM10 pour les 3 quais investigués	19
Figure 3 : Profils moyens horaires (semaine et week-end) des concentrations en PM2.5 pour les 3 quais investigués	26
Figure 4 : Comparaison des métaux en semaine et en week-end pour les 3 stations.....	31
Figure 5 : Contribution relative de chaque métal dans l’ensemble des métaux sur les quais	32
Figure 6 : Contribution relative de chaque métal dans l’ensemble des métaux dans les rames de métro	36
Figure 7 : Répartition granulométrique des particules ultrafines – Gare Lille Flandres (métro) et Lille Leeds (extérieur).....	41
Figure 8 : Evolution des moyennes journalières des particules ultrafines durant la campagne de mesures	42
Figure 9 : Evolution journalière des particules ultrafines à la station Gare Lille Flandres	43
Figure 10 : Evolution journalière des particules ultrafines à la station Gare Lille Flandres (jours de travaux, échelles différentes).....	44
Figure 11 : Evolution journalière des particules ultrafines à la station Gare Lille Flandres (concentration importante hors travaux)	45
Figure 12 : Evolutions journalières des particules ultrafines au quai Gare Lille Flandres (sans les travaux) et à la station fixe extérieur – Lille Leeds	46
Figure 13 : Profils moyens journaliers en semaine des concentrations en BC et en PM2.5 de la station Gare Lille Flandres	48
Figure 14 : Profils moyens journaliers en week-end des concentrations en BC et en PM2.5 de la station Gare Lille Flandres	48
Figure 15 : Profils moyens journaliers en semaine des concentrations en BC de la station Gare Lille Flandres et des stations fixes – Lille Fives & Lille Leeds.....	49
Figure 16 : Profils moyens journaliers en week-end des concentrations en BC de la station Gare Lille Flandres et des stations fixes – Lille Fives & Lille Leeds.....	50
Figure 17 : Profils moyens hebdomadaires des concentrations en BC et PM2.5 de la station Gare Lille	

Tableaux

Tableau 1 : Concentrations moyennes et maximums horaires des PM₁₀ aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes18

Tableau 2 : Concentrations moyennes des PM10 entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS.....20

Tableau 3 : Valeurs de référence du CSHPF calculées au regard de l’année 202021

Tableau 4 : Concentrations moyennes, min et max horaires des PM₁₀ dans les rames et lignes du métro lillois23

Tableau 5 : Concentrations moyennes des PM10 sur les lignes 1 et 2 du métro lillois et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS23

Tableau 6 : Comparaison des concentrations des PM10 entre les quais et les rames.....24

Tableau 7 : Concentrations moyennes et maximums horaires des PM2.5 aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes.....25

Tableau 8 : Concentrations moyennes des PM2.5 entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS.....27

Tableau 9 : Concentrations moyennes, min et max horaires des PM2.5 dans les rames et lignes du métro lillois28

Tableau 10 : Concentrations moyennes des PM2.5 sur les lignes 1 et 2 du métro lillois et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS29

Tableau 11 : Comparaison des concentrations des PM2.5 entre les quais et les rames29

Tableau 12 : Concentrations en moyenne journalière des PM₁₀ et des métaux aux stations Gare Lille Flandres, Mairie d’Hellemmes et Porte des Postes.....30

Tableau 13 : Métaux et sources potentielles proposées par le rapport d’étude de l’INERIS 32

Tableau 14 : Proportions de chaque métal dans l’ensemble des métaux sur les quais33

Tableau 15 : Concentrations moyennes des métaux entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs de l’INERIS.....34

Tableau 16 : Heures et dates des campagnes de mesures dans les rames.....35

Tableau 17 : Concentrations des métaux dans les rames de la ligne 1 et la ligne 235

Tableau 18 : Concentrations moyennes des particules et des métaux dans les rames de la ligne 1 et la ligne 2 (C_{filtre}, C_{EFS})36

Tableau 19 : Proportions de chaque métal dans l’ensemble dans les rames de métro36

Tableau 20 : Concentrations moyennes des métaux dans les rames pour les lignes 1 et 2 (C_{EFS}) du métro lillois et sur Marseille37

Tableau 21 : Comparaison des concentrations des métaux entre les quais et les rames.....	38
Tableau 22 : Coefficients de détermination des métaux sur les quais.....	39
Tableau 23 : Coefficients de corrélations des métaux dans les rames.....	39
Tableau 24 : Statistiques des particules ultrafines en moyenne horaire (Gare Lille Flandres et Lille Leeds).....	41
Tableau 25 : Concentrations en BC de la station Gare Lille Flandres, Lille Fives (air extérieur) et Lille Leeds (air extérieur).....	47
Tableau 26 : Concentrations moyennes et maximums horaires de CO ₂ aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes.....	51
Tableau 27 : Concentrations moyennes de CO ₂ entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS.....	52
Tableau 28 : Concentrations moyennes, min et max horaires de CO ₂ dans les rames et lignes du métro lillois.....	53
Tableau 29 : Concentrations moyennes de CO ₂ sur les lignes 1 et 2 du métro lillois et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS.....	53
Tableau 30 : Comparaison des concentrations des CO ₂ entre les quais et les rames.....	54
Tableau 31 : Concentrations moyennes et maximums horaires de T° et HR aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes.....	55
Tableau 32 : Concentrations moyennes de T° et HR entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l’INERIS.....	55
Tableau 33 : Concentrations moyennes horaires de T° et HR dans les rames et lignes du métro lillois.....	56
Tableau 34 : Comparaison des concentrations de T° et HR entre les quais et les rames.....	57

1. Synthèse de l'étude

Objectif des mesures : Surveillance de la qualité de l'air intérieur sur les quais et dans les rames du métro lillois.

Lieu des mesures : 3 quais : Gare Lille Flandres (GLF), Porte des Postes (PDP), Mairie d'Hellemmes (HEL) et rames de la ligne 1 (modèle VAL208) et de la ligne 2 (modèles VAL206 et VAL208).

Atmo Hauts-de-France a proposé à la Métropole Européenne de Lille (MEL) d'assurer la surveillance de la qualité de l'air du métro, avec son soutien et celui de l'exploitant du réseau de transport ilévia de la MEL.

Pour mener à bien cette 4^{ème} campagne de mesures, Atmo s'est appuyée sur le guide de recommandations de l'INERIS dans les Enceintes Ferroviaires Souterraines (EFS) publié en 2020.

L'exposition des usagers a été évaluée pour la première fois dans les habitacles des rames.



Dates des mesures pour les 3 quais en 2021 (périodes de 15 jours) : GLF du 12 au 28 janvier, PDP du 1^{er} au 16 février et HEL du 8 au 23 mars.

Dates des mesures dans les rames (séquences de 1h30 à 2h) : du 25 janvier au 12 février 2021.

Polluants mesurés :

Polluants mesurés	Quais	Rames
Particules PM10	X	X
Particules PM2.5	X	X
Métaux (11*)	X	X
Taux de confinement (CO ₂)	X	X
Paramètres de confort :		
température (T°) et humidité relative (HR)	X	X
Particules ultrafines (PUF)	X(GLF)	-
Black Carbon (BC)	X (GLF)	-

Il n'existe pas de valeurs réglementaires dans les EFS pour ces polluants. Seules les valeurs de référence (ou valeurs guides) du Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) ont été mises en perspective pour les résultats en particules PM10.

Pour les autres polluants, les résultats ont été comparés aux concentrations retrouvées dans les autres EFS françaises.

Pour le quai GLF, une comparaison a également été faite à la précédente campagne menée en 2010.

Résultats : ce qu'il faut retenir !

Le métro lillois présente des concentrations :

- plus élevées sur les quais que dans les rames pour les particules PM10 et PM2.5,
- plus élevées dans les rames que sur les quais pour les métaux et le confinement (CO₂).

Sur les quais, les concentrations en particules PM10 et PM2.5 sont les plus importantes à HEL, puis GLF, puis PDP. Les valeurs guides sur 1 heure (533 µg/m³) et sur 15 minutes (2 045 µg/m³) du CSHPF sont respectées pour les 3 stations du métro lillois.

Les métaux prépondérants retrouvés sont le fer, le cuivre et le baryum comme pour les autres EFS.

Le métro lillois présente des résultats inférieurs ou similaires aux autres EFS françaises, hormis sur HEL pour le cuivre (+3% par rapport à la valeur maximale des autres EFS).

Globalement, les concentrations sur la ligne 1 sont plus importantes que sur la ligne 2, que ce soit pour les quais ou les rames (sans différence entre les 2 types de matériels roulants).

Dans les rames, les niveaux de PM10 et PM2.5 sont inférieurs à ceux de Marseille. Pour les 3 principaux métaux (fer, cuivre, baryum), ils sont supérieurs.

Sur le quai GLF, les concentrations entre 2010 et 2021 ont diminué, hormis pour le zinc. Les PUF sont 20% plus élevées en extérieur (trafic) et 4 fois plus à GLF pour le BC.

* Arsenic (As), Baryum (Ba), Cadmium (Cd), Chrome (Cr), Cuivre (Cu), Fer (Fe), Manganèse (Mn), Nickel (Ni), Plomb (Pb), Antimoine (Sb), Zinc (Zn)

2. Enjeux et objectifs de l'étude

Atmo Hauts-de-France a proposé à la Métropole Européenne de Lille (MEL) d'assurer la surveillance de la qualité de l'air du métro. L'exploitant du réseau de transport ilévia a apporté son appui à l'installation des moyens de mesures au sein de l'enceinte ferroviaire souterraine, ainsi que les informations nécessaires à l'exploitation des données (paramètres d'exploitation et de fréquentation, tels que : fréquentation des voyageurs sur les quais ou la station ou à bord des rames, les conditions de circulation et les matériels roulants, la fréquence ou les intervalles de passages des rames, ...).

Pour mener à bien cette campagne de mesures, Atmo Hauts-de-France a proposé d'évaluer la qualité de l'air dans la partie souterraine du métro lillois, en s'appuyant sur le « Guide de recommandations¹ pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines ». Ce guide fournit des recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines (EFS). Son objectif est de permettre d'acquérir des données sur les niveaux de pollution pouvant être observés dans les EFS, selon une approche commune faisant l'objet d'un consensus au sein d'un groupe de travail présidé par le ministère de la Transition Ecologique et Solidaire et rassemblant plusieurs opérateurs ferroviaires, autorités organisatrices, ministères ainsi que l'INERIS. Il correspond à un socle minimal permettant d'acquérir des données de mesures selon une approche commune, afin de :

- Consolider la caractérisation de la qualité de l'air déjà en place dans les différents EFS, en précisant notamment les polluants à suivre, les stratégies de mesures associées et des formats de restitution des données ;
- Suivre les évolutions des niveaux de concentrations à l'aide de campagnes ponctuelles périodiques et associées à des conditions d'exploitation données ;
- Construire et partager un retour d'expérience à l'échelle nationale à partir de données de mesures collectées selon une même méthodologie.

Cette trame d'investigation nationale permettra ainsi de comparer les données du métro lillois à d'autres métros français (moyens de mesures référencés, périodes et durées des mesures, polluants d'intérêt dans les EFS, etc.). Elle vise à caractériser les niveaux des concentrations de certains polluants auxquels les voyageurs sont exposés. Le temps passé par un voyageur dans les EFS est souvent court (temps de trajet généralement de 30min à 2h et temps d'attente sur les quais de quelques minutes). Il est donc nécessaire de pouvoir mesurer des concentrations en particules y compris les métaux sur un pas de temps réduit.

Conformément au guide, une étude préalable, menée en 2020 sur les 50 stations souterraines du métro lillois, a permis de hiérarchiser les stations (à partir d'une cartographie exhaustive, selon leur concentration en particules en suspension inférieures à 10 µm ou PM10 mesurée sur l'ensemble des quais en souterrain) et de sélectionner les **3 stations qui ont fait l'objet de mesures fixes sur les quais en 2021**. Suite à la réalisation de cette cartographie des stations souterraines, les deux quais présentant les concentrations les plus importantes en PM10 ont été sélectionnés sur des stations différentes (si le réseau le permet ils seront choisis sur des lignes différentes). Le quai le plus fréquenté (qui sera différent des deux précédents) est aussi sélectionné. **Gare Lille Flandres (GLF)** et **Mairie d'Hellemmes (HEL)** se trouvent être les stations dans lesquelles on mesure les plus fortes concentrations en particules en suspension PM10. GLF se trouve également être la plus fréquentée, puisque c'est la station par laquelle transitent 22% de voyageurs chaque année. Or, GLF est déjà identifiée comme étant une station devant faire l'objet de mesures compte tenu de son niveau de concentration en PM10, **Porte des Postes (PDP)**, devient alors la 3ème station à instrumenter, puisqu'elle concentre 8% du poids du trafic annuel. A noter que pour un réseau de la taille du métro lillois, cette classification sera mise à jour annuellement les trois premières années (2020, 2021 et 2022). Si ce classement

¹ Rapport d'étude N° INERIS – DRC-19-152419-04847A paru le 26 novembre 2020 : <https://www.ineris.fr/fr/recommandations-realisation-mesures-harmonisees-qualite-air-enceintes-ferroviaires-souterraines>

est inchangé, il pourra être actualisé tous les 3 ans, ou avant s'il existe des modifications qui pourraient avoir un impact significatif sur les niveaux de concentrations.

Une campagne de mesures de 15 jours sur chacun des 3 quais a ainsi été menée entre le 12 janvier et le 23 mars 2021 (en dehors des périodes de vacances scolaires). Des mesures de particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10), de particules en suspension inférieures à 2.5 µm (PM2.5) et de métaux présents dans les particules PM10 ont ainsi été réalisées à l'aide d'analyseurs fixes installés dans une enceinte grillagée. Elles ont été accompagnées de mesures de dioxyde de carbone (CO₂ en tant qu'indicateur de confinement en lien avec le renouvellement d'air), de température (T°) et d'humidité relative (HR), pour identifier des situations atypiques en termes de confort des voyageurs, et pour aider à l'exploitation et l'interprétation des résultats.

En dehors du protocole, Atmo Hauts-de-France a également mesuré les particules ultrafines (PUF²) et le Black Carbon (BC³) sur GLF.

En parallèle des mesures sur les quais, Atmo Hauts-de-France a mis en œuvre **pour la 1^{ère} fois** la stratégie de mesure proposée dans les **habitacles des rames**, entre le 25 janvier et le 12 février 2021. Une campagne de 18 séquences de prélèvements dans les rames a ainsi été menée **sur les 2 lignes du réseau du métro lillois**, sur des séquences de mesures entre 1 heure et 2 heures. Des mesures de particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10), de particules en suspension inférieures à 2.5 µm (PM2.5) et de métaux ont été réalisées, à l'aide d'analyseurs portatifs.



Cette méthodologie ne répond pas à un objectif de surveillance de la qualité de l'air en continu, ni à la recherche des sources de pollution.

Les données seront comparées aux résultats obtenus lors des précédentes campagnes, ainsi qu'aux résultats des autres métros français pour lesquels les campagnes de mesures se sont également appuyées sur le guide de recommandations de l'INERIS.

Dans le présent rapport, le terme « quai » englobe indistinctement les deux quais associés aux deux directions de la ligne desservant une station.

L'ensemble de ces mesures est réalisé sur le territoire de la MEL avec l'autorisation de la MEL et de l'exploitant du réseau de transport ilévia, selon les termes de la convention 2020 définissant l'accord passé entre la MEL et Atmo Hauts-de-France et la convention n°11/09/2020/PDE définissant l'accord passé entre l'exploitant du réseau de transport ilévia et Atmo Hauts-de-France.

² Les PUF sont définies comme l'ensemble des particules ayant un diamètre égal ou inférieur à 100 nanomètres (nm) ou 0,1 micromètre (µm).

³ Les mesures de Black Carbon permettent d'estimer la part du trafic automobile (carburant fossile) ou de combustion de biomasse (ex. : chauffage au bois) dans les concentrations de particules.

3. Matériels et méthodes

3.1. Matériel utilisé

3.1.1. Mesures sur les quais

Pour la mesure sur les quais souterrains, des mesures de particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10), particules en suspension inférieures à 2.5 µm (PM2.5) et de métaux ont été effectuées. Les métaux mesurés dans la fraction PM10 sont les suivants : As, Ba, Fe, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn.

Des mesures des particules ultrafines (PUF) et du Black Carbon (BC), non inscrites dans la liste des polluants prioritaires, sont venues compléter cette surveillance de la qualité de l'air dans le métro lillois.

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

Les techniques de mesures exploitées pour chaque polluant surveillé pendant la campagne ainsi que les références des analyseurs automatiques sont les suivantes :

Paramètres mesurés	Méthode de mesure	Norme de référence	Technique	Résolution temporelle
Particules en suspension PM ₁₀	Microbalance oscillante	NF EN 16450 (Avril 2017)	Analyseur automatique TEOM	15 min
Particules en suspension PM _{2.5}	Microbalance oscillante	NF EN 16450 (Avril 2017)	Analyseur automatique TEOM	15 min
Métaux dans la fraction PM10	Prélèvement sur filtre avec analyse différée	Méthode de prélèvement équivalente à la NF EN 12341	Prélèvement sur filtre haut volume DA80	1 jour
Confinement (CO ₂)	Analyseur infra-rouge	N.C	Analyseur automatique Q-Trak	1 min
Paramètres de confort (T° et HR)	-	N.C	Analyseur automatique Q-Trak	1 min
Mesures complémentaires (uniquement sur GLF)				
Particules ultrafines (PUF)	Granulométrie	N.C	Analyseur automatique UFP3031	15 min
Black Carbon (BC)	Absorption optique	N.C	Analyseur automatique AE33	15 min

3.1.2. Mesures dans les rames

Pour la mesure dans les rames, des mesures de particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10), particules en suspension inférieures à 2.5 µm (PM2.5) et de métaux ont été effectuées. Les métaux mesurés dans la fraction PM10 sont les suivants : As, Ba, Fe, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn.

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

Les techniques de mesures exploitées pour chaque polluant surveillé pendant la campagne ainsi que les références des analyseurs automatiques sont les suivantes :

Paramètres mesurés	Méthode de mesure	Norme de référence	Technique	Résolution temporelle
Particules en suspension PM ₁₀	Optique	NF EN 16450 (Avril 2017)	Analyseur automatique Grimm	15 min
Particules en suspension PM _{2,5}	Optique	NF EN 16450 (Avril 2017)	Analyseur automatique Grimm	15 min
Métaux dans la fraction PM10	Prélèvement sur filtre avec analyse différée	N.C	Prélèvement sur filtre	1h30 à 2h
Confinement (CO ₂)	Analyseur infra-rouge	N.C	Analyseur automatique Q-Trak	1 min
Paramètres de confort (T° et HR)	-	N.C	Analyseur automatique Q-Trak	1 min

La description des différents moyens de mesure dont dispose Atmo Hauts-de-France est décrite en détails en *Annexe 2*.

3.2. Localisation

3.2.1. Mesures sur les quais

Les mesures ont été réalisées en dehors des vacances scolaires, hors week-ends et jours fériés, entre le 12 janvier et le 23 mars 2021, sur une période de 15 jours consécutifs pour chacune des 3 stations souterraines investiguées :

Quai souterrain	Période de mesures	Photo de l'installation
<p align="center">GLF (Gare Lille Flandres)</p>	<p align="center">12 au 28/01/2021</p>	
<p align="center">PDP (Porte des Postes)</p>	<p align="center">1^{er} au 16/02/2021</p>	
<p align="center">HEL (Mairie d'Hellemmes)</p>	<p align="center">8 au 23/03/2021</p>	

3.2.2. Mesures dans les rames

Les mesures ont été réalisées en période de pointe, en dehors des vacances scolaires, hors week-ends et jours fériés, avec une mesure sur 1 à 2 heures au minimum, lors d'aller/retour du début jusqu'à la fin de la ligne, sur 3 journées différentes, consécutives ou non.

Il a été retenu, avec la MEL et l'exploitant du réseau de transport ilévia, d'insérer une plage supplémentaire « avant couvre-feu », de 16h à 18h, à compter du 04/02/2021. Atmo HDF a ainsi réalisé 9 séquences de prélèvement sur chaque ligne (au lieu de 6 prélèvements par type de matériel et par ligne). Les 9 prélèvements ont été répartis de la façon suivante, pour chaque ligne : 4 le matin et 5 le soir (2 sur la plage 16h-18h et 3 sur la plage 17h-19h demandée par le guide), soit 18 mesures au total :

Ligne	Type de rame	Période de mesures	Photo de l'installation
Ligne 1 (Ligne jaune)	VAL 208	Plage 7h-9h (4)	
		Plage 16h-18h (2)	
		Plage 17h-19h (3)	
Ligne 2 (Ligne rouge)	VAL 206⁴	Plage 7h-9h (3)	
		Plage 16h-18h (1)	
		Plage 17h-19h (2)	
	VAL 208	Plage 7h-9h (1)	
		Plage 16h-18h (1)	
		Plage 17h-19h (1)	

Au regard de la taille du métro lillois (60 stations dont 50 souterraines), l'ensemble des lignes disposant de quais souterrains a pu être couvert sur l'année 2021 (ces mesures pouvant être menées sur 3 années, selon le guide INERIS).

3.3. Méthode utilisée

3.3.1. Mesures sur les quais

Pour cette partie de l'étude, les mesures ont été effectuées au milieu du quai. L'emplacement du dispositif de mesures a été défini et validé par la MEL, l'exploitant du réseau de transport ilévia et Atmo Hauts-de-France. Le dispositif est installé dans une enceinte grillagée fermée.

Paramètres mesurés	Localisation des mesures	Mesures à GLF	Mesures à PDP	Mesures à HEL
Particules en suspension PM ₁₀	Au milieu du quai	Mesures en continu sur 2 semaines	Mesures en continu sur 1 semaine (S1)	Mesures en continu sur 1 semaine (S1)
Particules en suspension PM _{2,5}		Mesures en continu sur 2 semaines	Mesures en continu sur 1 semaine (S2)	Mesures en continu sur 1 semaine (S2)

⁴ Les rames VAL 206 sont les rames de 1^{ère} génération. La ligne 1 n'en compte plus et sur la ligne 2, elles sont encore les plus nombreuses, amenées à être remplacées progressivement par les VAL 208.

Métaux dans la fraction PM10	A 1.8 mètre du sol	1 prélèvement de 24h*, pendant 14j	1 prélèvement par jour, pendant 14j	1 prélèvement par jour, pendant 14j
Confinement (CO ₂)		Mesures en continu sur 2 semaines	Mesures en continu sur 2 semaines	Mesures en continu sur 2 semaines
Paramètres de confort (T° et HR)		Mesures en continu sur 2 semaines	Mesures en continu sur 2 semaines	Mesures en continu sur 2 semaines
Mesures complémentaires (uniquement sur GLF)				
Particules ultrafines (PUF)	Au milieu du quai	Mesures en continu sur 2 semaines	-	-
Black Carbon (BC)	A 1.8 mètre du sol	Mesures en continu sur 2 semaines	-	-

* Le guide précise que la durée du prélèvement doit commencer à partir de la première rame jusqu'à la dernière rame, pendant l'ouverture commerciale journalière du quai. Pour le réseau ilévia, cela correspond à 21h de mesures sur 24.

3.3.2. Mesures dans les rames

Les mesures sont réalisées dans chaque type de rame roulant sur chaque ligne et ayant un temps de parcours en souterrain supérieur à 25% du temps de parcours sur la totalité de la ligne.

Pour cette partie de l'étude, les mesures ont été effectuées dans les habitacles des rames à l'aide d'appareils portables, sur une période entre 1 heure et 2 heures, en milieu de rame.

Paramètres mesurés	Localisation des mesures	Ligne 1	Ligne 2	
		VAL 208	VAL 206	VAL 208
Particules en suspension PM ₁₀	Au milieu de la rame centrale A 1.6 mètre du sol	9 prélèvements sur 2 allers/retours du début jusqu'à la fin de la ligne (2 fois 48min soit 1h36)	6 prélèvements sur 1 aller/retour du début jusqu'à la fin de la ligne (soit < 2h)	3 prélèvements sur 1 aller/retour du début jusqu'à la fin de la ligne (soit < 2h)
Particules en suspension PM _{2,5}				
Métaux dans la fraction PM10				
Confinement (CO ₂)				
Paramètres de confort (T° et HR)				

4. Contexte environnemental

4.1. Description de l'EFS

Le métro lillois comprend 2 lignes (ligne 1 et ligne 2), desservant 60 stations (50 souterraines et 10 aériennes) :



Figure 1 : Carte des stations des Ligne 1 (jaune) et Ligne 2 (rouge)
N.B. : les 10 stations aériennes non investiguées sont barrées

Les principales caractéristiques du réseau sont les suivantes :

	Ligne 1 (jaune)	Ligne 2 (rouge)
Longueur totale	12,54 km	31,13 km
Longueur en tunnel	8,92 km	25,83 km
Nombre total de stations	18	44
Nombre de stations souterraines	13	39
Fréquentation 2019 (nbre de voyages)	62,5 millions	65,1 millions

Les horaires de fonctionnement du réseau métro sont les suivants :

- en semaine, le métro fonctionne de 5h12 à 0h30 à la Gare Lille Flandres ;
- le samedi, la ligne 1 fonctionne 1 heure de plus, avec un dernier départ à 1h30 de la Gare Lille Flandres ;
- les dimanches et les jours de fêtes, le métro fonctionne de 6h20 à 0h30 à la Gare Lille Flandres.

Les fréquences de passage des rames sont les suivantes :

	Semaine journée	Samedi journée	Dimanche et fêtes journée	Tous les jours avant 6h et après 22h
Ligne 1 (jaune)	1 à 2 min	1 à 3 min	2 à 6 min	4 à 8 min
Ligne 2 (rouge)	1 min 18 à 3 min	2 à 4 min	4 à 6 min	6 à 8 min

Les périodes d'hyper pointe (fréquence la plus élevée) sont fixées de 6h55 à 7h25 et de 16h40 à 17h10.

Le métro lillois se distingue notamment par le gabarit des rames (2 mètres de large sur 26 mètres de long), la fréquence de passage des rames qui est la plus élevée au monde (1 minute en heures de pointe) et les façades de quai qui équipent toutes les stations. Il s'agit d'un métro sur pneu, ce qui offre une meilleure adhérence pour les rames amenées à circuler sur des lignes aux arrêts rapprochés nécessitant une bonne accélération et un bon freinage. L'alimentation électrique des rames se fait en 750V continu, tension captée grâce à des frotteurs situés sur les deux rails latéraux (appelés aussi rails de guidage).

143 rames de 2 voitures circulent sur ce réseau de 45 kilomètres de longueur totale :

Le parc actuel de matériels roulants est constitué de rames de type VAL (Matra / Siemens), de 26 mètres de long :

	VAL206	VAL206Bis	VAL208
Année de mise en service	1983	1987-1989	1999
Capacité « confort » (nbre de passagers)	154	154	156
Capacité maximale (nbre de passagers)	208	208	210
Parc total	38	45	60
Affectation Ligne 1 (jaune)	0	0	53
Affectation Ligne 2 (rouge)	38	45	7

Fin 2023, des rames de longueur double (52 mètres), de conception ALSTOM, seront mises en circulation sur la ligne 1. Elles présenteront une capacité « confort » de 313 passagers et une capacité maximale de 521 passagers.

En 2019, avant la crise sanitaire, le trafic sur l'ensemble du réseau avait progressé de plus de 4% par rapport à l'année précédente. 200 millions de voyages avaient ainsi été réalisés, dont **127,6 millions de voyages en métro**.

4.2. Emissions connues liées au métro

Cette surveillance de la qualité de l'air dans le métro lillois en 2021 est la quatrième menée par l'Observatoire de l'air en région Hauts-de-France : Atmo Hauts-de-France.

Les campagnes précédentes⁵ avaient mis en évidence des **niveaux élevés de particules en suspension** de taille située entre 10µm (PM10) et 2,5µm (PM2.5).

Trois sources de pollution sont identifiées au sein du métro : les usagers, les activités des travailleurs, ainsi que l'exploitation du métro.

Les activités des travailleurs ne sont pas étudiées dans le présent rapport.

L'exploitation du métro est une source de pollution particulière. Les principaux éléments associés aux teneurs potentielles de particules sont les matériels roulants tels que le système de freinage, l'usure des pneumatiques des roues (porteuses et de guidage) et des pistes de roulement, la ventilation, les caractéristiques des métros (nombre de quais, nombre de stations, profondeur, infrastructures béton...) et l'entretien du réseau.

Le métal lourd retrouvé de façon prépondérante dans le métro lillois, lors des 3 précédentes campagnes de mesures, est le fer, principalement issu du freinage.

Les rames du métro lillois fonctionnent à l'électricité. Ainsi, elles ne rejettent pas de polluants provenant de la combustion du diesel ou de l'essence.

⁵ Lien vers l'étude 2007-2008 : https://atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/transpole_2008.pdf

Lien vers l'étude 2010 : https://atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/Campagne%20devaluation%20de%20la%20qualite%20de%20l'air%20du%20metro%20de%20Lille%202010.pdf

Lien vers l'étude 2013-2014 : https://atmo-hdf.fr/joomlatools-files/docman-files/Rapport_et_synthese_etudes/rapport_AI_TRANSPOLE_2013_2014.pdf

Les études réalisées à l'intérieur des enceintes ferroviaires ou des métros⁶, ont montré que les concentrations des poussières en suspension étaient plus élevées à l'intérieur des stations qu'à l'extérieur. La remise en suspension des particules par **les usagers** provoquerait ce phénomène.

4.3. Episodes de pollution

Au cours des différentes périodes de mesures, la mise en perspective des résultats au regard des épisodes de pollution atmosphérique aux particules en suspension PM10 a été faite :

Site de mesure	Période de mesures	Episode de pollution PM10
Quai GLF (Gare Lille Flandres)	12 au 28/01/2021	Aucun épisode de pollution sur ces périodes de mesure
Quai PDP (Porte des Postes)	1 ^{er} au 16/02/2021	
Quai HEL (Mairie d'Hellemmes)	8 au 23/03/2021	
Rames	25/01 au 12/02/2021	

Les données de qualité d'air ambiant utilisées, pour comparer les données de l'EFS aux concentrations extérieures sont celles de la station fixe la plus proche de GLF en fond urbain : MC5 (Lille-Fives) et la station fixe en proximité automobile : MC7 (Lille-Leeds)

⁶ Rapport 2015 de l'INERIS

5. Résultats de l'étude

5.1. PM10

Dans cette partie, les résultats des particules en suspension PM10 sont présentés pour la campagne de mesures sur les quais (5.1.1), la campagne dans les rames (5.1.2), et la comparaison entre les deux (5.1.3).

5.1.1. Campagne sur les quais

Concentrations moyennes

Les concentrations données dans le tableau ci-dessous sont issues des données horaires, sur la totalité de la campagne de mesures, pour chacun des 3 quais investigués.

L'ensemble des données et tableaux demandés dans le guide INERIS est disponible en *Annexe 3*.

Toutes les données horaires	Quai GLF (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai PDP (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai HEL (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Concentration moyenne	64.5	46.3	115.8
Maximum horaire	162.2 le 21/01/2021 à 18h	289.4 le 04/02/2021 à 4h	412.2 le 12/03/2021 à 18h

Heures de service ⁷ du métro	Quai GLF (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai PDP (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai HEL (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Concentration moyenne	68.1	47.1	123.5
Maximum horaire	162.2 le 21/01/2021 à 18h	107.5 le 5/02/2021 à 1h	412.2 le 12/03/2021 à 18h

Tableau 1 : Concentrations moyennes et maximums horaires des PM_{10} aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d'Hellemmes

Globalement, les concentrations mesurées sont légèrement plus élevées en période d'ouverture du métro (1.7 à 6.6%) que sur la totalité de la campagne de mesures.

Les concentrations les plus basses sont relevées à PDP, puis à GLF, ce qui est cohérent avec le trafic sur ces 2 stations (8% du trafic annuel sur PDP contre 22% sur GLF), ainsi qu'avec les cadences de passages de rames.

Les concentrations les plus importantes sont relevées à HEL, ce qui confirme les observations de la cartographie de 2020.

Les concentrations, incluant les heures de fermeture au public du métro sont légèrement plus basses qu'en période d'activité.

⁷ Heures de service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

☐ Semaine et week-end

Les niveaux de particules en suspension PM10 sont comparés entre la semaine et le week-end pour les 3 stations :

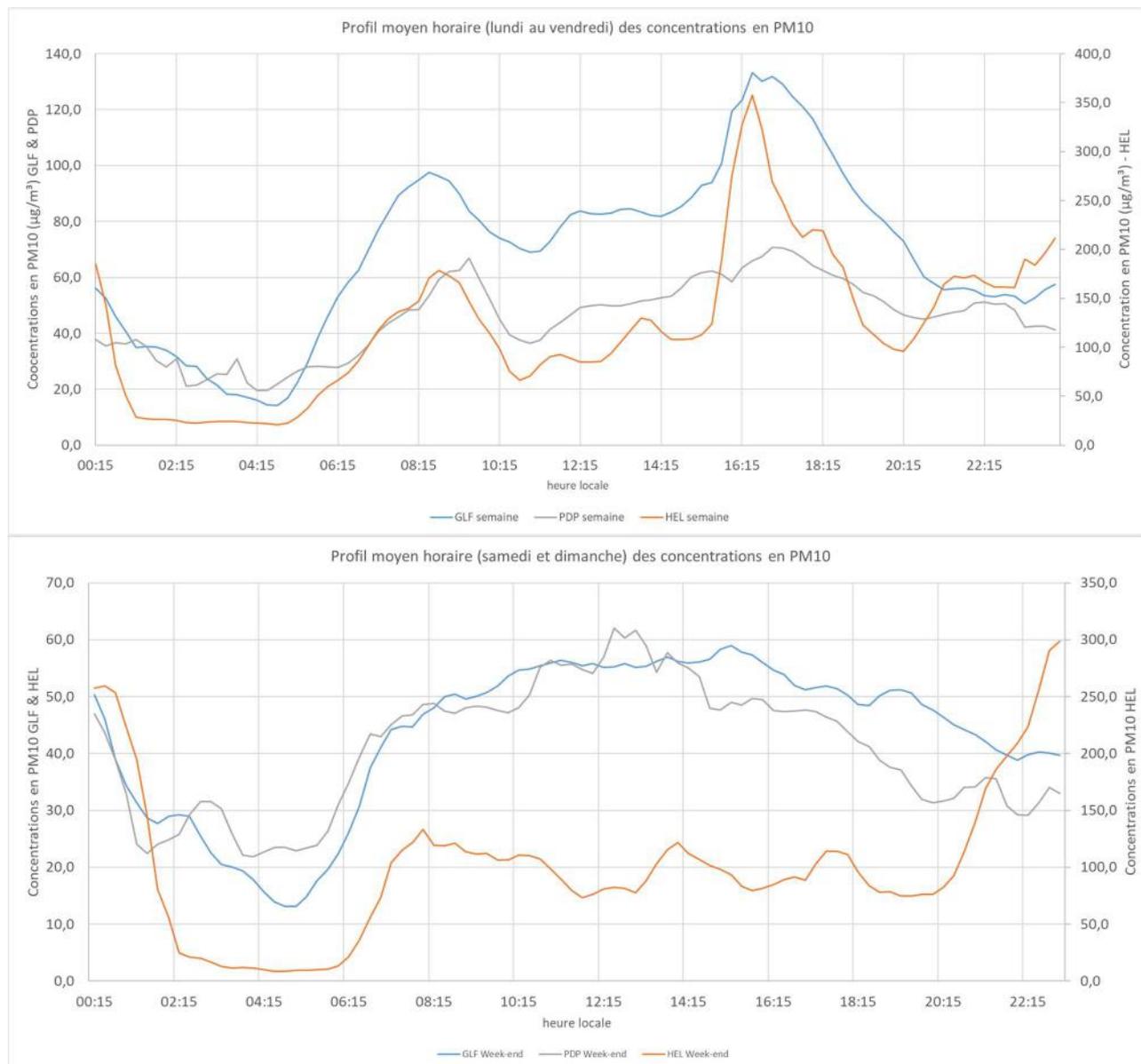


Figure 2 : Profils moyens horaires (semaine et week-end) des concentrations en PM10 pour les 3 quais investigués

L'évolution des concentrations horaires, au regard des profils journaliers, montre que les concentrations en PM10 ont les mêmes tendances sur les 3 quais, en semaine et en week-end, avec des niveaux de concentrations plus élevés sur HEL (échelle graphique différente pour GLF/PDP versus HEL).

En semaine (du lundi au vendredi), on observe 2 pics de concentrations aux heures de pointe (8h et 16h). Le week-end, on observe 1 pic vers 7h, puis les concentrations restent quasi constantes. Ces courbes de concentrations suivent les variations et sont ainsi dépendantes de la circulation des rames et des usagers.

On relève 2 particularités :

- pour PDP, on n'observe pas de pic en semaine à 16h ;
- pour HEL, on note une augmentation des concentrations le week-end et la semaine à partir de 20h, puis une diminution à partir de minuit.

☐ Comparaison à la campagne précédente et aux autres EFS

La qualité de l'air des enceintes ferroviaires souterraines (EFS) n'étant pas réglementée, il a été retenu de comparer les données du métro lillois à d'autres métros français. En France, sept agglomérations disposent d'EFS : Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rennes, Rouen et Toulouse.

Les métros lyonnais, toulousains et marseillais ont été retenus pour mener cette comparaison, le métro toulousain étant le plus proche du métro lillois en termes de taille et de conception.

Le tableau ci-dessous compare les concentrations moyennes en particules en suspension PM10 de la campagne 2021 à la campagne de 2010, aux campagnes dans les métros de Lyon (2020), Toulouse (2020) et Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Quai Lille Flandres (2010)	Quai Lille Flandres (2021)	Porte des Postes (2021)	Mairie d'Hellemmes (2021)	Lyon (2020) ⁸	Toulouse (2020) ⁹	Marseille (2021) ¹⁰	Autres EFS françaises - guide INERIS - (moyenne) (min-max)
PM10 (µg/m ³)	108	68.1	47.1	123.5	F : 82 SG : 76 VL : 148	E : 162 / 155 ML : 130 / 124	R : 96 C : 145 P : 144	89 5.2-309

Tableau 2 : Concentrations moyennes des PM10 entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

La concentration en PM10 a diminué entre 2010 et 2021, sur le quai de GLF (-40%), si l'on compare les concentrations sur la totalité de la campagne entre ces 2 années.

Globalement, les niveaux en particules en suspension PM10 mesurés lors de cette étude sont inférieurs aux valeurs relevées dans les autres EFS, en particulier pour GLF et PDP. Avec des valeurs plus élevées, le quai HEL montre des valeurs supérieures à la moyenne relevées par l'INERIS dans d'autres EFS françaises. Les valeurs de la station HEL sont inférieures au niveau moyen de Toulouse et Marseille mais supérieures au niveau moyen de Lyon.

☐ Comparaison aux valeurs de référence du CSHPF

Dans les EFS, il n'existe pas de valeur réglementaire pour les polluants rencontrés.

Le Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France (CSHPF) a émis un avis relatif à l'élaboration de valeurs guides de qualité de l'air dans les enceintes ferroviaires souterraines, en date du 3 mai 2001. Ces valeurs de référence sont réévaluées à chaque nouvelle campagne de mesures dans le métro lillois.

⁸ Campagne menée sur les stations Foch (F), Saxe-Gambetta (SG) et Vieux Lyon (VL)

⁹ 2 périodes de mesures en 2020 pour chaque station : station Esquirol (E) : froide (8 au 27/01) / chaude (1^{er} au 15/10 et 28/10 au 5/11) ; station Mirail-Université (ML) : froide (17/01 au 03/03) / chaude (16/09 au 05/11)

¹⁰ Campagne menée sur les stations Réformés (R), Castellane (C) et Périer (P)

Il est important de noter que ces concentrations maximales sont mesurées sur les quais d'une station et ne correspondent donc pas exactement à ce que respire un usager dans le métro, puisque celui-ci emprunte plusieurs stations de métro et une à plusieurs rames.

La valeur guide calculée à ne pas dépasser est ainsi fonction du temps passé dans le métro, rapportée à la concentration extérieure en PM10 sur la station de mesures en air ambiant de Lille-Fives (P90.4 ou percentile 90.4), la station de Lille-Fives étant la station de mesures la plus proche de la zone d'étude.

Temps d'exposition d'un usager dans le métro lillois	Valeur guide en 2020* p90.4 _{ext} = 29 µg/m ³ (en µg/m ³)	Valeur Max sur GLF (en µg/m ³)	Valeur Max sur PDP (en µg/m ³)	Valeur Max sur HEL (en µg/m ³)
15 min	2 045	183	439	475
30 min	1 037	N.C	N.C	N.C
45 min	701	N.C	N.C	N.C
1 heure	533	162	108	412

Tableau 3 : Valeurs de référence du CSHPF calculées au regard de l'année 2020

*N.B. : la statique annuelle n'est pas validée (<85% de taux de fonctionnement sur la station de Lille-Fives), mais le taux de fonctionnement étant très proche des 85% (84%), il a été retenu de la conserver, pour le calcul des valeurs guides.

Si l'on compare la valeur guide 2020 de 1h, à ne pas dépasser, aux valeurs maximales horaires de chaque campagne quai, en période de fonctionnement du métro et donc de présence des usagers (GLF = 162.2 µg/m³ ; PDP = 107.5 µg/m³ ; HEL = 412.2 µg/m³), **cette valeur guide est respectée pour les 3 stations du métro lillois investiguées, y compris HEL qui présente des valeurs élevées.**

Ce constat est le même pour les valeurs maximales quart-horaires pour les stations du métro lillois : pas de dépassement de la valeur sur 15 minutes (2 045 µg/m³) pour les 3 stations (GLF = 183.1 µg/m³ ; PDP = 439 µg/m³ ; HEL = 475.3 µg/m³).

5.1.2. Campagnes dans les rames

Concentrations moyennes

Les mesures de particules en suspension PM10 ont été réalisées par analyseur portable (compteur optique), en milieu de rame.

Afin de respecter le critère de prélèvement entre 1 heure et 2 heures, les mesures ont été planifiées à partir du terminus 4 Cantons pour la ligne 1 et du terminus St Philibert pour la ligne 2, avec les séquences suivantes :

- Ligne 1 (1 aller-retour = 48 min) → 2 allers-retours, soit environ 1h30 ;
- Ligne 2 (1 aller-retour < 2heures) → 1 aller-retour, soit environ 2h.

Les parcours présentant des parties aériennes, la méthode de pondération du guide INERIS a été utilisée afin d'estimer la concentration en particules en suspension PM10 propre au parcours souterrain (nommé C_{EFS}) et par conséquent les niveaux d'expositions des voyageurs n'empruntant que ces portions. Cette pondération est réalisée grâce aux relevés des moments des passages en EFS pendant les prélèvements, aux résultats des moyennes des mesures de particules (C_{filtre}) et aux mesures individuelles en continu des particules obtenues à l'aide de l'analyseur portable.

Un pourcentage entre les niveaux de concentration en EFS (C_{EFS}) et en aérien (nommé C_{ext}) est calculé à partir des moyennes des niveaux de concentration obtenues à l'aide du compteur optique dans ces deux environnements.

Le ratio (ou pourcentage) obtenu, nommé R ci-après, est donc égal à :

$$R = C_{EFS} / C_{ext}$$

Le calcul de pondération est obtenu par l'équation suivante :

$$C_{filtre} = \frac{(C_{ext} \times durée_{ext}) + (C_{EFS} \times durée_{EFS})}{durée_{ext} + durée_{EFS}}$$

$$C_{filtre} = \frac{(C_{EFS} / R \times durée_{ext}) + (C_{EFS} \times durée_{EFS})}{durée_{ext} + durée_{EFS}}$$

Ainsi, la concentration en particules PM10 en EFS (C_{EFS}) peut être estimée par ce calcul.

La base de données ayant permis les calculs des valeurs des tableaux ci-dessous est disponible en Annexe 4.

Les résultats de ces calculs pour les particules en suspension PM10 sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Ligne 1 – rames VAL 208

C_{filtre} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10
Nombre de valeurs	9
Durée moyenne des mesures	1h37
Moyenne	41.0
(Min-Max)	25.1-56.8

C_{EFS} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10
Nombre de valeurs	9
Durée moyenne des mesures	1h37
Moyenne	46.6
(Min-Max)	26.8-70.9

Ligne 2 – rames VAL 206

C_{filtre} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10
Nombre de valeurs	6
Durée moyenne des mesures	1h57
Moyenne	32.1
(Min-Max)	28.6-37.5

C_{EFS} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10
Nombre de valeurs	6
Durée moyenne des mesures	1h57
Moyenne	32.9
(Min-Max)	28.8-39.7

Ligne 2 – rames VAL 208

C_{filtre} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10
Nombre de valeurs	3
Durée moyenne des mesures	1h56
Moyenne	30.8
(Min-Max)	25.3-36.4

C_{EFS} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	PM10
Nombre de valeurs	3
Durée moyenne des mesures	1h56
Moyenne	31.2
(Min-Max)	26.2-36.3

Concentration moyenne	C_{filtre} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	C_{EFS} (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Ligne 1	41.0	46.6
Ligne 2	31.5	32.1

Tableau 4 : Concentrations moyennes, min et max horaires des PM_{10} dans les rames et lignes du métro lillois

L'exposition des usagers aux particules en suspension PM_{10} dans les rames est plus élevée sur la ligne 1 que sur la ligne 2 (facteur 1.45).

Pour la ligne 2, qui présente 2 types de matériels roulants, nous n'observons pas de différences entre les concentrations mesurées dans les VAL 206 et les VAL 208.

Comparaison aux autres EFS

Des mesures dans les rames du métro lillois ont eu lieu pour la 1^{ère} fois en 2021. Il n'existe ainsi pas de valeur de comparaison sur les 3 précédentes campagnes.

Le tableau ci-dessous compare les concentrations moyennes en particules en suspension PM_{10} de la campagne 2021 dans les rames (C_{EFS}) à la campagne menée dans les rames du métro de Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Ligne 1	Ligne 2	Marseille (2021)	Autres EFS françaises - guide INERIS - (moyenne) (min-max)
$C_{\text{EFS}} PM_{10}$ ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	46.6	32.1	Ligne 1 : 63 Ligne 2 : 87	145.4 58-251

Tableau 5 : Concentrations moyennes des PM_{10} sur les lignes 1 et 2 du métro lillois et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

Globalement, les niveaux en particules en suspension PM_{10} mesurés dans les rames lors de cette étude sont inférieurs aux valeurs relevées dans les autres EFS, en particulier pour la ligne 2.

5.1.3. Comparaison les mesures entre les quais et les rames

☐ Comparaison des concentrations

Le tableau ci-dessous, regroupe les concentrations moyennes en particules en suspension PM10 mesurées dans les rames et sur les quais. Une différence est observée entre ces concentrations, caractérisée par **un facteur**, calculé à partir de la moyenne des trois concentrations sur les quais rapportée à la moyenne des deux concentrations dans les rames.

	Quai GLF	Quai PDP	Quai HEL	Rames Ligne 1	Rames Ligne 2	Facteur entre les rames et les quais
Concentration moyenne en PM10 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	68.1	47.1	123.5	46.6	32.1	2

Tableau 6 : Comparaison des concentrations des PM10 entre les quais et les rames

Les concentrations sont **2 fois plus élevées sur les quais que dans les rames**.

Cette différence de concentrations pourrait s'expliquer par le transfert d'émissions importantes en PM10 dans les tunnels vers les quais, à chaque passage et arrêt de rame en station. La remise en suspension des particules liée au piétinement des usagers pourrait être une autre piste.

L'évolution des concentrations horaires montre que les concentrations en particules PM10 ont les mêmes tendances sur les 3 quais, en semaine et en week-end, avec des concentrations plus élevées aux heures de pointe et en période d'ouverture du métro.

Les concentrations relevées à HEL, globalement supérieures à GLF, elles-mêmes supérieures à PDP, sont à investiguer au regard des sources possibles (le roulement des rames sur la voie, le système de freinage, le profil de voie en amont et en aval des quais, la ventilation et le renouvellement d'air...).

Les concentrations en particules en suspension PM10 ont diminué sur GLF entre 2010 et 2021 (-40%).

Les concentrations sont plus élevées sur les quais que dans les rames et sur la ligne 1 que sur la ligne 2 (il n'est pas observé de différence entre les concentrations mesurées dans les 2 types de matériels roulants).

Pour les particules en suspension PM10, les valeurs guides du CSHPF sont respectées pour les 3 stations.

Pour les quais, le métro lillois présente des résultats inférieurs ou similaires aux métros de Lyon, Toulouse et Marseille, ainsi qu'à la moyenne des autres EFS françaises, hormis sur Mairie d'Hellemmes. Dans les rames, les concentrations observées en PM10 des 2 lignes du métro lillois sont inférieures à celles de Marseille et des autres EFS investiguées pour le guide INERIS.

5.2. PM2.5

Dans cette partie, les résultats des particules fines PM2.5 sont présentés pour la campagne de mesures sur les quais (5.2.1), la campagne dans les rames (5.2.2), et la comparaison entre les deux (5.2.3).

5.2.1. Campagne sur les quais

☐ Concentrations moyennes

Les concentrations données dans le tableau ci-dessous sont issues des données horaires, sur la totalité de la campagne de mesures, pour chacun des 3 quais investigués.

L'ensemble des données et tableaux demandés dans le guide INERIS est disponible en *Annexe 5*.

Toutes les données horaires	Quai GLF (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai PDP (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai HEL (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Concentration moyenne	31.1	29.8	80.3
Maximum horaire	89.3 le 27/01/2021 à 18h	63.5 le 10/02/2021 à 21h	307.5 le 15/03/2021 à 18h

Heures de service ¹¹ du métro	Quai GLF (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai PDP (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Quai HEL (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)
Concentration moyenne	32.5	30.6	85.6
Maximum horaire	89.3 le 27/01/2021 à 18h	63.5 le 10/02/2021 à 21h	307.5 le 15/03/2021 à 18h

Tableau 7 : Concentrations moyennes et maximums horaires des PM2.5 aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d'Hellemmes

Les concentrations en PM2.5 sont similaires entre la totalité de la campagne de mesures et la période d'ouverture du métro, sauf pour le quai HEL où les concentrations en heures de service sont légèrement plus élevées. Les concentrations les plus élevées sont relevées à HEL, puis à GLF, et enfin à PDP. Ce gradient de concentrations entre les 3 quais est le même que celui observé pour les particules en suspension PM10.

☐ Semaine et week-end

Les niveaux de particules fines PM2.5 sont comparés entre la semaine et le week-end pour les 3 stations :

¹¹ Heures de service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

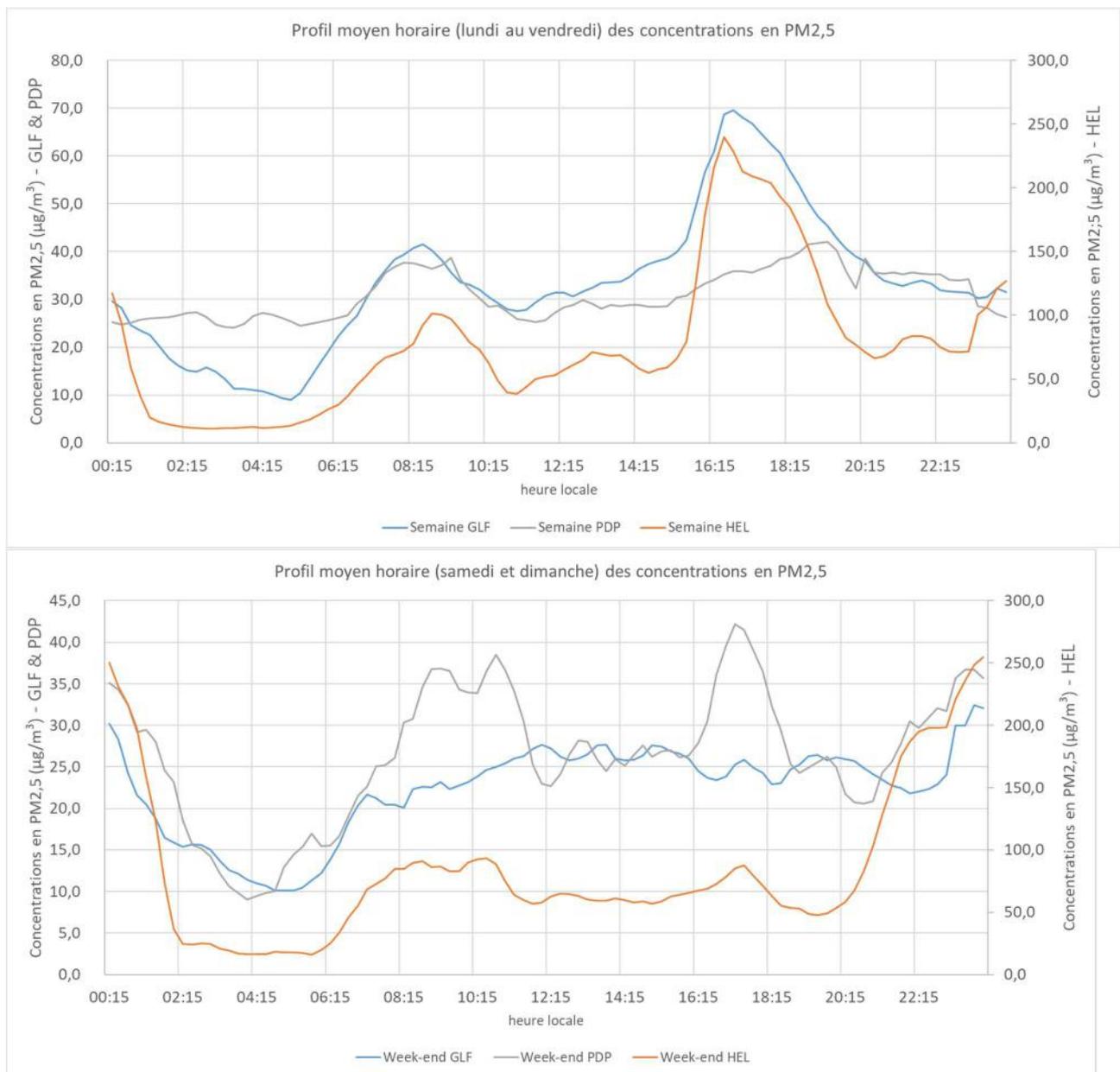


Figure 3 : Profils moyens horaires (semaine et week-end) des concentrations en PM2,5 pour les 3 quais investigués

Comme pour les particules en suspension PM10, l'évolution des concentrations horaires, au regard des profils journaliers, montre que les concentrations en PM2,5 ont les mêmes tendances sur les 3 quais, en semaine et en week-end, avec des niveaux de concentrations plus élevés sur HEL (échelle graphique différente pour GLF/PDP versus HEL).

En semaine (du lundi au vendredi), on observe 2 pics de concentrations aux heures de pointe : à 8h pour les 3 stations et à 16h, pour GLF et HEL mais pas pour PDP.

Le week-end, on observe des tendances similaires entre les stations GLF et HEL (à des niveaux de concentrations plus élevées sur HEL / Cf. échelle graphique différente GLF/PDP versus HEL). Pour HEL, on note une augmentation des concentrations le week-end et la semaine à partir de 20h, puis une diminution à partir de minuit.

Pour PDP, on observe 2 pics de concentrations, entre 9h et 11h le matin et autour de 17h l'après-midi.

☐ Comparaison à la campagne précédente et aux autres EFS

Le tableau ci-dessous compare les concentrations moyennes en particules fines PM2.5 de la campagne 2021 à la campagne de 2010, aux campagnes dans les métros de Lyon (2020), Toulouse (2020) et Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Quai Lille Flandres (2010)	Quai Lille Flandres (2021)	Porte des Postes (2021)	Mairie d'Hellemmes (2021)	Lyon (2020) ¹²	Toulouse (2020) ¹³	Marseille (2021) ¹⁴	Autres EFS françaises - guide INERIS - (moyenne) (min-max)
PM2.5 (µg/m ³)	68	32.5	30.6	85.6	F : 42 SG : 40 VL : 76	E : 95 / 110	R : 27 C : 57 P : 43	44 0-448

Tableau 8 : Concentrations moyennes des PM2.5 entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

Comme pour les PM10, la concentration en particules fines PM2.5 a diminué entre 2010 et 2021, sur le quai de GLF (-54%), si l'on compare les concentrations sur la totalité de la campagne entre ces 2 années.

Globalement, les niveaux en particules fines PM2.5 mesurés lors de cette étude sont inférieurs aux valeurs relevées dans les autres EFS, en particulier pour GLF et PDP. Avec des valeurs plus élevées, le quai HEL montre des valeurs supérieures à la moyenne relevés par l'INERIS dans d'autres EFS françaises. Les valeurs de la station HEL sont inférieures au niveau moyen de Toulouse mais supérieures au niveaux observés à Lyon et Marseille.

5.2.2. Campagnes dans les rames

☐ Concentrations moyennes

Les mesures de particules fines PM2.5 ont été obtenues à partir du même analyseur que celui des PM10 (compteur optique qui mesure ces 2 paramètres en parallèle).

Les conditions de prélèvement et d'exploitation pour la mesure des PM2.5 dans les rames est la même que celle décrite pour les PM10 (5.1.2).

Les résultats de ces calculs pour les particules fines PM2.5 sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Ligne 1 – rames VAL 208

C _{filtre} (en µg/m ³)	PM2.5
Nombre de valeurs	9
Durée moyenne des mesures	1h37
Moyenne	30.7
(Min-Max)	17.3-50.5

C _{EFS} (en µg/m ³)	PM2.5
Nombre de valeurs	9
Durée moyenne des mesures	1h37
Moyenne	35.0
(Min-Max)	18.5-63

¹² Campagne menée sur les stations Foch (F), Saxe-Gambetta (SG) et Vieux Lyon (VL)

¹³ 2 périodes de mesures en 2020 la station Esquirol (E) : froide (27/01 au 10/02) / chaude (16/09 au 1^{er}/10) ; pas de mesures de PM2.5 sur la station Mirail-Université (ML)

¹⁴ Campagne menée sur les stations Réformés (R), Castellane (C) et Périer (P)

Ligne 2 – rames VAL 206

C _{filtre} (en µg/m ³)	PM2.5
Nombre de valeurs	6
Durée moyenne des mesures	1h57
Moyenne	24.4
(Min-Max)	17.5-31.8

C _{EFS} (en µg/m ³)	PM2.5
Nombre de valeurs	6
Durée moyenne des mesures	1h57
Moyenne	25.1
(Min-Max)	17.6-33.6

Ligne 2 – rames VAL 208

C _{filtre} (en µg/m ³)	PM2.5
Nombre de valeurs	3
Durée moyenne des mesures	1h56
Moyenne	22.9
(Min-Max)	20.5-25

C _{EFS} (en µg/m ³)	PM2.5
Nombre de valeurs	3
Durée moyenne des mesures	1h56
Moyenne	23.2
(Min-Max)	21.2-25.3

Concentration moyenne	C _{filtre} (en µg/m ³)	C _{EFS} (en µg/m ³)
Ligne 1	30.7	35.0
Ligne 2	23.7	24.2

Tableau 9 : Concentrations moyennes, min et max horaires des PM2.5 dans les rames et lignes du métro lillois

Comme pour les PM10, l'exposition des usagers aux particules fines PM2.5 dans les rames est plus élevée sur la ligne 1 que sur la ligne 2 (même facteur d'environ 1.45).

Pour la ligne 2, qui présente 2 types de matériels roulants, on n'observe pas de différence significative entre la concentration moyenne mesurée dans les VAL 206 en comparaison de celle des VAL 208.

Comparaison aux autres EFS

Des mesures dans les rames du métro lillois ont eu lieu pour la 1^{ère} fois en 2021. Il n'existe ainsi pas de valeur de comparaison sur les 3 précédentes campagnes.

Le tableau ci-dessous compare les concentrations moyennes en particules fines PM2.5 de la campagne 2021 dans les rames (C_{EFS}) à la campagne menée dans les rames du métro de Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Ligne 1	Ligne 2	Marseille (2021)	Autres EFS françaises - guide INERIS - (moyenne) (min-max)
C _{EFS} PM2.5 (µg/m ³)	35.0	24.2	Ligne 1 : 53 Ligne 2 : 76	102.8 36-164.5

Tableau 10 : Concentrations moyennes des PM2.5 sur les lignes 1 et 2 du métro lillois et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

Globalement, comme pour les PM10, les niveaux en particules fines PM2.5 mesurés dans les rames lors de cette étude sont inférieurs aux valeurs relevées dans les autres EFS, en particulier pour la ligne 2.

5.2.3. Comparaison les mesures entre les quais et les rames

☐ Comparaison des concentrations

Le tableau ci-dessous, regroupe les concentrations moyennes en particules fines PM2.5 mesurées dans les rames et sur les quais. Une différence est observée entre ces concentrations, caractérisée par **un facteur**, calculé à partir de la moyenne des trois concentrations sur les quais rapportée à la moyenne des deux concentrations dans les rames.

	Quai GLF	Quai PDP	Quai HEL	Rames Ligne 1	Rames Ligne 2	Facteur entre les rames et les quais
Concentration moyenne en PM2.5 (en µg/m³)	32.5	30.6	85.6	35.0	24.2	1.7

Tableau 11 : Comparaison des concentrations des PM2.5 entre les quais et les rames

Les concentrations sont **1.7 fois plus élevées sur les quais que dans les rames**.

Comme pour les PM10, l'évolution des concentrations horaires montre que les PM2.5 ont les mêmes tendances sur les 3 quais, en semaine et en week-end, avec des concentrations plus élevées aux heures de pointe et en période d'ouverture du métro.

Les concentrations relevées à HEL, globalement supérieures à GLF, elles-mêmes supérieures à PDP, sont à investiguer au regard des sources possibles (le roulement des rames sur la voie, le système de freinage, le profil de voie en amont et en aval des quais, la ventilation et le renouvellement d'air...).

Les concentrations en particules en suspension PM2.5 ont diminué sur GLF entre 2010 et 2021 (-54%).

Pour HEL, les concentrations en PM2.5 sont plus élevées en période d'ouverture.

Les concentrations sont plus élevées sur les quais que dans les rames et sur la ligne 1 que sur la ligne 2 (il n'est pas observé de différence entre les concentrations mesurées dans les 2 types de matériels roulants).

Pour les quais, le métro lillois présente des résultats inférieurs ou similaires aux autres EFS françaises, hormis sur Mairie d'Hellemmes qui présente des valeurs supérieures aux métros de Lyon et Marseille, ainsi qu'à la moyenne du guide INERIS, mais en dessous des valeurs de Toulouse. Dans les rames, les concentrations observées en PM2.5 des 2 lignes du métro lillois sont inférieures à celles de Marseille et des autres EFS investiguées pour le guide INERIS.

5.3. Métaux

Dans cette partie, les résultats des métaux dans les PM10 sont présentés pour la campagne de mesures sur les quais (5.3.1), la campagne dans les rames (5.3.2) et la comparaison entre les deux (5.3.3).

5.3.1. Campagne sur les quais

Concentrations

Les métaux dans la fraction PM10 sont prélevés sur le filtre de quartz pendant 24 heures. 15 jours de prélèvements ont été réalisés pour chaque station :

- Gare Lille Flandres : du 13/01/2021 jusqu'au 28/01/2021. A la suite d'une coupure de l'alimentation électrique, les prélèvements des 16,17 et 18 janvier 2021 n'ont pu être réalisés. Les statistiques présentées sur la période de mesure dans la suite du rapport sont donc basées sur un taux de couverture de 80%.
- Porte des Postes : du 01/02/2021 jusqu'au 15/02/2021
- Mairie d'Hellemmes : du 08/03/2021 jusqu'au 23/03/2021

Le Tableau 12 représente les concentrations en moyenne journalière des PM10 et des métaux (arsenic, baryum, fer, chrome, cuivre, manganèse, nickel, plomb, antimoine et zinc) analysés sur les trois quais (Gare Lille Flandres, Mairie d'Hellemmes et Porte des Postes).

L'unité de concentration est en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules **PM10** et en ng/m^3 pour les **métaux**. Les paramètres représentés sont les concentrations moyennes, les valeurs minimales et maximales (Cf. *Annexe 6, Annexe 7 et Annexe 8*). **Les concentrations en cadmium ne sont pas représentées** car elles se situent **en dessous de la limite de quantification** (LQ : $0,1 \text{ ng}/\text{m}^3$).

Gare Lille Flandres

Paramètres	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	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
Moyenne	64.1	3.3	694	20340	<LQ*	44.9	1497	195	18.3	0.6	84.9	207
Max	81.6	5.6	1170	26052	-	57.4	2309	262	22.9	0.9	170.3	273

Mairie d'Hellemmes

Paramètres	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	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
Moyenne	114.4	6.8	5128	35184	<LQ*	36.9	5749	294.0	30.7	0.8	50.6	607
Max	143.6	8.3	7442	45270	-	44.4	8477	368.3	37.1	1.2	190.2	810

Porte des Postes

Paramètres	PM ₁₀ $\mu\text{g}/\text{m}^3$	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
Moyenne	46.2	2.73	634	9036	<LQ*	25.2	1101	83.7	15.4	0.69	39.9	177
Max	79.5	5.96	1779	21308	-	51.2	2855	190.7	37.9	0.95	101.6	378

* La limite de quantification (LQ) est de $0,1 \text{ ng}/\text{m}^3$, toutes les valeurs du Cadmium (Cd) sont en dessous de la LQ

** Pour les campagnes de mesures de Porte des Postes et Marie d'Hellemmes, les mesures de PM10 n'ont été faites que sur les 8 premiers jours pour Porte des Postes et 7 premiers jours pour Marie d'Hellemmes.

Tableau 12 : Concentrations en moyenne journalière des PM₁₀ et des métaux aux stations Gare Lille Flandres, Mairie d'Hellemmes et Porte des Postes

Les concentrations moyennes en **fer** sont **les plus fortes** par rapport au reste des métaux, entre 9000-45000 ng/m³. Les deux métaux présents en quantité importante après le fer sont le **cuivre** (1100-5700 ng/m³) et le **baryum** (630-5100 ng/m³). Les autres métaux se situent dans la gamme 2.7-600 ng/m³.

Les concentrations en métaux dans la fraction PM10 sur la station **Mairie d’Hellemmes** sont les plus élevées, suivie de Gare Lille Flandres et de Porte des Postes.

La concentration moyenne en **fer** à **Mairie d’Hellemmes** est près de **2 fois** plus élevée qu’à Gare Lille Flandres et près de **3 fois** plus élevée qu’à Porte des Postes. Les niveaux de **cuivre** de Mairie d’Hellemmes sont près de **5 fois** plus élevés qu’aux deux autres stations (5749 ng/m³ contre 1497 ng/m³ à Gare Lille Flandres et 1101 ng/m³ à Porte des Postes).

Les concentrations en **baryum** sont presque **10 fois** plus importantes à Mairie d’Hellemmes (5128 ng/m³ contre 694 et 634 ng/m³ pour Gare Lille Flandres et Porte des Postes qu’à Gare Lille Flandres et à Porte des Postes).

☐ Semaine et week-end

Sur la Figure 4, les niveaux des métaux cumulés sont comparés entre la semaine et le week-end pour les 3 stations. **Mairie d’Hellemmes présente le niveau le plus élevé, qui est 2 fois supérieur à celui de Gare Lille Flandres et 3 fois à celui de Porte des Postes.**

Pour Gare Lille Flandres, les métaux, le week-end, sont réduits à 50% par rapport aux jours de semaine. Pour Porte des Postes, cette différence est d’environ 20%. En revanche, les métaux à Mairie d’Hellemmes le week-end sont équivalents à la semaine.

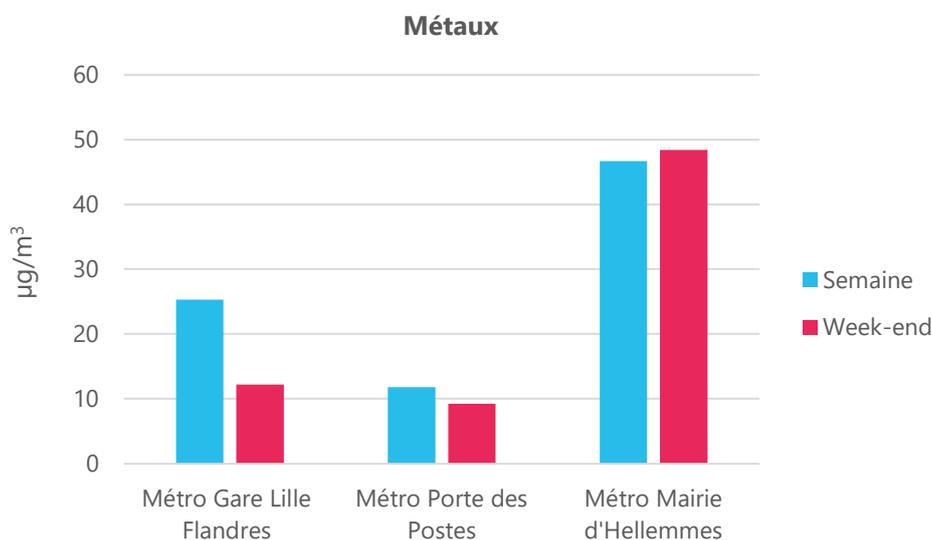


Figure 4 : Comparaison des métaux en semaine et en week-end pour les 3 stations

☐ Sources

Selon l’INERIS, les sources principales de **fer** dans les particules sont liées aux **phénomènes de friction** (contact roue-frein, contact du matériel roulant avec le système d’alimentation électrique). L’origine du **cuivre** peut être

liée au **système d'alimentation électrique** et le **baryum** peut être lié au matériau du **système de freinage**. Pour les autres métaux, les sources sont plus variables d'un réseau à l'autre.

Le système d'alimentation électrique et le freinage, source principale du **baryum** avec une concentration moyenne de 5128 µg/m³ à Mairie d'Hellemmes, pourraient expliquer les plus grandes concentrations en cuivre et en baryum dans cette station, comparée à Gare Lille Flandres et Porte des Postes.

Métaux	Sources (selon l'INERIS)
Fer	Phénomènes de friction et d'arrachement (contact roue-frein, contact du matériel roulant avec le système d'alimentation électrique)
Cuivre	Système d'alimentation électrique
Baryum	Système de freinage

*Pas de source potentielle décrit par l'INERIS pour les métaux suivants : Chrome, Nickel, Manganèse, Zinc, Arsenic, Plomb, Cadmium et Antimoine

Tableau 13 : Métaux et sources potentielles proposées par le rapport d'étude de l'INERIS

☐ Contribution relative des métaux

La somme des métaux mesurés représente moins de 40% de la masse des PM₁₀ aux stations Gare Lille Flandres (34.9%), Mairie d'Hellemmes (38.9%) et Porte des Postes (27.7%). La contribution relative de chaque espèce montre que le **fer** est l'élément dominant, suivi du **cuivre**, du **baryum**, du zinc, du manganèse et de l'antimoine comme indiqué sur la Figure 5 :

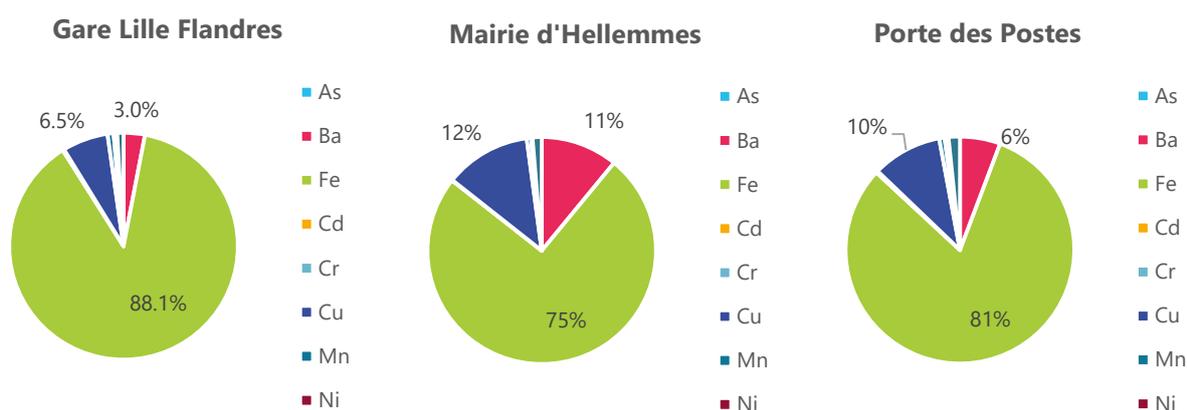


Figure 5 : Contribution relative de chaque métal dans l'ensemble des métaux sur les quais

Proportions	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
GLF	0.014%	3%	88%	0.002%	0.19%	6%	0.85%	0.08%	0.03%	0.37%	0.9%
HEL	0.015%	11%	75%	0.001%	0.08%	12%	0.62%	0.07%	0.02%	0.11%	1.3%
PDP	0.025%	6%	81%	0.005%	0.23%	10%	0.75%	0.14%	0.06%	0.36%	1.6%

Tableau 14 : Proportions de chaque métal dans l'ensemble des métaux sur les quais

Le **fer** est plus important à **Gare Lille Flandres (88%)**. Une explication serait que les phénomènes de frictions soient plus élevés. Effectivement, le nombre de métros est plus élevé à cet arrêt par rapport aux deux autres stations. Plus la fréquence de rames est importante, plus le nombre de frictions augmente, également (idem pour Porte des Postes avec 81%).

En comparant les trois stations, de plus grandes proportions de **baryum** et de **cuivre** sont observées à **Mairie d'Hellemmes (11% et 12%** contre 3% et 6% à Gare Lille Flandres et 6% et 10% à Porte des Postes). Comme déjà indiqué dans la section précédente, cela tendrait à confirmer que **le frein et le système d'alimentation** ont, à cette station, un impact important par rapport aux deux autres arrêts.

☐ Comparaison à la campagne précédente et aux autres EFS

Le Tableau 15 compare les concentrations moyennes en métaux de la campagne de 2021 à la campagne de 2010, à la campagne dans le métro de Lyon (2021) et aux autres EFS. Les prélèvements n'ont pas été réalisés selon les mêmes modalités de fréquence et de durée :

- 2010 : 10 prélèvements hebdomadaires, 1 fois par semaine, répartis sur les 10 semaines du 18/01/2010 jusqu'au 29/03/2010, sur filtre de quartz, au quai **Gare Lille Flandres**
- 2021 : 15 prélèvements journaliers, 1 fois par jour, répartis sur les 15 jours, sur filtre de quartz
 - **Gare Lille Flandres** : du 13/01/2021 jusqu'au 28/01/2021
 - **Porte des Postes** : du 01/02/2021 jusqu'au 15/02/2021
 - **Mairie d'Hellemmes** : du 08/03/2021 jusqu'au 23/03/2021
- **Lyon (2020-2021)** : 15 prélèvements journaliers répartis sur les 15 jours
 - Foch (F) : du 28/10/2020 jusqu'au 18/11/2020
 - Saxe Gambetta (SG) : 18/11/2020 jusqu'au 07/12/2020
 - Vieux-Lyon (VL) : 11/01/2021 jusqu'au 01/02/2021
- **Marseille (2020-2021) : 14 prélèvements de 20 heures répartis sur les 14 jours**
 - Castellane (C) : 04/02/2021 jusqu'au 17/02/2021
 - Périer (P) : 08/03/2021 jusqu'au 21/03/2021

Selon le Tableau 15, **une baisse des concentrations moyennes des métaux** est observée, entre 2010 et 2021 au quai Gare Lille Flandres. Ce n'est pas le cas du zinc, qui montre une augmentation de 2010 à 2021. Le baryum et l'antimoine n'ont pas été mesurés lors de la campagne de 2010. Le cadmium n'a pas pu être exploité dans cette étude car ses concentrations se situent en dessous de la limite de quantification (0.1 ng/m³) en 2021.

Les concentrations moyennes trouvées durant cette campagne se situent **en dessous** des concentrations moyennes de la campagne menée à **Lyon**, à l'exception de l'antimoine et du zinc.

Les concentrations moyennes trouvées durant cette campagne se situent **en dessous** des concentrations moyennes de la campagne menée à **Marseille**, à l'exception de l'antimoine, l'arsenic et le baryum.

Concernant les mesures dans les autres EFS, l'INERIS a réunis les concentrations moyennes en cuivre, fer, manganèse, antimoine et zinc mesurés dans les autres métros. **Les concentrations moyennes en métaux des trois quais se situe dans la gamme des concentrations observées dans les autres EFS**, à l'exception du cuivre pour Mairie d'Hellemmes qui se situe légèrement au-dessus du max observé : +3%.

Concentrations moyennes	Quai Lille Flandres (2010)	Quai Lille Flandres (2021)	Mairie d'Hellemmes (2021)	Porte des Postes (2021)	Lyon (F, SG et VL) (2020-2021)	Marseille (C et P) (2021)	Autres EFS françaises - INERIS (min-max)
As (ng/m ³)	4.80	3.3	6.8	2.7	3.2 ; 3.2 ; 2.7	22.3 ; 17.4	-
Ba (µg/m ³)	-	0.69	5.13	0.63	2.85 ; 2.37 ; 0.96	16.7 ; 13.2	-
Cd (ng/m ³)	-	<LQ	<LQ	<LQ	0.5 ; 0.5 ; 0.5	0.2 ; 0.3	-
Cr (ng/m ³)	69.9	44.9	36.9	25.2	75.8 ; 64.3 ; 29.7	51.4 ; 60.6	-
Cu (µg/m ³)	1.0	1.5	5.8	1.1	2.6 ; 1.8 ; 2.8	5.9 ; 4.5	0.1 - 5.6
Fe (µg/m ³)	22.2	20.3	35.2	9.0	26.0 ; 22 ; 62	58.9 ; 47.5	1.1 - 75
Mn (ng/m ³)	256	195	294	84	209 ; 177 ; 197	519 ; 469	19 - 521
Ni (ng/m ³)	26.3	18.3	30.7	15.4	58.6 ; 43.4 ; 53.5	134.1 ; 111.1	-
Pb (ng/m ³)	17.30	0.6	0.8	0.7	155 ; 114 ; 170	5.4 ; 5.2	-
Sb (ng/m ³)	-	84.9	50.6	39.9	3.2 ; 3.6 ; 4.4	5.9 ; 4.2	7.6 - 413
Zn (µg/m ³)	0.14	0.21	0.61	0.18	1.40 ; 1.11 ; 1.18	0.04 ; 0.06	0.01 - 3.5

* Cadmium (Cd) < LQ = 0,1 ng/m³

Tableau 15 : Concentrations moyennes des métaux entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs de l'INERIS

5.3.2. Campagnes dans les rames

☐ Concentrations moyennes

Des mesures des métaux dans les rames pendant **1h30 à 2h** de prélèvement (**2 allers-retours pour la ligne 1 / 1 aller-retour pour la ligne 2**) à l'aide d'un préleveur bas volume portatif, ont été réalisées. Les campagnes de mesures se sont déroulées, du **25 janvier au 12 février 2021** (3 semaines), durant les heures de pointes (Tableau 16).

	Ligne 1		Ligne 2	
	Matin/Après-Midi	Heures	Matin/Après-Midi	Heures
25/01/2021			Après-Midi	17h-19h
26/01/2021	Après-Midi	17h-18h30		
27/01/2021			Après-Midi	17h-19h
28/01/2021			Après-Midi	17h-19h

29/01/2021	Matin	7h15-8h45		
30/01/2021	Week-end			
31/01/2021	Week-end			
01/02/2021	Matin	7h-8h30		
02/02/2021			Matin	7h-9h
03/02/2021	Après-Midi	17h-18h30		
04/02/2021			Matin	7h-9h
05/02/2021	Matin	7h-8h30		
06/02/2021	Week-end			
07/02/2021	Week-end			
08/02/2021	Matin	7h15-8h45	Après-Midi	16h-18h
09/02/2021	Après-Midi	16h-18h		
10/02/2021			Matin / Après-Midi	7h-9h / 16h -18h
11/02/2021	Après-Midi	16h-17h30	Matin	7h-9h
12/02/2021	Après-Midi	17h-18h30		

Tableau 16 : Heures et dates des campagnes de mesures dans les rames

Les concentrations moyennes mesurées en métaux sont présentées dans les tableaux suivants. Le Tableau 17 présente les concentrations en métaux obtenus selon la ligne et le type de rames. Les concentrations en cadmium et en plomb se situent en dessous de la limite de quantification (3.5 ng/m³). Leurs concentrations n'ont pas pu être exploitées.

Concentrations mesurées dans les rames en µg/m ³ (C _{EFS})		As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn	
Ligne 1	VAL208	26/01/2021 AM	0.008	2.1	<LQ	0.107	3.1	26	0.244	0.054	<LQ	0.33	0.71
		29/01/2021 M	0.005	2.0	<LQ	0.071	2.5	22	0.192	0.048	<LQ	0.24	0.32
		01/02/2021 M	<LQ	1.0	<LQ	0.104	1.5	13	0.133	0.042	<LQ	0.13	0.41
		03/02/2021 AM	<LQ	0.7	<LQ	0.149	1.9	23	0.203	0.040	<LQ	0.22	0.52
		05/02/2021 M	<LQ	2.6	<LQ	0.018	3.2	29	0.252	0.047	<LQ	0.35	0.42
		08/02/2021 M	<LQ	1.6	<LQ	<LQ	2.1	18	0.168	0.032	<LQ	0.22	0.34
		09/02/2021 AM	<LQ	1.6	<LQ	0.009	3.0	165	0.224	0.023	<LQ	0.23	0.48
		11/02/2021 AM	<LQ	5.4	<LQ	0.240	6.5	47	0.407	0.084	<LQ	0.84	0.90
Ligne 2	VAL206	12/02/2021 AM	<LQ	5.0	<LQ	0.020	6.3	48	0.225	0.045	<LQ	0.73	0.86
		25/01/2021 AM	<LQ	0.8	<LQ	0.107	2.6	34	0.293	0.041	<LQ	0.28	0.44
		27/01/2021 AM	<LQ	0.8	<LQ	0.100	2.6	33	0.288	<LQ	<LQ	0.31	0.46
		28/01/2021 AM	<LQ	0.6	<LQ	0.141	1.9	23	0.208	0.039	<LQ	0.21	0.44
	VAL208	10/02/2021 M	<LQ	0.7	<LQ	0.093	2.4	31	0.270	0.025	<LQ	0.28	0.56
		10/02/2021 AM	0.004	0.8	<LQ	0.082	2.5	32	0.274	0.012	<LQ	0.30	0.55
		11/02/2021 M	0.004	0.6	<LQ	0.121	2.0	25	0.227	0.024	<LQ	0.22	0.59
		02/02/2021 M	<LQ	0.6	<LQ	0.120	2.0	26	0.231	0.033	<LQ	0.24	0.39
VAL208	04/02/2021 M	<LQ	0.8	<LQ	0.077	2.4	32	0.268	0.016	<LQ	0.28	0.37	
	08/02/2021 AM	0.004	0.6	<LQ	0.101	2.3	30	0.256	0.129	<LQ	0.26	0.49	

Tableau 17 : Concentrations des métaux dans les rames de la ligne 1 et la ligne 2

Concentrations moyennes (C _{filtre}) en µg/m ³	PM10	PM2.5	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
Ligne 1	41.0	30.7	0.003	2.1	<LQ	0.07	2.9	39	0.20	0.04	<LQ	0.32	0.49
Ligne 2	31.5	23.7	0.002	0.7	<LQ	0.10	2.3	29	0.25	0.04	<LQ	0.26	0.45
Ligne 2 (Val 206)	32.1	24.4	0.002	0.7	<LQ	0.10	2.3	29.1	0.25	0.02	<LQ	0.26	0.49
Ligne 2 (Val 208)	30.8	22.9	0.003	0.7	<LQ	0.10	2.2	28.9	0.25	0.06	<LQ	0.26	0.41

Concentrations moyennes (C_{EFS}) en $\mu\text{g}/\text{m}^3$	PM10	PM2.5	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
Ligne 1	46.6	35.0	0.003	2.4	<LQ	0.080	3.3	43.4	0.228	0.046	<LQ	0.37	0.55
Ligne 2	32.1	24.2	0.002	0.7	<LQ	0.104	2.3	29.6	0.256	0.041	<LQ	0.27	0.46
Ligne 2 (Val 206)	33	25.1	0.002	0.73	<LQ	0.11	2.3	29.9	0.26	0.2	<LQ	0.27	0.5
Ligne 2 (Val 208)	31.2	23.2	0.003	0.67	<LQ	0.1	2.2	29.3	0.25	0.6	<LQ	0.26	0.4

* Cadmium (Cd) & Plomb (Pb) < LQ = 3,5 ng/m³ / AM : Après-Midi & M : Matin

Tableau 18 : Concentrations moyennes des particules et des métaux dans les rames de la ligne 1 et la ligne 2 (C_{filtre} , C_{EFS})

Le Tableau 19 présente les concentrations moyennes en particules et en métaux selon la ligne, sur le parcours complet (C_{filtre}) et sur le parcours souterrain (C_{EFS}). D'après le tableau, les concentrations moyennes en **métaux** dans la **ligne 1** sur la partie souterraine sont **plus élevées** que dans la ligne 2, à l'exception du Chrome et du Manganèse. Il n'y a pas de différence notable entre les deux types de rames (VAL 206 et VAL 208) utilisés dans la ligne 2 (Annexe 9) pour la partie souterraine.

□ Contribution relative des métaux

La répartition moyenne mesurée en métaux dans les rames est présentée dans la Figure 6.

Tout comme pour les quais, le **fer** domine également dans les rames (**88% pour la ligne 2 et 86% pour la ligne 1**). Suivi du **cuivre** et du **baryum** (6.6% et 4.8% pour la ligne 1 et 6.9% et 2.1% pour la ligne 2).

En comparant les deux lignes de métro, **une plus grande proportion de baryum** est observée sur la **ligne 1**. La présence du baryum est près de 2 fois plus élevée sur la ligne 1 (5% contre 2%).

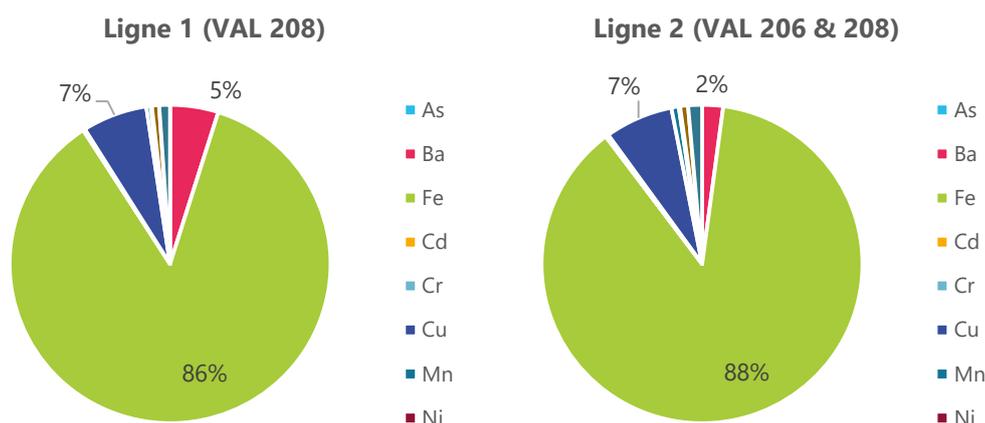


Figure 6 : Contribution relative de chaque métal dans l'ensemble des métaux dans les rames de métro

Tableau 19 : Proportions de chaque métal dans l'ensemble dans les rames de métro

Proportions (%) - Ligne	As	Ba	Fe	Cd	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zinc
L1	0.006%	4.8%	86%	0.0035%	0.158%	6.6%	0.45%	0.092%	0.0035%	0.73%	1.09%
L2	0.007%	2.1%	88%	0.0052%	0.310%	6.9%	0.76%	0.105%	0.0052%	0.79%	1.40%

☐ Comparaison avec d'autres campagnes de mesure

Le Tableau 20 compare les concentrations moyennes en métaux de la campagne de 2021 à la campagne de 2021 le métro de Marseille (seule campagne disponible sur le même protocole pour comparer).

Seuls les résultats en cuivre et fer peuvent être comparés de manière absolue car supérieurs aux limites de quantification des 2 campagnes.

On constate que pour le cuivre comme pour le fer, les concentrations moyennes dans les rames du métro lillois sont supérieures à celles du métro de Marseille (+25.6% pour le cuivre et +22.2% pour le fer).

Pour le baryum, sur la base des limites de quantification sur la campagne de Marseille, nous constatons que les concentrations moyennes dans les rames du métro lillois sont supérieures à celles du métro de Marseille.

Concentrations moyennes (C _{EFS}) en ng/m ³	As	Ba	Cd	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
Ligne 1 Lille	3	2400	<3.5	80	3300	43400	228	46	<3.5	370	550
Ligne 2 Lille	2	700	<3.5	104	2300	29600	256	41	<3.5	270	460
Ligne 1 Marseille	<16.6	<414	<16.6	<83	1917	24711	<414	<414	<0.04	<41	<3310
Ligne 2 Marseille	<16.6	<414	<16.6	<83	2411	33703	<414	<414	<0.04	<41	<3310

Tableau 20 : Concentrations moyennes des métaux dans les rames pour les lignes 1 et 2 (C_{EFS}) du métro lillois et sur Marseille

* <X.X correspond à un résultat inférieur à la limite de quantification de la méthode.

5.3.3. Comparaison des mesures entre les quais et les rames

☐ Comparaison des concentrations

Le Tableau 21 regroupe les concentrations moyennes des métaux mesurés dans les rames et sur les quais. Une différence est observée entre les concentrations moyennes des métaux mesurés sur les quais et dans les rames. Cette différence est caractérisée par **un facteur**, calculé à partir de la moyenne des trois concentrations des quais par rapport par la moyenne des deux concentrations des rames.

Les concentrations sont **plus élevées dans les rames** que sur les quais. Les **facteurs** calculés vont de **0.6** jusqu'à **5.1**. Le plus petit facteur est détenu pour l'arsenic et **le plus grand** par l'**antimoine**. Les niveaux de baryum sont 0.7 fois plus faibles dans les rames que sur les quais cela peut s'expliquer par les résultats sur Mairie d'Hellemmes.

Concentration moyenne des métaux (en µg/m ³)	As	Ba	Cr	Cu	Fe	Mn	Ni	Sb	Zn
Ligne 1	0.003	2.4	0.090	3.3	43	0.23	0.046	0.37	0.55
Ligne 2	0.002	0.7	0.105	2.3	30	0.26	0.040	0.27	0.48
Gare Lille Flandres	0.003	0.7	0.045	1.5	20.3	0.20	0.018	0.09	0.21
Mairie d'Hellemmes	0.007	5.1	0.036	5.8	35.2	0.29	0.031	0.06	0.61
Porte des Postes	0.003	0.6	0.025	1.1	9	0.08	0.015	0.04	0.18
Facteur entre les rames et les quais	0.6	0.7	2.8	1.0	1.7	1.3	2.0	5.1	1.5

*Campagne sur les quais : Cadmium (Cd) LQ < 0.1 ng/m³

**Campagne dans les rames : Cadmium (Cd) & Plomb (Pb) < LQ = 3,5 ng/m³

Tableau 21 : Comparaison des concentrations des métaux entre les quais et les rames

☐ Comparaison des coefficients de détermination

Le coefficient de détermination (R^2 , soit le carré du coefficient de corrélation linéaire r), varie entre 0 et 1, est un indicateur qui permet de juger la qualité d'une régression linéaire simple.

En appliquant ce coefficient aux concentrations des métaux, celui-ci reflète l'existence d'une source commune entre les deux métaux. Plus le coefficient entre les deux métaux est proche de 1, plus la probabilité d'une source entre les deux métaux existe. Alors que si la valeur tend vers 0 plus la probabilité que le métal ait une source indépendante de l'autre est grande.

Dans tous les tableaux, les coefficients de détermination entre le **baryum** et le **cuivre sont au-dessus de 0,95** (sauf ligne 2 = 0.85). La source du cuivre est le système d'alimentation électrique et la source du baryum est le système de freinage. Cela montre que l'utilisation du système de freinage et du système d'alimentation électrique sont étroitement liés.

Les coefficients entre le **fer** et le **manganèse sont au-dessus de 0,95** sur les trois quais et dans la ligne 2.

Enfin, les coefficients de détermination du plomb ne sont à ceux des autres métaux au niveau des quais.

Gare Lille Flandres	As	Ba	Fe	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
As		0.69	0.67	0.66	0.72	0.61	0.62	0.01	0.09	0.73
Ba			0.58	0.67	0.97	0.56	0.49	0.08	0.14	0.61
Fe				0.88	0.68	0.98	0.98	0.02	0.30	0.86
Cr					0.81	0.87	0.84	0.00	0.47	0.89
Cu						0.66	0.59	0.07	0.24	0.72
Mn							0.97	0.03	0.37	0.82
Ni								0.05	0.30	0.85
Pb									0.00	0.01
Sb										0.31
Zn										

Mairie d'Hellemmes	As	Ba	Fe	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
As		0.12	0.33	0.63	0.12	0.40	0.67	0.38	0.18	0.32
Ba			0.87	0.15	0.98	0.79	0.14	0.07	0.00	0.88

Fe			0.42	0.84	0.96	0.43	0.02	0.01	0.87
Cr				0.14	0.51	0.95	0.04	0.09	0.30
Cu					0.79	0.13	0.05	0.01	0.91
Mn						0.52	0.00	0.01	0.87
Ni							0.06	0.14	0.28
Pb								0.19	0.00
Sb									0.00
Zn									

Porte des Postes	As	Ba	Fe	Cr	Cu	Mn	Ni	Pb	Sb	Zn
As		0.77	0.92	0.86	0.89	0.92	0.90	0.06	0.12	0.84
Ba			0.88	0.66	0.96	0.83	0.75	0.00	0.06	0.78
Fe				0.91	0.97	0.99	0.94	0.01	0.01	0.90
Cr					0.81	0.93	0.93	0.03	0.00	0.82
Cu						0.95	0.87	0.01	0.05	0.88
Mn							0.93	0.02	0.02	0.93
Ni								0.00	0.00	0.84
Pb									0.28	0.00
Sb										0.06
Zn										

Les coefficients de détermination > 0,80 sont indiqués en vert

Les coefficients détermination < 0.2 sont indiqués en rouge

Pour les quais, les concentrations en cadmium sont en dessous de la LQ (0,0001 µg/m³)

Tableau 22 : Coefficients de détermination des métaux sur les quais

Ligne 1	Ba	Fe	Cr	Cu	Mn	Ni	Sb	Zn
Ba		0.90	0.04	0.96	0.56	0.47	0.95	0.64
Fe			0.01	0.96	0.58	0.40	0.95	0.75
Cr				0.04	0.30	0.58	0.11	0.16
Cu					0.59	0.39	0.96	0.76
Mn						0.65	0.65	0.51
Ni							0.52	0.40
Sb								0.77
Zn								

Ligne 2	Ba	Fe	Cr	Cu	Mn	Ni	Sb	Zn
Ba		0.84	0.41	0.85	0.83	0.08	0.74	0.01
Fe			0.64	0.98	0.98	0.00	0.90	0.00
Cr				0.57	0.57	0.02	0.71	0.00
Cu					0.98	0.00	0.91	0.00
Mn						0.00	0.90	0.00
Ni							0.01	0.00
Sb								0.00
Zn								

Les coefficients de détermination > 0,80 sont indiqués en vert

Les coefficients détermination < 0.2 sont indiqués en rouge

Pour les rames, les concentrations en arsenic, plomb et cadmium sont en dessous de la LQ (0,0035 µg/m³)

Tableau 23 : Coefficients de corrélations des métaux dans les rames

Les concentrations moyennes en métaux sur les 3 quais investigués du métro lillois sont globalement inférieures à celles des campagnes de mesure sur Marseille (2021) et Lyon (2020-2021).

La station Mairie d'Hellemmes est plus impactée par la pollution des métaux.

La ligne 1 est plus impactée par la pollution des métaux que la ligne 2.

Les concentrations moyennes en fer, cuivre et baryum dans les rames des 2 lignes du métro lillois sont supérieures à celles des campagnes de mesure sur Marseille (2021).

Les métaux sont plus élevés dans les rames que sur les quais.

Le fer est le métal le plus présent (75-88%), suivi du cuivre et du baryum pour toutes les campagnes (quais et rames).

Les sources principales de particules en fer sont liées aux phénomènes de friction (principalement contact roue-frein). L'origine du cuivre peut être liée au système d'alimentation électrique et le baryum peut être lié au système de freinage.

5.4. Granulométrie des particules ultrafines au quai Gare Lille Flandres

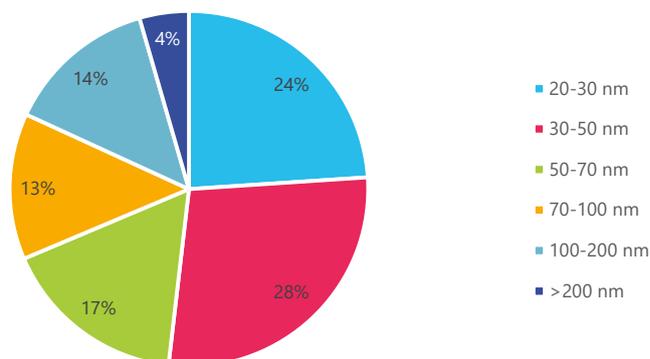
5.4.1. Concentration des PUF

Le granulomètre de 20nm à 1µm a été installé à la station Gare Lille Flandres, pendant toute la période de campagne de mesures (du 12 au 28 janvier 2021), permettant la mesure des fractions de 20 nm à 1000 nm. Six classes de particules ultrafines ont été mesurées : 20-30 nm, 30-50 nm, 50-70nm, 70-100 nm, 100-200 nm et 200-1000 nm.

Sur l'ensemble de la gamme de mesure du granulomètre, ce sont les particules les plus petites (entre 20 et 50 nm) qui sont les plus nombreuses. **52% des particules comptées ont une taille comprise entre 20 et 50 nm.**

Les particules ultrafines mesurées à la station Lille Leeds (air extérieur typologie proximité automobile) montrent **une répartition granulométrique très similaire** que celle de l'air intérieur à la station Gare Lille Flandres (24% : 20-30 nm ; 28% : 30-50 nm ; 17% : 50-70nm ; 13% : 70-100 nm ; 14% : 100-200 nm et 4% : 200-1000 nm).

Répartition granulométrique des particules ultrafines (Gare Lille Flandres)



Répartition granulométrique des particules ultrafines extérieures (Lille Leeds)

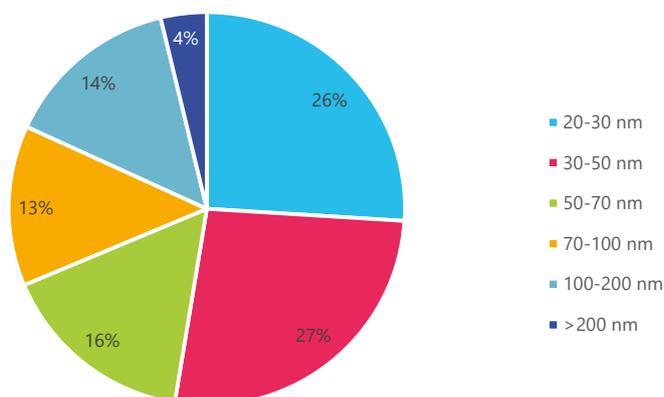


Figure 7 : Répartition granulométrique des particules ultrafines – Gare Lille Flandres (métro) et Lille Leeds (extérieur)

Le Tableau 24 montre que la concentration moyenne des PUF totales (20 – 1000 nm) de **l'air extérieur est 20% plus importante qu'en air intérieur** (métro). En revanche, la valeur maximale (40 121 contre 21 046 p/cm³) mesurée dans la station Gare Lille Flandres est 2 fois plus importante qu'à la station Lille Leeds (air extérieur).

	PUF totales en moyenne horaire (métro) (p/cm ³)	PUF totales en moyenne horaire (extérieur) (p/cm ³)
Moyenne	5045	6447
Médiane	4542	5779
Min - Max	529-40121	248-21046

Tableau 24 : Statistiques des particules ultrafines en moyenne horaire (Gare Lille Flandres et Lille Leeds)

La Figure 8 intègre l'ensemble de la période de mesure, montrant l'évolution du nombre de particules ultrafines de diamètre compris entre 20 -1000 nm selon le jour. Contrairement aux PM qui montrent des évolutions hebdomadaires régulières, les particules sont plus nombreuses sur certaines journées.

Une moyenne de 5045 particules/cm³ a été calculée sur la durée totale de la campagne de mesures. Sept journées ont dépassé cette concentration moyenne de 5045 particules/cm³ : Mercredi 13, Jeudi 14, vendredi 15, lundi 18, mardi 19, vendredi 22 et mardi 26 janvier 2021.

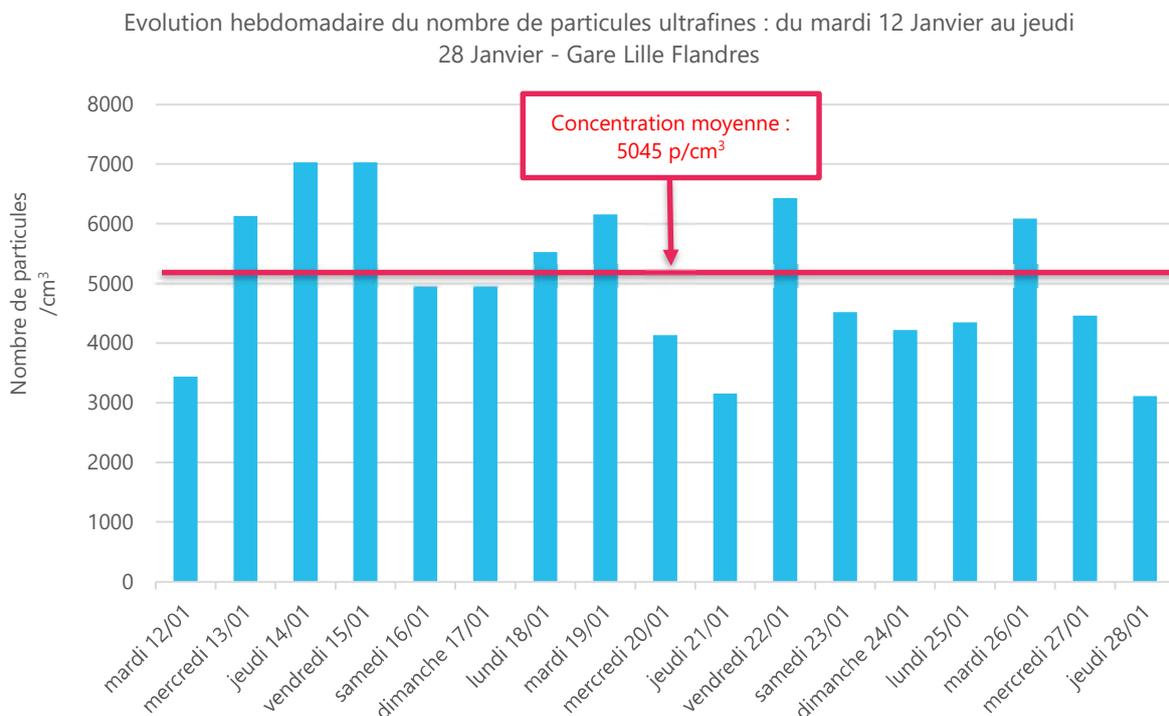


Figure 8 : Evolution des moyennes journalières des particules ultrafines durant la campagne de mesures

5.4.2. Profil journalier

Le profil journalier des particules ultrafines mesurées sur le quai Gare Lille Flandres a été établi sur la durée globale de la campagne de mesures, à savoir du mardi 12 au jeudi 28 janvier. La concentration moyenne à 4h du matin est plus élevée (> 8000 p/cm³) que les autres heures. **Les concentrations entre 21h et 4h du matin** sont généralement **plus élevées** que les concentrations mesurées dans la journée.

Evolution journalière du nombre de particules ultrafines Gare Lille Flandres - du 12 au 28 Janvier 2021

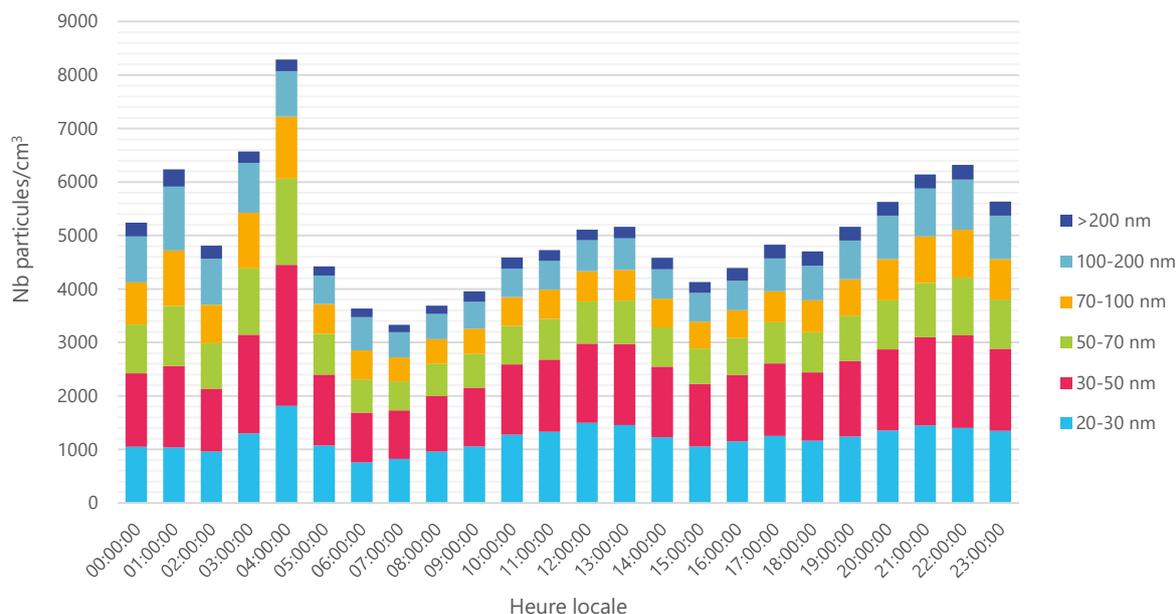


Figure 9 : Evolution journalière des particules ultrafines à la station Gare Lille Flandres

La création du profil journalier pour chaque jour de la campagne de mesures a permis d'identifier les journées ayant un impact significatif, de 1h jusqu'à 6h. Les journées du **jeudi 14**, **mardi 19**, **vendredi 22** et **mardi 26 janvier** ont été identifiées. Ces pics de particules ultrafines sont probablement causés par des travaux d'essais et d'entretiens réalisés durant la période de fermeture du métro. La concentration peut monter jusqu'à **40 000 p/cm³ en moyenne horaire**.

Ces profils journaliers montrent bien l'impact des travaux de nuit :

- Jeudi 14, mardi 19 et vendredi 22 janvier de 1h à 5h
- Mardi 26 janvier à 6h uniquement

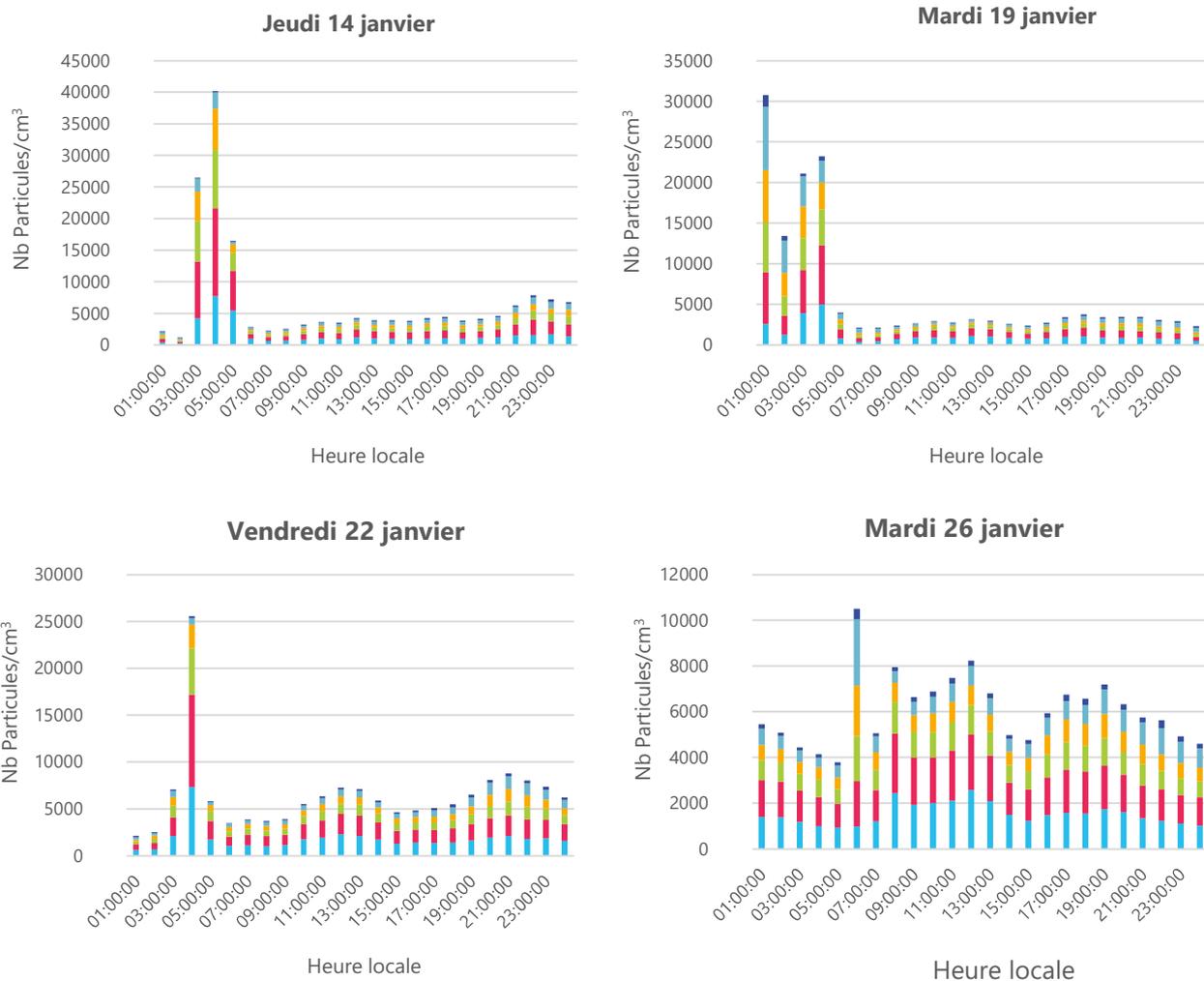
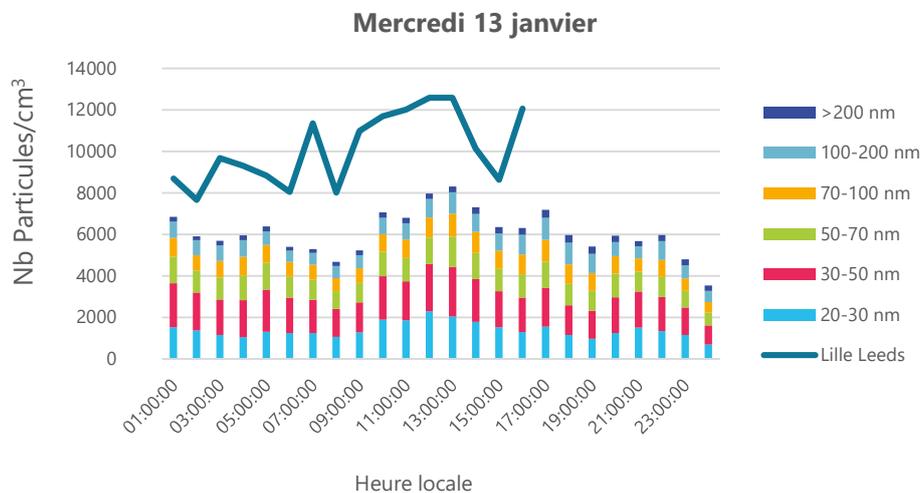


Figure 10 : Evolution journalière des particules ultrafines à la station Gare Lille Flandres (jours de travaux, échelles différentes)

Mercredi 13, vendredi 15 et lundi 18 janvier montrent une concentration relativement importante toute la journée (moyenne > 5000 p/cm³), ces journées sont probablement impactées par les particules ultrafines extérieures (Figure 11).



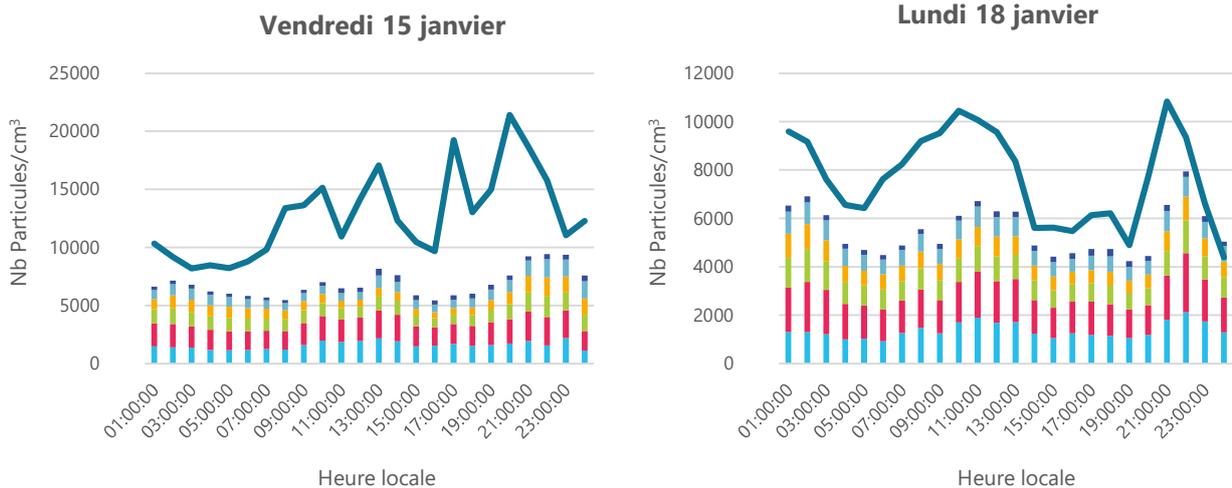
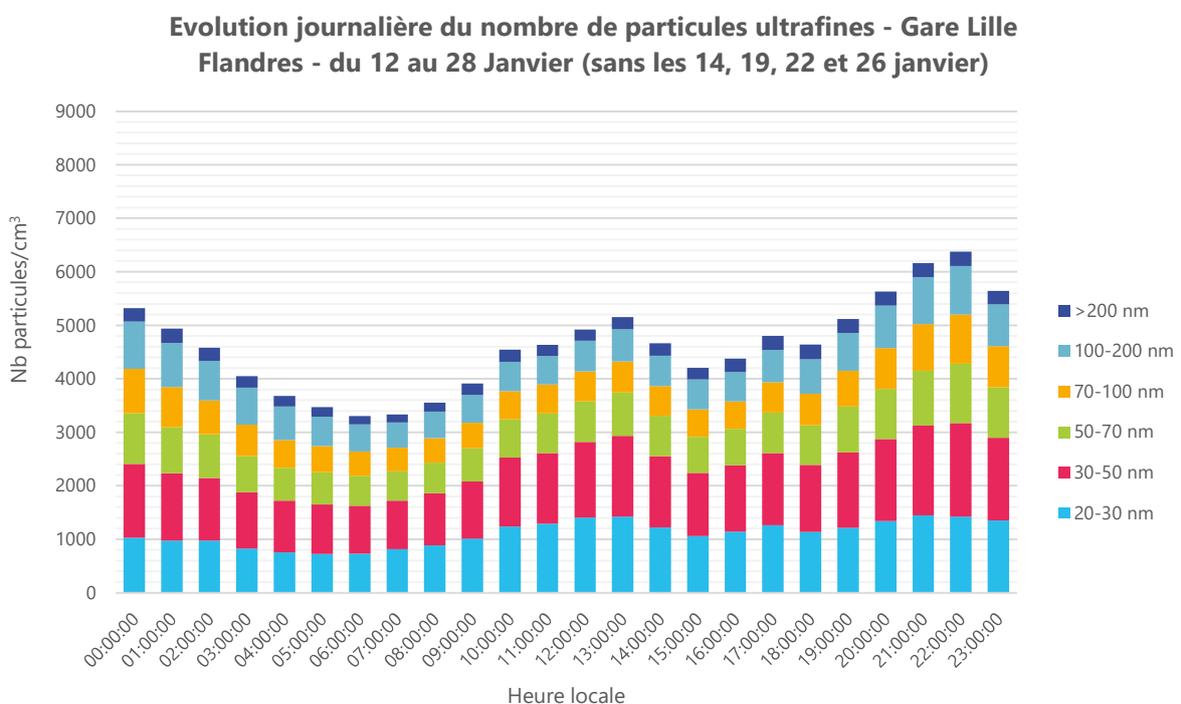


Figure 11 : Evolution journalière des particules ultrafines à la station Gare Lille Flandres (concentration importante hors travaux)

Ainsi, le profil journalier moyen des PUF sans ces journées de travaux est établi. Le profil journalier des particules ultrafines mesurées à la station Lille Leeds (air extérieur) a été établi pour la même période, à savoir du mardi 12 au jeudi 28 janvier et sans les jours de travaux.

En général, les PUF sont plus élevées à l'extérieur que dans la station de métro.

En comparant les deux profils, la variation journalière est très similaire. Une augmentation des particules ultrafines débute à partir de 7h. Durant la journée, deux pics sont observés : 12-13h et 21-22h. Enfin, une chute des concentrations en particules ultrafines est observée de 1h jusqu'à 6h du matin.



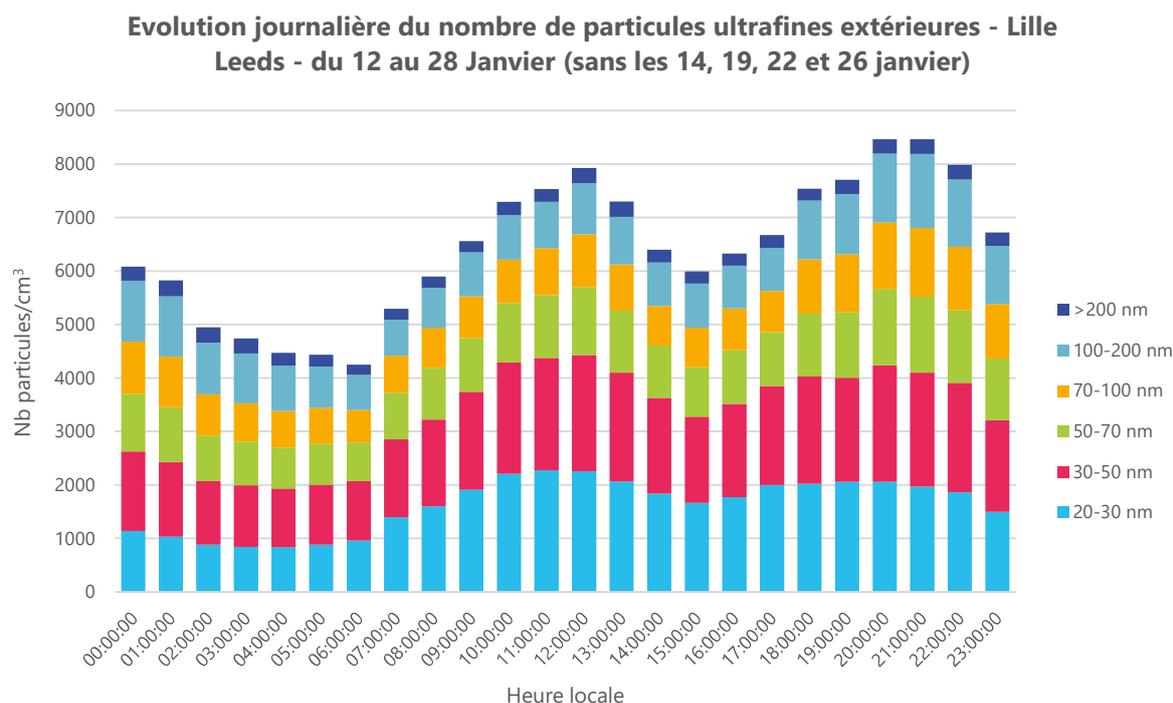


Figure 12 : Evolutions journalières des particules ultrafines au quai Gare Lille Flandres (sans les travaux) et à la station fixe extérieur – Lille Leeds

Les particules ultrafines mesurées sur le quai de Gare Lille Flandres sont environ 20% moins importantes que celles mesurées en air extérieur en proximité automobile.

Les interventions de nuit (travaux d'essais et d'entretiens) pourraient être à l'origine des concentrations de PUF très élevées observées (jusqu'à 40 000 p/cm³ en moyenne horaire), en période de fermeture du métro.

Profil journalier similaire sur le quai de Gare Lille Flandres qu'en air extérieur en proximité automobile.

5.5. Black Carbon sur le Quai Gare Lille Flandres

5.5.1. Concentrations moyennes

La concentration du Black Carbon (BC) (moyenne horaire) sur le quai Gare Lille Flandres (air intérieur) a été comparée aux mesures des 2 stations fixes (en air ambiant) : Lille Fives (station urbaine) et Lille Leeds (station proximité automobile), pour différentes périodes (semaine et week-end).

Le BC mesuré à la Gare Lille Flandres est environ **4 fois plus élevé** qu'aux deux stations fixes en air ambiant ($4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ contre $1.2 \mu\text{g}/\text{m}^3$). La concentration en BC mesuré **en semaine** ($5.04 \mu\text{g}/\text{m}^3$) est **2 fois plus élevée** qu'en **week-end** ($2.8 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dans la station de métro. En revanche, la différence entre la semaine et le week-end est moins remarquable pour les BC en air extérieur.

Le maximum horaire ($17 \mu\text{g}/\text{m}^3$) dans la station métro est observé le 19 janvier à 2h du matin (hors période d'ouverture). Il est plus élevé que le maximum rencontré sur les stations fixes ($5-6 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Ce maximum est probablement provoqué par des travaux, qui ont eu lieu durant la nuit du mardi 19 janvier.

Black Carbon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en moyenne horaire			
Gare Lille Flandres	Période totale	Semaine	Week-end
Moyenne	4.49	5.04	2.78
Médiane	3.87	4.70	2.81
Max	17.01	17.01	10.31
Min	0.10	0.10	0.34

Black Carbon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en moyenne horaire			
Lille Fives	Période totale	Semaine	Week-end
Moyenne	1.17	1.22	1.03
Médiane	0.91	0.90	0.95
Max	4.88	4.88	2.84
Min	0.06	0.06	0.29

Black Carbon ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) en moyenne horaire			
Lille Leeds	Période totale	Semaine	Week-end
Moyenne	1.17	1.15	1.21
Médiane	0.92	0.88	1.05
Max	6.05	6.04	4.39
Min	0.09	0.09	0.22

Tableau 25 : Concentrations en BC de la station Gare Lille Flandres, Lille Fives (air extérieur) et Lille Leeds (air extérieur)

Le Guide de l'INERIS indique une échelle de concentrations moyennes en BC allant de **2 à $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$** (relevés dans les autres EFS, sur des pas de temps différents) au niveau des quais. Les concentrations moyennes pour la période totale et en semaine (**$4.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$** , respectivement) sont proches de la valeur maximale observée dans le guide ($5.0 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les Figures 13 et 14 représentent les profils journaliers (semaine et week-end) du BC comparés aux PM2.5. L'axe des ordonnées de gauche correspond à l'échelle des concentrations en BC et celle de droite, à l'échelle des concentrations en PM2.5. L'axe des abscisses représente l'heure locale, à laquelle les concentrations des polluants ont été mesurés.

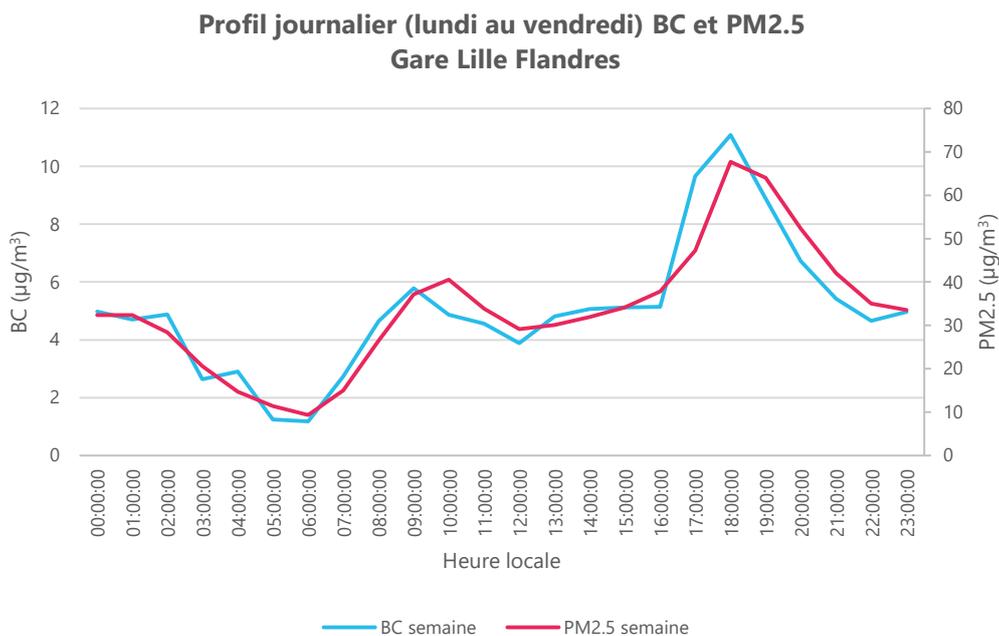


Figure 13 : Profils moyens journaliers en semaine des concentrations en BC et en PM2.5 de la station Gare Lille Flandres

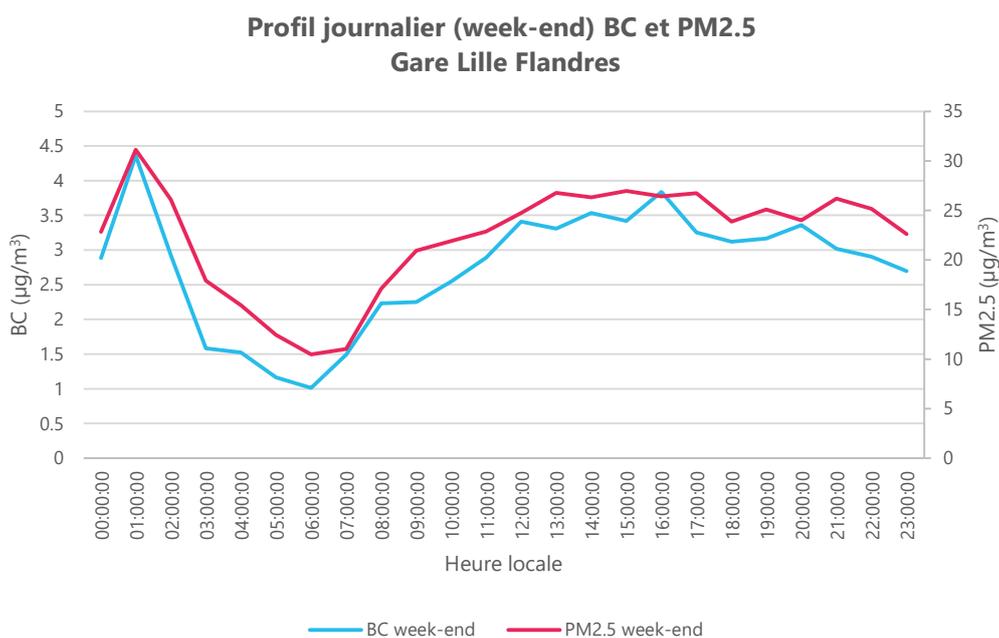


Figure 14 : Profils moyens journaliers en week-end des concentrations en BC et en PM2.5 de la station Gare Lille Flandres

Les profils journaliers du BC (semaine et week-end) présentent des variations similaires par rapport aux profils journaliers des PM2.5. Il faut noter que les profils journaliers des PM2.5 sont également, similaires aux PM10. Donc, les profils journaliers du BC possèdent les mêmes variations que les profils journaliers des PM10.

En semaine, la période d'ouverture (6h du matin) et les 2 périodes d'affluences (8h-9h et 17h-18h) font augmenter significativement les concentrations en BC et en PM2.5. Les pics de BC observés à 2h et 4 h du matin ont été provoqués par des travaux, réalisés durant la nuit du mardi 19 janvier.

En weekend, les concentrations des deux polluants augmentent à partir de 6h jusqu'à 12h. Ensuite, une stagnation est observée, à partir de 12h (autour de 3.5-4 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les BC et autour de 27 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2.5) jusqu'à 20h. Le pic important à 1h dans le profil week-end est dû au pic observé le samedi 23/01 à 1 h (10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ BC et 63 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ PM2.5). Enfin, une baisse significative est observée à partir de 1h jusqu'à 6h du matin.

Selon l'INERIS, les particules des BC proviendraient du freinage des métros. Cette hypothèse tend à se confirmer avec la corrélation entre le BC et les particules. Les périodes de pointes en semaine sont reflétées par les deux pics (8h-9h et 17h-18h) des concentrations des trois polluants. Les nombres de rames et d'usagers sont plus importants durant ces périodes. Le nombre de rames plus élevé favorise une hausse des émissions d'éléments (métaux, Black Carbon, particules). Le BC, faisant partie des PM, est également remis en suspension par le piétinement provoqué par le passage des usagers. Ces deux facteurs expliquent les concentrations élevées en BC durant les horaires de pointe.

Comparaison avec les profils extérieures en BC

Les profils journaliers en semaine et en week-end du BC ont été comparés à ceux du BC mesuré sur les deux stations fixes : Lille Fives (station urbaine) et Lille Leeds (station proximité automobile). Les niveaux du BC dans la station de métro sont beaucoup plus importants que ceux en air extérieur, notamment aux heures de pointe en semaine. A 9h du matin, la concentration du BC est 3 à 5 fois plus élevée que les deux stations fixes. A 18h, la concentration en BC est à 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est 6 fois plus important que la concentration en air ambiant. En week-end, la différence des niveaux est moins importante qu'en semaine avec un facteur d'environ 2 à 4 fois.

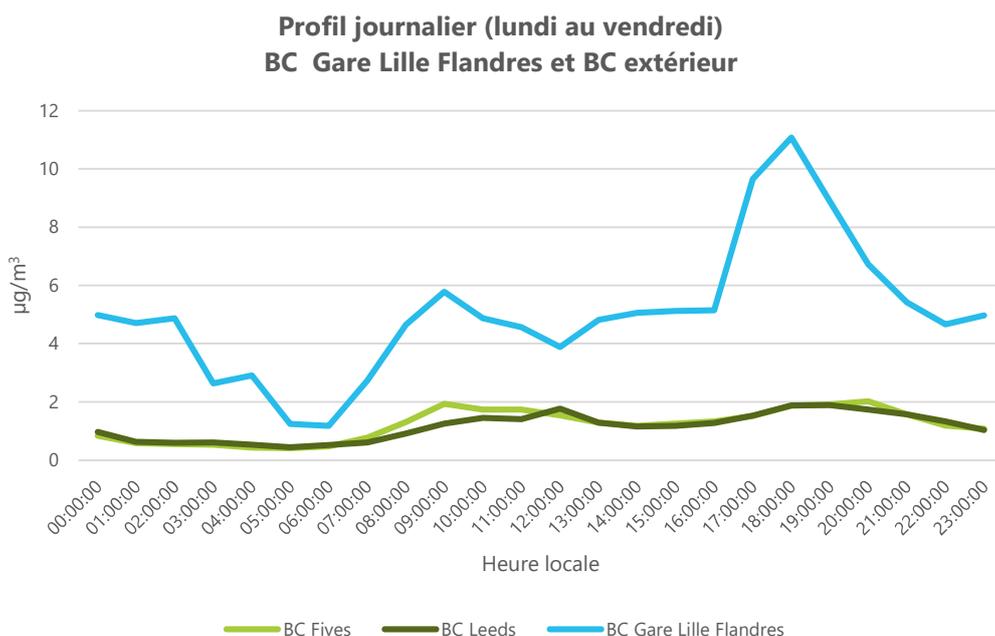


Figure 15 : Profils moyens journaliers en semaine des concentrations en BC de la station Gare Lille Flandres et des stations fixes – Lille Fives & Lille Leeds

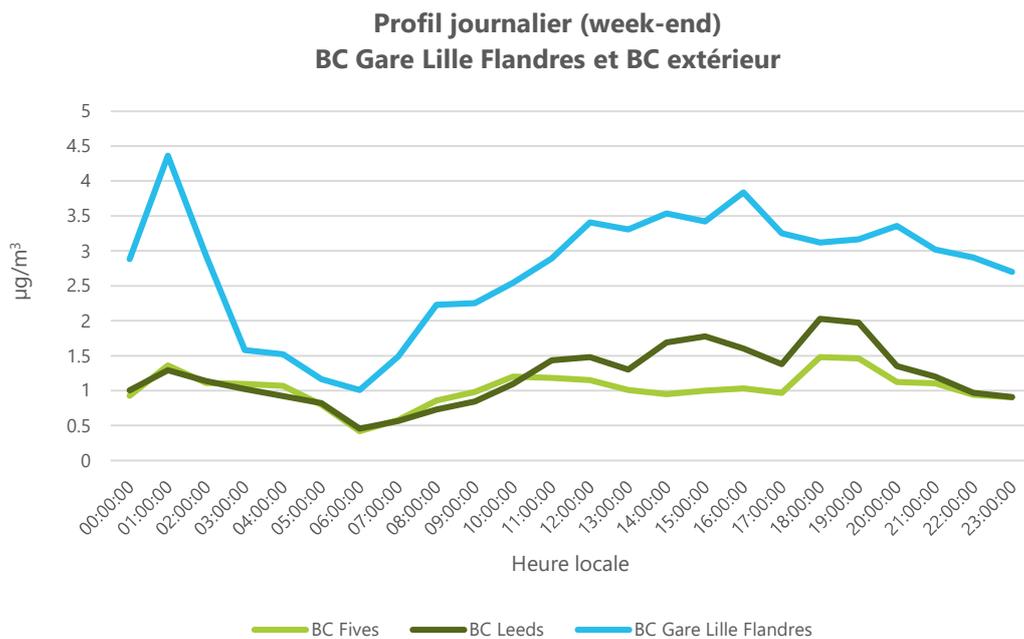


Figure 16 : Profils moyens journaliers en week-end des concentrations en BC de la station Gare Lille Flandres et des stations fixes – Lille Fives & Lille Leeds

5.5.2. Profils hebdomadaires

Le graphique ci-dessous présente les profils hebdomadaires des concentrations en BC (histogramme) et en PM_{2.5} (courbe). L'axe des ordonnées de gauche correspond à l'échelle des concentrations en BC et celle de droite correspond à l'échelle des concentrations en PM_{2.5}. L'axe des abscisses représente les journées de la semaine.

Les profils hebdomadaires des concentrations en BC et en PM_{2.5} montrent les mêmes variations.

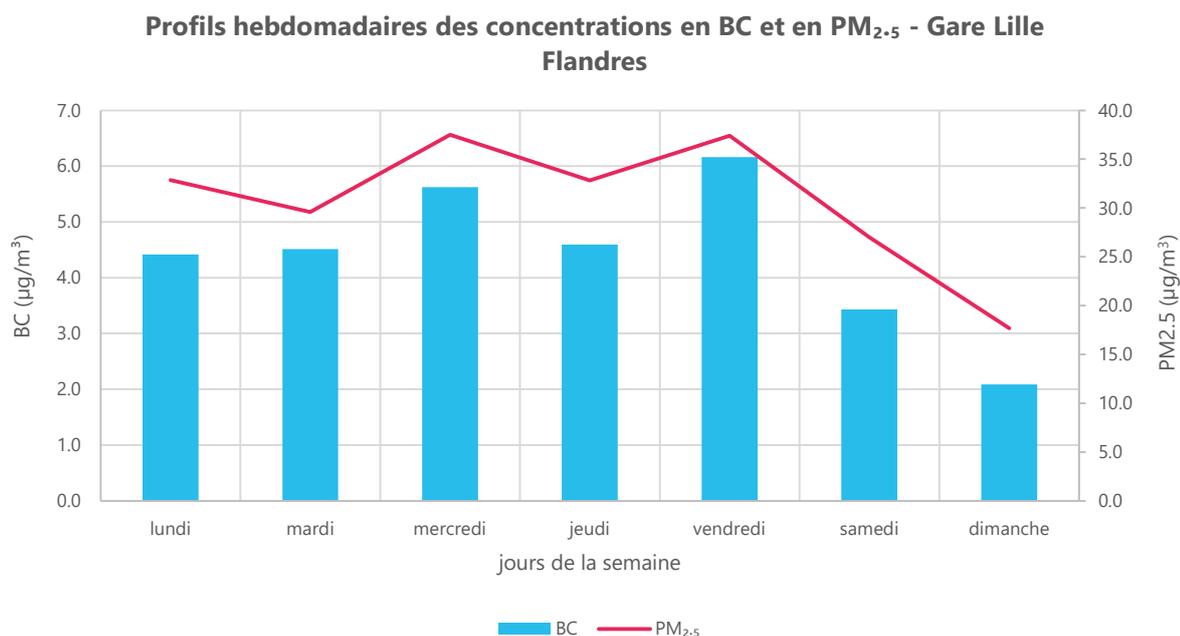


Figure 17 : Profils moyens hebdomadaires des concentrations en BC et PM_{2.5} de la station Gare Lille Flandres

Le BC provient principalement du freinage des métros.

- **La concentration en BC mesurée en semaine est 2 fois plus élevée qu'en week-end**
- **Le BC mesuré à la station Gare Lille Flandres est environ 4 fois plus élevé que celui en air extérieur.**

Les interventions de nuit (travaux d'essais et d'entretiens) pourraient être à l'origine des concentrations importantes de BC (17 µg/m³), en période de fermeture du métro.

5.6. Niveau de confinement : dioxyde de carbone (CO₂)

Dans cette partie, les résultats en dioxyde de carbone (CO₂) sont présentés pour la campagne de mesures sur les quais (5.6.1), la campagne dans les rames (5.6.2), et la comparaison entre les deux (5.6.3).

5.6.1. Campagne sur les quais

☐ Concentrations moyennes

Les concentrations données dans le tableau ci-dessous sont issues des données horaires, sur la totalité de la campagne de mesures, pour chacun des 3 quais investigués.

L'ensemble des données et tableaux demandés dans le guide INERIS est disponible en *Annexe 10*.

Toutes les données horaires	Quai GLF (en ppm)	Quai PDP* (en ppm)	Quai HEL* (en ppm)
Concentration moyenne	528	-	-
Maximum horaire	785 le 22/01/2021 à 19h	-	-

Heures de service ¹⁵ du métro	Quai GLF (en ppm)	Quai PDP (en ppm)	Quai HEL (en ppm)
Concentration moyenne	542	-	-
Maximum horaire	785 le 22/01/2021 à 19h	-	-

Tableau 26 : Concentrations moyennes et maximums horaires de CO₂ aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d'Hellemmes

* N.B. : En raison de problèmes techniques, perte des données de CO₂ pour les campagnes de mesures sur le quai de Porte des Postes du 1^{er}/02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h et sur le quai de Mairie d'Hellemmes du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h.

¹⁵ Heures de service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

Les concentrations moyennes en CO₂, relevées sur le quai de GLF, que ce soit sur la durée totale des mesures ou sur la période de fonctionnement du métro sont similaires et basses, avec des concentrations maximales horaires ne dépassant pas 800ppm. A noter également que les données quart-horaire sont toutes < 800ppm.

Il n'existe pas de valeur de référence en CO₂ pour les EFS. Le RSD (Règlement Sanitaire Départemental) recommande un seuil de 1 000 ppm (jusqu'à 1 300 ppm pour les locaux non-fumeurs).

A noter qu'en lien avec la situation sanitaire actuelle, dans le cadre des obligations réglementaires sur la qualité de l'air intérieur des ERP (Etablissements Recevant du Public) autres que les EFS (tels que les écoles, les crèches, les collèges, les lycées, etc.), la valeur engageant des actions correctives a été abaissée à 800 ppm de CO₂ (avis du HCSP datant d'avril 2021), avec port du masque.

☐ Comparaison à la campagne précédente et aux autres EFS

Le tableau ci-dessous compare les concentrations en dioxyde de carbone de la campagne 2021 à la campagne de 2010, aux campagnes dans les métros de Lyon (2020), Toulouse (2020) et Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Quai Lille Flandres (2010)	Quai Lille Flandres (2021)	Porte des Postes (2021)	Mairie d'Hellemmes (2021)	Lyon (2020)	Toulouse (2020) ¹⁶	Marseille (2021) ¹⁷	Autres EFS françaises - guide INERIS - (moyenne) (min-max)
CO ₂ (ppm)	- ¹⁸	542	-	-	-	E : 564 / - ML : 392 / -	R : 487 C : 506 P : 496	464 152-847

Tableau 27 : Concentrations moyennes de CO₂ entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

Globalement, les niveaux de confinement sur GLF sont du même ordre de grandeur que dans les autres EFS.

5.6.2. Campagnes dans les rames

☐ Concentrations moyennes

Les résultats pour les 2 lignes et les différents types de matériels roulants sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

Indice de confinement (CO ₂)	Ligne 1 (rames VAL 208)	Ligne 2 (rames VAL 206)	Ligne 2 (rames VAL 208)
Concentration moyenne (en ppm)	787	724	844

¹⁶ 1 seule période de mesures en 2020 pour chaque station : station Esquirol (E) : froide (6 au 7/01 et 22/01 au 05/03) ; station Mirail-Université (ML) : froide (6/01 au 24/02) ; pas de mesures en période chaude pour ces 2 stations

¹⁷ Campagne menée sur les stations Réformés (R), Castellane (C) et Périer (P)

¹⁸ Les paramètres de confort n'ont pu être évalués lors de la campagne de mesures en 2010, suite à plusieurs actes de vandalisme ayant entraîné la perte de données sur la durée de la campagne et en conséquence la non-représentativité des données sur l'ensemble de la campagne.

Concentration moyenne (en ppm)	Indice de confinement (CO ₂)
Ligne 1	787
Ligne 2	764

Tableau 28 : Concentrations moyennes, min et max horaires de CO₂ dans les rames et lignes du métro lillois

Le niveau de confinement dans les rames est du même ordre de grandeur entre la ligne 1 et la ligne 2.

On dépasse le seuil de recommandation en air intérieur du HCSP pour le VAL208 sur la ligne 2, mais on reste inférieur à la valeur de 1 000 ppm habituellement utilisée pour caractériser le confinement dans les environnements intérieurs.

☐ Comparaison aux autres EFS

Des mesures dans les rames du métro lillois ont eu lieu pour la 1^{ère} fois en 2021. Il n'existe ainsi pas de valeur de comparaison sur les 3 précédentes campagnes.

Le tableau ci-dessous compare les concentrations moyennes en dioxyde de carbone CO₂ de la campagne 2021 dans les rames à la campagne menée dans les rames du métro de Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Ligne 1	Ligne 2	Marseille (2021)	Autres EFS françaises - guide INERIS -
CO ₂ (ppm)	787	764	Ligne 1 : 680 Ligne 2 : 610	-

Tableau 29 : Concentrations moyennes de CO₂ sur les lignes 1 et 2 du métro lillois et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

Les niveaux de confinement mesurés dans les rames du métro lillois sont supérieurs à ceux rencontrés dans le métro Marseillais. Les concentrations moyennes en CO₂ restent cependant inférieures aux seuils recommandés par le RSD (1 000 ppm) et le HCSP (800 ppm) dans les environnements intérieurs.

5.6.3. Comparaison les mesures entre les quais et les rames

☐ Comparaison des concentrations

Le tableau ci-dessous, regroupe les concentrations moyennes en dioxyde de carbone CO₂ mesurées dans les rames et sur les quais. Une différence est observée entre ces concentrations, caractérisée par **un facteur**, calculé à partir de la moyenne des trois concentrations sur les quais rapportée à la moyenne des deux concentrations dans les rames.

	Quai GLF	Quai PDP	Quai HEL	Rames Ligne 1	Rames Ligne 2	Facteur entre les rames et les quais
Concentration moyenne en CO₂ (en ppm)	542	NC	NC	787	764	1.43

Tableau 30 : Comparaison des concentrations des CO₂ entre les quais et les rames

Les concentrations sont **1.43 fois plus élevées sur les rames que dans les quais**.

Cette différence de concentrations est expliquée par **le volume des rames plus petit que celui 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.

Les niveaux de confinement (concentration en dioxyde de carbone CO₂) mesurés dans les rames du métro lillois sont inférieurs aux seuils recommandés par le RSD de 1 000 ppm et du HCSP à 800 ppm dans les environnements intérieurs (avec port du masque).

Les rames sont néanmoins plus confinées que les quais (facteur de 1,43), en lien avec des volumes plus petits pour les usagers, conduisant à une accumulation du CO₂ plus rapide et en conséquence à l'augmentation des niveaux relevés.

5.7. Paramètres de confort : Température (T°) et Humidité Relative (HR)

Dans cette partie, les résultats des paramètres de confort (T° et HR) pour les usagers dans le métro sont présentés pour la campagne de mesures sur les quais (5.7.1), la campagne dans les rames (5.7.2), et la comparaison entre les deux (5.7.3).

5.7.1. Campagne sur les quais

☐ Concentrations moyennes

Les concentrations données dans le tableau ci-dessous sont issues des données horaires, sur la totalité de la campagne de mesures, pour chacun des 3 quais investigués.

L'ensemble des données et tableaux demandés dans le guide INERIS est disponible en *Annexe 11*.

Toutes les données horaires	Quai GLF		Quai PDP*		Quai HEL*	
	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)
Moyenne	17.4	46.2	8.8	-	15.1	-
Minimum horaire	13.9 le 24/01 à 7h	33.2 le 16/01 à 5h	2.8 le 13/02 à 4h	-	10.7 le 08/03 à 5h	-
Maximum horaire	19.2 le 28/01 à 20h	66.8 le 28/01 à 10h	14.5 le 5/02 à 18h		18.9 le 23/03 à 18h	

Heures de service ¹⁹ du métro	Quai GLF		Quai PDP*		Quai HEL*	
	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)	T° (°C)	HR (%)
Moyenne	17.5	47.4	8.8	-	15.3	-
Minimum horaire	13.9 le 24/01 à 7h	33.2 le 16/01 à 5h	2.9 le 10/02 à 5h et à 6h	-	10.7 le 08/03 à 5h	-
Maximum horaire	19.2 le 28/01 à 20h	66.8 le 28/01 à 10h	14.5 le 5/02 à 18h	-	18.9 le 23/03 à 18h	-

Tableau 31 : Concentrations moyennes et maximums horaires de T° et HR aux stations Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d'Hellemmes

* N.B. : En raison de problèmes techniques, perte des données d'humidité relative (HR) pour les campagnes de mesures sur le quai de Porte des Postes du 1^{er}/02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h et sur le quai de Mairie d'Hellemmes du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h.

Les températures sont plus basses sur le quai de PDP (profondeur de 9.57m), seule des 3 stations à se trouver à proximité d'une station aérienne (station « Porte d'Arras » sur la ligne 2). L'amplitude de température la plus importante entre le min et le max est ainsi observé sur cette station. Pour les 2 autres stations, GLF (profondeur de 9.80 m) et HEL (profondeur de 8.24 m), les températures sont très proches (entre 15.3 et 17.5°C en période de fonctionnement).

L'humidité relative relevée sur la station GLF est également correcte (47.4%), le taux d'humidité recommandé en environnement intérieur se situant entre 40 et 60%.

Comparaison à la campagne précédente et aux autres EFS

Le tableau ci-dessous compare les concentrations moyennes en température (T°) et humidité relative (HR) de la campagne 2021 à la campagne de 2010, aux campagnes dans les métros de Lyon (2020), Toulouse (2020) et Marseille (2021) pour lesquelles le guide INERIS a également été appliqué, ainsi qu'aux autres EFS (données du guide INERIS).

Concentrations moyennes	Quai Lille Flandres (2010) ²⁰	Quai Lille Flandres (2021)	Porte des Postes (2021)	Mairie d'Hellemmes (2021)	Lyon (2020)	Toulouse (2020) ²¹	Marseille (2021) ²²	Autres EFS françaises - guide INERIS -
T° (°C)	-	17.5	8.8	15.3	-	E : 17 / 21 ML : 18 / 22	R : 18 C : 21 P : 20	-
HR (%)	-	47.4	-	-	-	-	R : 46 C : 45 P : 39	-

Tableau 32 : Concentrations moyennes de T° et HR entre les campagnes de 2010 et 2021 et comparaison aux valeurs des autres métros français et au guide de l'INERIS

¹⁹ Heures de service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

²⁰ Les paramètres de confort n'ont pu être évalués lors de la campagne de mesures en 2010, suite à plusieurs actes de vandalisme ayant entraîné la perte de données sur la durée de la campagne et en conséquence la non-représentativité des données sur l'ensemble de la campagne.

²¹ 2 périodes de mesures en 2020 pour chaque station : station Esquirol (E) : froide (8 au 27/01) / chaude (1^{er} au 15/10 et 28/10 au 5/11) ; station Mirail-Université (ML) : froide (17/01 au 03/03) / chaude (16/09 au 05/11)

²² Campagne menée sur les stations Réformés (R), Castellane (C) et Périer (P)

Globalement, dans le métro lillois en comparaison des autres EFS :

- les niveaux de température sont du même ordre de grandeur pour GLF et plus basses pour HEL et surtout PDP ;
- les niveaux d'humidité relative sont du même ordre de grandeur que ceux observés à Marseille (autour de 47%).

5.7.2. Campagnes dans les rames

☐ Concentrations moyennes

Les résultats pour les 2 lignes et les différents types de matériels roulants sont présentés dans les tableaux ci-dessous :

	Ligne 1 (rames VAL 208)	Ligne 2 (rames VAL 206)	Ligne 2 (rames VAL 208)
T° moyenne (en °C)	14.2	16.6	16.7
HR moyenne (en %)	56.0	40.1	49.1

Concentration moyenne	Température (T°)	Humidité relative (HR)
Ligne 1	14.2	56.0
Ligne 2	16.6	43.1

Tableau 33 : Concentrations moyennes horaires de T° et HR dans les rames et lignes du métro lillois

La température moyenne sur la ligne 2 est plus élevée que sur la ligne 1. Il n'existe pas de différence significative entre les températures relevées sur les 2 types de rames de la ligne 2 (VAL206 et VAL208).

Concernant l'humidité relative, on observe à l'inverse une humidité relative plus élevée sur la ligne 1 que la ligne 2. Dans les deux cas, l'humidité relative est correcte, entre 40 et 60%.

☐ Comparaison aux autres EFS

Des mesures dans les rames du métro lillois ont eu lieu pour la 1^{ère} fois en 2021. Il n'existe ainsi pas de valeur de comparaison sur les 3 précédentes campagnes, ni de données de comparaison aux autres EFS dans les rames.

5.7.3. Comparaison les mesures entre les quais et les rames

☐ Comparaison des concentrations

Le tableau ci-dessous, regroupe les concentrations moyennes en température T° et humidité relative HR mesurées dans les rames et sur les quais. Une différence est observée entre ces concentrations, caractérisée par **un facteur**, calculé à partir de la moyenne des trois concentrations sur les quais rapportée à la moyenne des deux concentrations dans les rames.

	Quai GLF	Quai PDP	Quai HEL	Rames Ligne 1	Rames Ligne 2	Facteur entre les rames et les quais
Concentration moyenne en T°(en °C)	17.5	8.8	15.3	14.2	16.6	1.11
Concentration moyenne en HR (en %)	46.6	NC	NC	56.0	43.1	1.06

Tableau 34 : Comparaison des concentrations de T° et HR entre les quais et les rames

Les températures sont **1.11 fois et l'humidité relative 1.06 fois plus élevées dans les rames que sur les quais.**

Cette différence peut être expliquée par la présence des usagers dans des volumes plus restreints.

La température moyenne sur la ligne 2 est plus élevée que sur la ligne 1, et inversement pour l'humidité relative, qui reste correcte (entre 40 et 60%).

Il n'est pas observé de différence significative entre les quais et les rames pour la température et l'humidité relative (valeurs légèrement supérieures dans les rames).

6. Conclusion et perspectives

Atmo Hauts-de-France a mené en 2021 sa quatrième campagne de mesures dans le métro lillois, après les précédentes études de 2007-2008, 2010 et 2013-2014. A l'époque, Transpole (devenu ilévia en 2019) avait sollicité l'Observatoire de l'air en région pour effectuer des mesures de la qualité de l'air les halls, sur les quais et dans les tunnels :

- en 2007-2008 sur les stations République Beaux-Arts et Roubaix Eurotéléport,
- en 2010 sur les stations Gare Lille Flandres et République,
- en 2013-2014 à la station Roubaix Eurotéléport.

L'objectif de ces nouvelles mesures est d'évaluer l'exposition des usagers, avec pour la première fois des mesures dans les habitacles des rames.

Pour cette nouvelle étude, Atmo Hauts-de-France s'est appuyée sur un protocole national mis en place par l'INERIS (guide de recommandations pour la réalisation de mesures harmonisées de la qualité de l'air dans les Enceintes Ferroviaires Souterraines), proposant la stratégie de mesures adaptée au réseau et à l'usage de ces transports (quais et rames à instrumenter, polluants à surveiller et dispositif technique à déployer) et la méthode d'exploitation des résultats. Le suivi de ce protocole a permis également de comparer les résultats du métro lillois aux autres études françaises dans les métros (référentiel commun) comme Lyon, Marseille ou Toulouse, dans la mesure où il n'existe pas de valeurs réglementaires pour les EFS, à l'instar d'autres établissements recevant du public (ERP).

Sur la base des critères définis dans ce protocole national, Atmo Hauts-de-France a déployé ses analyseurs sur 3 quais (identifiés suite à une cartographie de l'ensemble des stations souterraines) : Gare Lille Flandres (GLF), Porte des Postes (PDP) et Mairie d'Hellemmes (HEL), durant 15 jours dans chacune d'elle (entre janvier et mars 2021). La qualité de l'air a également été surveillée à l'intérieur des rames sur les lignes 1 et 2 pour compléter l'information sur l'exposition des usagers (sur la période du 25 janvier au 12 février 2021).

Les polluants surveillés sont : les particules en suspension (PM10 et PM2.5), 11 métaux (As, Ba, Fe, Cd, Cr, Cu, Mn, Ni, Pb, Sb et Zn), ainsi que le confinement (dioxyde de carbone CO₂) et les paramètres de confort des usagers : température (T°) et humidité relative (HR).

En complément de ces polluants inscrits dans le protocole, une surveillance spécifique des particules ultrafines (PUF) et du Black Carbon (BC) a été menée sur le quai GLF.

La surveillance des particules sur les quais montre que les PM10 et les PM2.5 présentent des tendances similaires. Les concentrations les plus élevées sont relevées HEL puis GLF puis PDP.

Les pics de concentrations les plus importants sont observés :

- en semaine, aux périodes de fréquentation les plus importantes (vers 8h et vers 17h),
- le week-end, le samedi plus que le dimanche.

En comparaison des autres enceintes ferroviaires souterraines françaises, le métro lillois se situe en dessous, avec des valeurs dans la fourchette haute sur le quai HEL.

S'agissant des particules en suspension PM10, la valeur guide du CSHPF sur 1 heure (533 µg/m³) est respectée pour les trois stations du métro lillois, de même que pour la valeur sur 15 minutes (2 045 µg/m³).

Si l'on compare les données entre 2010 et 2021, en PM10 et PM2.5, sur le quai de GLF, on note une diminution des concentrations en 2021 par rapport à 2010 (respectivement -40% et -54%). On note également une diminution de l'ensemble des métaux, hormis le zinc (légère augmentation en 2021).

Le quai de HEL se situe au-dessus des 2 autres quais pour les particules PM10 et PM2.5. De même, on observe le week-end et la semaine à partir de 20h une augmentation des concentrations en particules, puis une diminution.

S'agissant des métaux sur les quais, trois métaux sont prépondérants : le fer, le cuivre et le baryum. Ainsi, les concentrations relevées à HEL sont :

- pour le fer : deux fois plus importantes qu'à GLF et 3 fois plus qu'à PDP ;
- pour le cuivre : cinq fois plus importantes que pour les 2 autres quais ;
- pour le baryum : dix fois plus importantes que pour les 2 autres quais.

Sur le quai de GLF, le niveau de confinement est du même ordre de grandeur que dans les autres EFS.

Globalement, dans le métro lillois en comparaison des autres EFS :

- les niveaux de température sont du même ordre de grandeur pour GLF et plus basses pour HEL et surtout PDP ;
- les niveaux d'humidité relative sont du même ordre de grandeur que ceux observés à Marseille (autour de 47%).

Par rapport aux autres enceintes ferroviaires souterraines françaises, les résultats des mesures réalisées sur les quais dans le métro lillois en 2021 montrent une tendance :

- plus basse pour : les particules en suspension (PM10 et PM2.5), en dehors de HEL qui présente des teneurs proches des niveaux moyens observés sur le métro lyonnais ;
- similaire pour la majorité des métaux (notamment les 3 principaux : fer, cuivre et baryum), ainsi que pour les niveaux de confinement (CO₂), la température et l'humidité relative ;
- plus élevée pour le cuivre (+3% par rapport à la valeur maximale).

Concernant la surveillance spécifique menée sur le quai de GLF, on note :

- que les particules ultrafines (PUF) sont plus élevées en air extérieur que dans le métro (+20% en proximité trafic sur la station de Lille Leeds par rapport au quai de GLF) ;
- pour le Black Carbon (BC), les valeurs observées à GLF sont 4 fois supérieures à celles relevées en extérieur (avec une différence d'un facteur 2 entre la semaine et le week-end) ; le BC est très lié aux concentrations de particules fines PM2.5 ; la présence de BC sur le quai de GLF est cohérente avec une source propre au métro qui est le freinage, avec des valeurs pour le métro lillois proches de la valeur maximale observée par l'INERIS dans d'autres études en enceintes souterraines ferroviaires françaises.

Des mesures dans les rames du métro lillois ont eu lieu pour la 1^{ère} fois en 2021. Il n'existe ainsi pas de valeur de comparaison sur les précédentes campagnes.

Dans les rames, l'exposition des usagers aux particules en suspension PM10 et aux particules fines PM2.5 est plus élevée sur la ligne 1 que sur la ligne 2 (facteur de 1.45).

Tout comme les quais, le fer domine également dans les rames (88% pour la ligne 2 et 86% pour la ligne 1), suivi du cuivre et du baryum (6,6% et 4,8% pour la ligne 1 et 6,9% et 2,1% pour la ligne 2).

Le baryum est près de 2 fois plus élevé sur la ligne 1 (5% contre 2%).

La ligne 1 présente également des concentrations moyennes en métaux plus élevées que sur la ligne 2, à l'exception du chrome et du manganèse.

S'agissant de ces 3 polluants (PM10, PM2.5 et métaux) pour la ligne 2, où circulent à la fois les rames VAL206 et les rames VAL208, il n'a pas été observé de différence significative entre ces 2 types de matériels roulants.

Concernant le confinement, on n'observe pas de différence entre les 2 lignes, juste des valeurs parfois supérieures à 800ppm (avis du HCSP) sur la ligne 2 mais la valeur de 1 000ppm n'étant jamais dépassée (seuil

du RSD). La température sur la ligne 2 est supérieure à celle de la ligne 1, mais on n'observe pas de différence entre les rames. L'humidité relative de la ligne 1 est supérieure à celle de la ligne 2.

Les concentrations observées en particules dans les rames des 2 lignes du métro lillois sont inférieures à celles de Marseille et des autres EFS investigués pour le guide INERIS. Pour les 3 principaux métaux, ils sont supérieurs.

Globalement, le métro lillois présente des concentrations plus élevées :

- sur les quais que dans les rames pour les particules PM10 et PM2.5 (avec des facteurs respectifs de 2 et 1.7).
- dans les rames par rapport aux quais pour les métaux (de 0.6 pour l'arsenic à 5.1 pour l'antimoine) et le confinement (taux de dioxyde de carbone CO₂).

La température et l'humidité relative dans les rames présentent des valeurs légèrement supérieures aux quais.

Les concentrations en PM10, PM2.5 et métaux (à l'exception du chrome et du manganèse) sont plus importantes sur la ligne 1 que la ligne 2, que ce soit pour les quais ou les rames.

Dans les perspectives, l'influence des interventions de nuit sur les concentrations observées (hors période de service), le roulement des rames sur la voie, le système de freinage, les profils de voies en amont et en aval des quais, la ventilation et le renouvellement d'air... sont des pistes à approfondir.

L'origine de l'augmentation des concentrations en particules sur Mairie d'Hellemmes de 20h à minuit, en semaine et le week-end, reste à clarifier.

Les mesures seront reconduites sur les quais en 2022, au regard de la nouvelle hiérarchisation menée en 2021 sur l'ensemble des stations souterraines. Trois quais seront ainsi investigués : Gambetta, Wazemmes et Gare Lille Flandres.

Annexes

Annexe 1 : Glossaire

µg/m³ : microgramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \mu\text{g}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

µm : micromètre. $1 \mu\text{m} = 0,001 \text{ mm} = 0,001$ millimètre.

AASQA : Association Agréée pour la Surveillance de la Qualité de l'Air.

As : arsenic.

BC : Black Carbon

Cd : cadmium.

CO₂ : dioxyde de carbone, indicateur du niveau de confinement d'un environnement intérieur

Concentration : la concentration d'un polluant représente la quantité du composé présent dans l'air et s'exprime en masse par mètre cube d'air. Les concentrations des polluants caractérisent la qualité de l'air que l'on respire.

CSHPP : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

EFS : Enceinte Ferroviaire Souterraine

Episode de pollution : période pendant laquelle la procédure d'information et d'alerte a été déclenchée traduisant le dépassement du niveau d'information et de recommandations voire du niveau d'alerte pour l'un ou plusieurs des polluants suivants : SO₂, NO₂, O₃ et PM10.

HCSP : Haut Conseil de la Santé Publique

GLF : station de métro « Gare Lille Flandres »

HEL : station de métro « Mairie d'Hellemmes »*

HR : humidité relative

INERIS : Institut national de l'environnement industriel et des risques

MEL : Métropole Européenne de Lille

mg/m³ : milligramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,001 \text{ g}/\text{m}^3 = 0,001$ gramme de polluant par mètre cube d'air.

ng/m³ : nanogramme de polluant par mètre cube d'air. $1 \text{ ng}/\text{m}^3 = 0,000001 \text{ mg}/\text{m}^3 = 0,000001$ milligramme de polluant par mètre cube d'air.

Ni : nickel.

Pb : plomb.

PDP : station de métro « Porte des Postes »

PM10 : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 10 µm.

PM2.5 : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 2,5 µm.

PUF : particules ultrafines

T° : température en degrés celsius (°C)

Annexe 2 : Modes de surveillance de la qualité de l'air

Les stations de mesures

En 2019, la région Hauts-de-France comptait **62 sites de mesures de la qualité de l'air** (cf. site atmo-hdf.fr²³) dont **53 stations fixes** et **7 stations mobiles**.

Station fixe

Par définition, une station de mesures fixe fournit des informations sur les concentrations de polluants atmosphériques sur un même site en continu ou de manière récurrente.

Station mobile

La station mobile mesure également des concentrations de polluants atmosphériques et des paramètres météorologiques mais de manière ponctuelle et sur différents sites. Autrement dit, elle constitue un laboratoire de surveillance de la qualité de l'air amené à être déplacé sur l'ensemble de la région pour répondre à des campagnes de mesures ponctuelles, en complément de la mesure en continu de la qualité de l'air par le dispositif de mesures fixe.



Critères d'implantation des stations fixes

Chaque station de mesures vise un objectif de surveillance particulier. Selon cet objectif et en application des recommandations²⁴ du LCSQA (Laboratoire Central de Surveillance de la Qualité de l'Air) et de la Fédération Atmo, elle doit respecter des critères d'implantation en lien avec sa classification, mais aussi :

- la métrologie (bonnes conditions de dispersion des polluants, absence d'obstacle, alimentation électrique, accès pour les techniciens...);
- la sécurité de la population (la station ne doit pas gêner ni mettre en danger la population);
- une exposition de la population la plus représentative (installation du site dans une zone à forte densité de population, absence de source de pollution très locale).

*Les stations fixes sont classées selon l'environnement d'implantation : station **urbaine**, station **périurbaine** ou station **rurale** (proche d'une zone urbaine, régionale ou nationale).*

*Ensuite, chaque mesure réalisée dans la station (c'est-à-dire chaque polluant suivi) est classée selon le type d'influence prédominante : **mesure sous influence industrielle**, **mesure sous influence trafic** ou **mesure de fond** (mesure n'étant pas sous l'influence d'une source spécifique).*

²³ <https://www.atmo-hdf.fr/tout-savoir-sur-l-air/mesures-de-la-qualite-de-l-air.html>

²⁴ Guide de recommandations du LCSQA et de la Fédération Atmo, Conception, implantation et suivi des stations françaises de surveillance de la qualité de l'air, Février 2017. <http://www.lcsqa.org/rapport/2016/imt-ld-ineris/guide-methodologique-stations-francaises-surveillance-qualite-air>

Techniques de mesures

Afin de mesurer les concentrations des polluants atmosphériques, les stations sont équipées de matériels spécifiques. En fonction des polluants étudiés, différentes techniques de mesures peuvent être utilisées.

Mesures avec analyse directe

Ces mesures sont effectuées par **des analyseurs** qui fournissent les concentrations des polluants 24h/24h, selon un pas de temps défini de 10 secondes à 15 minutes. Ces mesures permettent de suivre **en temps réel** les concentrations en polluants PM10, PM2.5, CO, NO_x, SO₂, O₃, etc. et d'identifier d'éventuels pics de pollution. Elles nécessitent l'installation, au sein d'une station de mesure fixe ou mobile régulée en température et en tension, d'un dispositif de mesures comprenant en plus des analyseurs, des têtes de prélèvement, des lignes de prélèvements, une station d'acquisition de mesure et un modem.

Les **oxydes d'azote** sont ainsi analysés dans l'air ambiant par chimiluminescence (norme NF EN 14211).

Pour les **particules (PM10 et PM2.5)**, les méthodes utilisées (conformes à la NF EN 16450) sont équivalentes à la méthode de référence par pesée gravimétrique (normes NF EN 12341 pour les PM10 et NF EN 14907 pour les PM2.5). Ces méthodes sont :

- la microbalance par évaluation de la variation d'une fréquence de vibration du quartz,
- la jauge radiométrique bêta basée sur la variation de l'absorption d'un rayonnement beta.

La mesure du **monoxyde de carbone** se fait par absorption infrarouge (norme NF EN 14626).

L'analyse du **dioxyde de soufre** s'effectue par fluorescence du rayonnement ultraviolet (norme NF EN 14212).

L'**ozone** est mesuré par photométrie ultraviolet (norme NF EN 14625).

Mesures avec analyse différée

Le prélèvement actif

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, le prélèvement sur support (filtre, mousse...) par des **préleveurs actifs** (aspiration d'un volume d'air), puis une **analyse en laboratoire**. Une alimentation électrique est nécessaire 24h/24h au bon fonctionnement de l'appareil de mesure. Une valeur moyenne est calculée pour la période de mesure (en général, les prélèvements ont lieu sur des périodes de 1 à 7 jours). Les fluctuations des concentrations sur une période plus fine, par ce biais, ne sont pas mises en évidence. De plus, le résultat n'est pas obtenu immédiatement, car il nécessite une analyse en laboratoire. Ce principe permet d'analyser de nombreux polluants : les métaux lourds (norme NF EN 14902), les hydrocarbures aromatiques polycycliques (norme NF EN 15549), les dioxines, les furanes, les polychlorobiphényles dioxin like (PCB DL), les pesticides, le carbone élémentaire, les ions inorganiques, le levoglucosan etc.



Le prélèvement passif

Ces mesures sont réalisées en deux étapes : d'une part, **le prélèvement passif (sans aspiration de l'air forcée) sur un support** (tubes, jauges...) puis une **analyse en laboratoire**. Cette technique repose sur les mouvements naturels de l'air, sans aspiration mécanique. Elle permet d'obtenir une concentration moyenne sur une période (de quelques heures à plusieurs semaines).

Ces techniques peuvent être de plusieurs types :

- par **tubes passifs** : les polluants sont piégés au passage de l'air par simple diffusion moléculaire sur un milieu absorbant ou adsorbant en fonction de la nature du polluant. Cette méthode permet de mesurer divers polluants : dioxyde d'azote, aldéhydes, ammoniac, composés organiques volatils, BTEX etc.
- par **jauge Owen** : les poussières sédimentables sont collectées dans un grand flacon (retombées sèches par sédimentation ou humides par les précipitations). L'analyse de ces poussières permet de rechercher une grande diversité de polluants, dont les métaux, les dioxines, les furanes et les polychlorobiphényles dioxin like.



Atmo Hauts-de-France réalise tous les prélèvements avec les appareils ci-dessus décrits. En revanche, Atmo Hauts-de-France sous-traite les analyses chimiques des prélèvements effectués (ex. métaux lourds, pesticides, Hydrocarbures aromatiques polycycliques, spéciation chimique, BTEX, ...) à des laboratoires accrédités ou réputés compétents et agréés par Atmo Hauts-de-France.

Annexe 3 : Tableaux de données des particules en suspension PM10, selon le guide INERIS

Les tableaux suivants représentent les concentrations horaires relevées en particules en suspension PM10, pour chacun des trois quais investigués (Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes), selon les 4 plages demandées par le guide INERIS :

- Résultats sur la totalité de la campagne de mesures,
- Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi),
- Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche),
- Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi).

Les données horaires retenues sont celles des heures service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

Gare Lille Flandres

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	353
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	68.1 µg/m ³
Médiane	67.1 µg/m ³
p10	25.3 µg/m ³
p90	110.1 µg/m ³
Min (horaire)	0.8 µg/m ³
Max (horaire)	162.2 µg/m ³ (le 21/01/2021 à 18h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	269
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	75.4 µg/m ³
Médiane	78.8 µg/m ³
p10	30.3 µg/m ³
p90	115.8 µg/m ³
Min (horaire)	0.8 µg/m ³
Max (horaire)	178.9 µg/m ³ (le 15/01/2021 à 18h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	84
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	45.0 µg/m ³
Médiane	41.5 µg/m ³
p10	21.0 µg/m ³
p90	71.3 µg/m ³
Min (horaire)	5.9 µg/m ³
Max (horaire)	88.7 µg/m ³ (le 16/01/2021 à 11h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	78
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	91.1 µg/m ³
Médiane	93.0 µg/m ³
p10	37.0 µg/m ³
p90	141.6 µg/m ³
Min (horaire)	18.6 µg/m ³
Max (horaire)	178.9 µg/m ³ (le 15/01/2021 à 18h)

Porte des Postes

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 01/02/2021 à 17h au 10/02/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	182
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	99.5%
Moyenne	47.1 µg/m ³
Médiane	41.1 µg/m ³
p10	21.0 µg/m ³
p90	82.3 µg/m ³
Min (horaire)	11.3 µg/m ³
Max (horaire)	107.5 µg/m ³ (le 5/02/2021 à 1h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 01/02/2021 à 17h au 10/02/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	140
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	99.3%
Moyenne	48.8 µg/m ³
Médiane	41.9 µg/m ³
p10	20.6 µg/m ³
p90	84.0 µg/m ³
Min (horaire)	11.3 µg/m ³
Max (horaire)	189 µg/m ³ (le 4/02/2021 à 5h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 01/02/2021 à 17h au 10/02/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	42
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	41.4 µg/m ³
Médiane	39.8 µg/m ³
p10	23.4 µg/m ³
p90	64.0 µg/m ³
Min (horaire)	15.1 µg/m ³
Max (horaire)	69.5 µg/m ³ (le 6/02/2021 à 13h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 01/02/2021 à 17h au 10/02/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	42
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	49.8 µg/m ³
Médiane	42.8 µg/m ³
p10	21.2 µg/m ³
p90	84.1 µg/m ³
Min (horaire)	19.9 µg/m ³
Max (horaire)	89.1 µg/m ³ (le 4/02/2021 à 17h)

Mairie d'Hellemmes

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 08/03/2021 à 1h au 15/03/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	153
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	123.5 µg/m ³
Médiane	107.8 µg/m ³
p10	28.4 µg/m ³
p90	221.9 µg/m ³
Min (horaire)	5.8 µg/m ³
Max (horaire)	412.2 µg/m ³ (le 12/03/2021 à 18h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 08/03/2021 à 1h au 15/03/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	111
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	127.3 µg/m ³
Médiane	114.4 µg/m ³
p10	33.9 µg/m ³
p90	221 µg/m ³
Min (horaire)	9.1 µg/m ³
Max (horaire)	412.2 µg/m ³ (le 12/03/2021 à 18h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 08/03/2021 à 1h au 15/03/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	42
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	113.2 µg/m ³
Médiane	87.1 µg/m ³
p10	15.0 µg/m ³
p90	259.2 µg/m ³
Min (horaire)	5.8 µg/m ³
Max (horaire)	408.4 µg/m ³ (le 14/03/2021 à 2h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 08/03/2021 à 1h au 15/03/2021 à 10h	
Nombre de valeurs (horaires)	33
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	155.5 µg/m ³
Médiane	139.7 µg/m ³
p10	46.9 µg/m ³
p90	257.7 µg/m ³
Min (horaire)	32.9 µg/m ³
Max (horaire)	412.2 µg/m ³ (le 12/03/2021 à 18h)

Annexe 4 : Tableaux de données pour les mesures de particules PM10 et PM2.5 dans les rames

Ligne	Type de rame	Date	Heure début	Heure fin	C _{filtre} PM10 (µg/m ³)	C _{EFS} PM10 (µg/m ³)	C _{filtre} PM2.5 (µg/m ³)	C _{EFS} PM2.5 (µg/m ³)
Ligne 1	VAL 208	26/01/2021	17h02	18h37	39.6	44.5	26.1	29.3
	VAL 208	29/01/2021	07h12	08h49	46.8	49.0	34.7	36.4
	VAL 208	01/02/2021	06h58	08h29	28.7	30.0	20.7	21.7
	VAL 208	03/02/2021	16h49	18h22	56.8	70.9	50.5	63.0
	VAL 208	05/02/2021	07h02	08h34	36.4	40.4	27.4	30.4
	VAL 208	08/02/2021	07h14	08h49	33.1	35.8	24.9	26.9
	VAL 208	09/02/2021	15h55	17h57	25.1	26.8	17.3	18.5
	VAL 208	11/02/2021	16h00	17h35	50.3	56.7	36.6	41.3
	VAL 208	12/02/2021	16h56	18h30	52.2	65.3	38.0	47.4
Ligne 2	VAL 206	25/01/2021	16h56	18h45	32.2	34.1	24.5	26.0
	VAL 206	27/01/2021	16h52	18h43	37.5	39.7	31.8	33.6
	VAL 206	28/01/2021	17h06	19h00	28.6	28.8	23.8	24.0
	VAL 208	02/02/2021	07h11	09h04	25.3	26.2	20.5	21.2
	VAL 208	04/02/2021	07h09	09h01	30.8	31.2	25.0	25.3
	VAL 208	08/02/2021	15h56	17h59	36.4	36.3	23.2	23.1
	VAL 206	10/02/2021	06h57	08h47	29.4	29.5	17.5	17.6
	VAL 206	10/02/2021	15h52	17h59	36.5	36.2	22.4	22.2
	VAL 206	11/02/2021	07h06	09h17	28.6	29.3	26.6	27.2

Annexe 5 : Tableaux de données des particules fines PM2.5, selon le guide INERIS

Les tableaux suivants représentent les concentrations horaires relevées en particules fines PM2.5, pour chacun des trois quais investigués (Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d'Hellemmes), selon les 4 plages demandées par le guide INERIS :

- Résultats sur la totalité de la campagne de mesures,
- Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi),
- Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche),
- Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi).

Les données horaires retenues sont celles des heures service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

Gare Lille Flandres

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	352
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	99.7%
Moyenne	32.5 µg/m ³
Médiane	31.3 µg/m ³
p10	13.9 µg/m ³
p90	53.9 µg/m ³
Min (horaire)	0.5 µg/m ³
Max (horaire)	89.3 µg/m ³ (le 27/01/2021 à 18h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	268
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	99.6%
Moyenne	35.6 µg/m ³
Médiane	35.2 µg/m ³
p10	15.7 µg/m ³
p90	56.7 µg/m ³
Min (horaire)	0.5 µg/m ³
Max (horaire)	87.8 µg/m ³ (le 27/01/2021 à 18h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	84
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	22.5 µg/m ³
Médiane	22.1 µg/m ³
p10	10.9 µg/m ³
p90	33.6 µg/m ³
Min (horaire)	5.3 µg/m ³
Max (horaire)	42.1 µg/m ³ (le 18/01/2021 à 1h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	78
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	42.9 µg/m ³
Médiane	39.1 µg/m ³
p10	15.9 µg/m ³
p90	73.3 µg/m ³
Min (horaire)	7.0 µg/m ³
Max (horaire)	87.8 µg/m ³ (le 27/01/2021 à 18h)

Porte des Postes

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 10/02/2021 à 11h au 16/02/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	137
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	30.6 µg/m ³
Médiane	31.0 µg/m ³
p10	17.2 µg/m ³
p90	45.1 µg/m ³
Min (horaire)	9.8 µg/m ³
Max (horaire)	63.5 µg/m ³ (le 10/02/2021 à 21h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 10/02/2021 à 11h au 16/02/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	95
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	32.1 µg/m ³
Médiane	32.0 µg/m ³
p10	18.6 µg/m ³
p90	45.0 µg/m ³
Min (horaire)	13.1 µg/m ³
Max (horaire)	63.5 µg/m ³ (le 10/02/2021 à 21h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 10/02/2021 à 11h au 16/02/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	42
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	27.2 µg/m ³
Médiane	24.9 µg/m ³
p10	13.0 µg/m ³
p90	45.3 µg/m ³
Min (horaire)	9.8 µg/m ³
Max (horaire)	59.9 µg/m ³ (le 13/02/2021 à 19h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 10/02/2021 à 11h au 16/02/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	27
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	32.6 µg/m ³
Médiane	32.0 µg/m ³
p10	21.9 µg/m ³
p90	43.2 µg/m ³
Min (horaire)	18.3 µg/m ³
Max (horaire)	54 µg/m ³ (le 10/02/2021 à 19h)

Mairie d'Hellemmes

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 15/03/2021 à 14h au 23/03/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	176
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	85.6 µg/m ³
Médiane	65.1 µg/m ³
p10	20.8 µg/m ³
p90	190.6 µg/m ³
Min (horaire)	1.3 µg/m ³
Max (horaire)	307.5 µg/m ³ (le 15/03/2021 à 18h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 15/03/2021 à 14h au 23/03/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	134
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	85.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Médiane	66.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
p10	20.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
p90	193.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Min (horaire)	1.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Max (horaire)	307.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le 15/03/2021 à 18h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 15/03/2021 à 14h au 23/03/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	42
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	85.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Médiane	62.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
p10	22.3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
p90	175.2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Min (horaire)	5.6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Max (horaire)	303.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le 21/03/2021 à 2h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 15/03/2021 à 14h au 23/03/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	39
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	117.9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Médiane	104.1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
p10	21.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
p90	237 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Min (horaire)	11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
Max (horaire)	307.5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (le 15/03/2021 à 18h)

Annexe 6 : Etude sur les quais « Gare Lille Flandres » - Prélèvements sur filtres

Statistiques du 12 janvier au 28 janvier 2021											
tous les jours											
Méto Gare Lille Flandres lignes 1 et 2	PM ₁₀ (µg/m ³)	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mg (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zc (ng/m ³)
Nombre de valeurs	15	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Taux de couverture	100%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%	80%
Moyenne	64,2	0,33	68	1997	4,4	147	19	1,8	0,62	8,3	20
Médiane	68,6	0,33	63	2154	4,5	137	21	1,9	0,63	7,4	22
P10	40,8	0,22	47	1397	3,1	110	13	1,3	0,40	2,0	14
P90	79,8	0,42	104	2438	5,6	213	24	2,2	0,86	15,6	26
Min	30,5	0,15	20	731	2,0	50	6	0,7	0,40	1,9	7
Max	81,6	0,55	115	2558	5,6	227	26	2,2	0,87	16,7	27

Statistiques du 12 janvier au 28 janvier 2021											
uniquement sur les jours de la semaine (hors WE)											
Méto Gare Lille Flandres lignes 1 et 2	PM ₁₀ (µg/m ³)	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mg (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zc (ng/m ³)
Nombre de valeurs	11	10	10	10	10	10	10	10	10	10	10
Taux de couverture	100%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%	91%
Moyenne	71,6	0,36	74	2185	4,8	160	21	2,0	0,64	9,3	22
Médiane	73,9	0,34	65	2188	4,7	147	21	2,0	0,63	9,2	22
P10	63,6	0,28	50	2038	4,3	119	19	1,8	0,41	2,7	18
P90	80,6	0,43	106	2464	5,6	216	25	2,2	0,86	16,0	26
Min	46,9	0,23	47	1540	3,8	113	14	1,5	0,40	1,9	18
Max	81,6	0,55	115	2558	5,6	227	26	2,2	0,87	16,7	27

Statistiques du 12 janvier au 28 janvier 2021											
uniquement sur le week-end											
Méto Gare Lille Flandres lignes 1 et 2	PM ₁₀ (µg/m ³)	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mg (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zc (ng/m ³)
Nombre de valeurs	4	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2
Taux de couverture	100%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%	50%
Moyenne	43,8	0,18	36	1056	2,5	80	10	1,0	0,56	3,3	10
Médiane	44,9	0,18	36	1056	2,5	80	10	1,0	0,56	3,3	10
P10	32,4	0,15	23	796	2,1	56	7	0,8	0,44	2,2	8
P90	54,4	0,21	49	1316	2,9	103	13	1,2	0,68	4,4	13
Min	30,5	0,15	20	731	2,0	50	6	0,7	0,40	1,9	7
Max	55,0	0,22	52	1381	3,0	109	13	1,2	0,71	4,7	13

Annexe 7 : Etude sur les quais « Porte des Postes » - Prélèvements sur filtres

Statistiques du 1 février au 16 février 2021											
tous les jours											
Métro Porte des Postes lignes 1 et 2	PM ₁₀ (µg/m ³)	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mg (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zc (ng/m ³)
Nombre de valeurs	8	14	15	15	15	15	15	15	15	15	15
Taux de couverture	53%	93%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	46,3	0,27	62	887	2,5	108	8	1,5	0,69	3,9	17
Médiane	42,2	0,24	53	725	2,4	87	6	1,2	0,72	3,5	13
P10	31,4	0,13	21	392	1,1	46	4	0,6	0,46	1,6	9
P90	65,7	0,45	112	1639	4,4	204	16	2,9	0,88	7,9	32
Min	25,5	0,12	20	291	0,9	32	3	0,5	0,34	0,3	7
Max	79,5	0,58	175	2092	5,0	280	19	3,7	0,95	10,0	37

Statistiques du 1 février au 16 février 2021											
uniquement sur les jours de la semaine (hors WE)											
Métro Porte des Postes lignes 1 et 2	PM ₁₀ (µg/m ³)	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mg (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zc (ng/m ³)
Nombre de valeurs	6	10	11	11	11	11	11	11	11	11	11
Taux de couverture	55%	91%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	48,0	0,30	63	945	2,7	113	9	1,7	0,69	3,8	19
Médiane	42,2	0,25	47	779	2,4	87	7	1,2	0,73	3,5	14
P10	32,3	0,15	20	376	1,2	46	4	0,6	0,41	1,8	9
P90	69,6	0,47	120	1723	4,9	207	18	3,0	0,80	5,4	35
Min	25,5	0,12	20	291	0,9	32	3	0,6	0,34	0,3	7
Max	79,5	0,58	175	2092	5,0	280	19	3,7	0,95	10,0	37

Statistiques du 1 février au 16 février 2021											
uniquement sur le week-end											
Métro Porte des Postes lignes 1 et 2	PM ₁₀ (µg/m ³)	As (ng/m ³)	Ba (ng/m ³)	Fe (ng/m ³)	Cr (ng/m ³)	Cu (ng/m ³)	Mg (ng/m ³)	Ni (ng/m ³)	Pb (ng/m ³)	Sb (ng/m ³)	Zc (ng/m ³)
Nombre de valeurs	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Taux de couverture	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	41,1	0,20	60	727	1,8	93	7	1,0	0,69	4,2	14
Médiane	41,1	0,17	64	649	1,8	87	6	0,9	0,63	2,8	12
P10	35,4	0,13	31	491	1,2	57	5	0,6	0,54	1,6	9
P90	46,8	0,30	85	1025	2,5	134	9	1,3	0,87	7,7	19
Min	34,0	0,12	22	456	1,1	50	4	0,5	0,54	1,5	9
Max	48,3	0,34	90	1154	2,6	149	11	1,5	0,93	9,5	22

Annexe 8 : Etude sur les quais « Mairie d'Hellemmes » - Prélèvements sur filtres

Statistiques du 8 mars au 23 mars 2021											
tous les jours											
Méto Mairie d'Hellemmes	PM ₁₀	As	Ba	Fe	Cr	Cu	Mg	Ni	Pb	Sb	Zc
ligne 1	(µg/m ³)	(ng/m ³)									
Nombre de valeurs	7	16	16	16	16	16	16	16	16	16	16
Taux de couverture	44%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	115,2	0,67	503	3454	3,6	564	29	3,0	0,76	5,0	60
Médiane	117,9	0,67	465	3404	3,7	517	29	3,1	0,70	2,0	58
P10	88,7	0,58	388	2757	3,0	454	23	2,4	0,57	0,8	49
P90	137,2	0,77	651	4174	4,1	724	34	3,5	1,04	15,0	73
Min	77,7	0,43	359	2412	2,4	405	20	1,9	0,41	0,2	40
Max	143,6	0,81	731	4444	4,4	832	36	3,6	1,22	18,7	80

Statistiques du 8 mars au 23 mars 2021											
uniquement sur les jours de la semaine (hors WE)											
Méto Mairie d'Hellemmes	PM ₁₀	As	Ba	Fe	Cr	Cu	Mg	Ni	Pb	Sb	Zc
ligne 1	(µg/m ³)	(ng/m ³)									
Nombre de valeurs	5	12	12	12	12	12	12	12	12	12	12
Taux de couverture	42%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	119,1	0,70	485	3449	3,8	544	29	3,2	0,80	6,1	59
Médiane	117,9	0,70	465	3404	3,8	517	29	3,2	0,72	3,1	58
P10	104,4	0,62	407	3141	3,6	474	27	3,0	0,59	0,7	54
P90	134,7	0,78	580	4073	4,2	639	33	3,5	1,08	16,2	66
Min	96,1	0,61	359	2637	3,2	437	23	2,6	0,55	0,2	49
Max	143,6	0,81	605	4204	4,4	659	34	3,6	1,22	18,7	67

Statistiques du 8 mars au 23 mars 2021											
uniquement sur le week-end											
Méto Mairie d'Hellemmes	PM ₁₀	As	Ba	Fe	Cr	Cu	Mg	Ni	Pb	Sb	Zc
ligne 1	(µg/m ³)	(ng/m ³)									
Nombre de valeurs	2	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4
Taux de couverture	50%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%	100%
Moyenne	105,3	0,59	558	3470	3,1	625	28	2,5	0,62	1,5	62
Médiane	105,3	0,59	565	3511	3,1	630	29	2,6	0,64	1,2	64
P10	83,2	0,47	389	2552	2,5	425	21	2,0	0,47	1,0	43
P90	127,5	0,72	720	4355	3,6	820	36	2,9	0,76	2,2	79
Min	77,7	0,43	370	2412	2,4	405	20	1,9	0,41	1,0	40
Max	133,0	0,75	731	4444	3,8	832	36	3,0	0,80	2,5	80

Annexe 9 : Caractéristiques du matériel roulant

Pour une rame (= 2 voitures)	VAL206	VAL206 Bis	VAL208
Année de mise en service	1983	1987-1989	1999
Parc total	38	45	60
Parc L1	0	0	53
Parc L2	38	45	7
Largeur	1,86m	2,06m	2,08m
Longueur	26,14m	26,14m	26m
Hauteur	3,25m	3,25m	3,27m
Nombre de bogies	4	4	4
Roulement	Pneus	Pneus	Pneus
Guidage	Pneus sur barre de guidage + galets acier pour le guidage dans les aiguilles	Pneus sur barre de guidage + galets acier pour le guidage dans les aiguilles	Pneus sur barre de guidage + galets acier pour le guidage dans les aiguilles
Système de freinage	Freinage électrique jusque 18 km/h , puis mécanique jusqu'à l'arrêt	Freinage électrique jusque 3 km/h , puis mécanique jusqu'à l'arrêt	Freinage électrique jusque 3-7 km/h , puis mécanique jusqu'à l'arrêt
Masse à vide	29,5t	31t	28t
Masse en charge normale	39,5t	42t	39t
Masse en charge exceptionnelle	46t	45,5t	42t
Masse équivalent aux inerties tournantes (à ajouter en dynamique)	5,7t	5,7t	? (~6t)
Capacité normale	154 passagers	154 passagers	156 passagers
Capacité exceptionnelle	206 passagers	206 passagers	210 passagers
Vitesse nominale	60km/h	60km/h	60km/h
Vitesse maximale	80km/h	80km/h	80km/h
Alimentation électrique	750Vcc via barres de guidage 8 patins frotteurs latéraux	750Vcc via barres de guidage 8 patins frotteurs latéraux	750Vcc via barres de guidage 8 patins frotteurs latéraux
Moteur	Machine à courant continu à excitation série 120 kW	Machine à courant continu à excitation séparée 150 kW	Machine synchrone à aimants permanents 65kW
Nombre de moteurs	4 (1 par essieu)	4 (1 par essieu)	8 (1 par roue)
Convertisseur de puissance / moteur	Hacheur à thyristor classique	Hacheur à thyristor GTO	Onduleur à transistor hautes fréquences IGBT
Puissance motrice installée (kW)	480 kW	600 kW	520 kW
Consommation moyenne (kWh)	120 kWh	108 kWh	80 kWh

Annexe 10 : Tableaux de données de confinement (CO₂), selon le guide INERIS

Les tableaux suivants représentent les concentrations horaires relevées en dioxyde de carbone (CO₂), pour chacun des trois quais investigués (Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes), selon les 4 plages demandées par le guide INERIS :

- Résultats sur la totalité de la campagne de mesures,
- Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi),
- Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche),
- Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi).

Les données horaires retenues sont celles des heures service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

Gare Lille Flandres

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	353
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	542 ppm
Médiane	541 ppm
p10	425 ppm
p90	666 ppm
Min (horaire)	393 ppm
Max (horaire)	785 ppm (le 22/01/2021 à 19h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	269
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	553 ppm
Médiane	560 ppm
p10	425 ppm
p90	674 ppm
Min (horaire)	393 ppm
Max (horaire)	785 ppm (le 22/01/2021 à 19h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	84
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	506 ppm
Médiane	496 ppm
p10	425 ppm
p90	609 ppm
Min (horaire)	399 ppm
Max (horaire)	685 ppm (le 23/01/2021 à 19h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h	
Nombre de valeurs (horaires)	78
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%
Moyenne	571 ppm
Médiane	574 ppm
p10	428 ppm
p90	710 ppm
Min (horaire)	409 ppm
Max (horaire)	785 ppm (le 22/01/2021 à 19h)

Porte des Postes

En raison d'un problème technique, perte des données de CO₂ pour la campagne de mesures sur le quai de Porte des Postes du 1^{er}/02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h.

Mairie d'Hellemmes

En raison d'un problème technique, perte des données de CO₂ pour la campagne de mesures sur le quai de Mairie d'Hellemmes du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h.

Annexe 11 : Tableaux de données de paramètres de confort (T° et HR), selon le guide INERIS

Les tableaux suivants représentent les concentrations horaires relevées en température (T°) et humidité relative (HR), pour chacun des trois quais investigués (Gare Lille Flandres, Porte des Postes et Mairie d’Hellemmes), selon les 4 plages demandées par le guide INERIS :

- Résultats sur la totalité de la campagne de mesures,
- Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi),
- Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche),
- Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi).

Les données horaires retenues sont celles des heures service du métro : du lundi au vendredi sur la plage de 5h à 1h ; le samedi sur la plage de 5h à 2h ; le dimanche sur la plage de 6h à 1h.

Gare Lille Flandres

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	353	353
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	100%
Moyenne	17.5 °C	47.4 %
Médiane	17.6 °C	46.6 %
p10	16.6 °C	40.2 %
p90	18.5 °C	56.0 %
Min (horaire)	13.9 °C	33.2 %
Max (horaire)	19.2 °C (le 28/01/2021 à 20h)	66.8 % (le 28/01/2021 à 10h)

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	269	269
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	100%
Moyenne	17.6 °C	48.3 %
Médiane	17.7 °C	47.0 %
p10	16.7 °C	40.4 %
p90	18.5 °C	57.0 %
Min (horaire)	14.4 °C	37.1 %
Max (horaire)	19.2 °C (le 28/01/2021 à 20h)	66.8 % (le 28/01/2021 à 10h)

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	84	84
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	100%
Moyenne	17.1 °C	44.6 %
Médiane	17.2 °C	45.4 %
p10	16.3 °C	37.7 %
p90	17.8 °C	49.3 %
Min (horaire)	13.9 °C	33.2 %
Max (horaire)	18.7 °C (le 23/01/2021 à 16h)	52.7 % (le 17/01/2021 à 14h)

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) au cours de la période du 12/01/2021 à 5h au 28/01/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	78	78
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	100%
Moyenne	17.8 °C	49.5 %
Médiane	18.0 °C	48.4 %
p10	16.7 °C	41.9 %
p90	18.6 °C	57.3 %
Min (horaire)	15.6 °C	38.1 %
Max (horaire)	19.1 °C (le 22/01/2021 à 19h)	64.3 % (le 28/01/2021 à 9h)

Porte des Postes

En raison d'un problème technique, perte des données d'humidité relative (HR) pour la campagne de mesures sur le quai de Porte des Portes du 1^{er}/02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h.

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 1 ^{er} /02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	319	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	99.7%	-
Moyenne	8.8 °C	-
Médiane	8.5 °C	-
p10	4.5 °C	-
p90	13.5 °C	-
Min (horaire)	2.9 °C	-
Max (horaire)	14.5 °C (le 5/02/2021 à 18h)	-

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) du 1 ^{er} /02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	235	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	99.6%	-
Moyenne	8.9 °C	-
Médiane	8.5 °C	-
p10	4.6 °C	-
p90	13.5 °C	-
Min (horaire)	2.9 °C	-
Max (horaire)	14.5 °C (le 5/02/2021 à 18h)	-

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) du 1 ^{er} /02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	84	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	-
Moyenne	8.6 °C	-
Médiane	8.4 °C	-
p10	4.3 °C	-
p90	13.5 °C	-
Min (horaire)	3.0 °C	-
Max (horaire)	14.2 °C (le 6/02/2021 à 5h, 8h et 10h)	-

Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi) du 1 ^{er} /02/2021 à 17h au 16/02/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	69	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	-
Moyenne	9.0 °C	-
Médiane	8.8 °C	-
p10	4.6 °C	-
p90	13.8 °C	-
Min (horaire)	3.0 °C	-
Max (horaire)	14.5 °C (le 5/02/2021 à 18h)	-

Mairie d'Hellemmes

En raison d'un problème technique, perte des données d'humidité relative (HR) pour la campagne de mesures sur le quai de Mairie d'Hellemmes du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h.

Résultats sur la totalité de la campagne de mesures du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	332	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	-
Moyenne	15.3 °C	-
Médiane	15.4 °C	-
p10	13.5 °C	-
p90	17.2 °C	-
Min (horaire)	10.7 °C	-
Max (horaire)	18.9 °C (le 23/03/2021 à 18h)	-

Résultats sur les jours de la semaine (du lundi au vendredi) du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	248	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	-
Moyenne	15.5 °C	-
Médiane	15.7 °C	-
p10	13.7 °C	-
p90	17.5 °C	-
Min (horaire)	10.7 °C	-
Max (horaire)	18.9 °C (le 23/03/2021 à 18h)	-

Résultats sur les week-ends (samedi et dimanche) du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h		
	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	84	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	-
Moyenne	14.8 °C	-
Médiane	14.7 °C	-
p10	13.4 °C	-
p90	16.2 °C	-
Min (horaire)	11.1 °C	-
Max (horaire)	16.8 °C (le 20/03/2021 à 17h et 18h)	-

**Résultats sur les périodes de pointe (7h-9h et 17h-19h) en semaine (du lundi au vendredi)
du 8/03/2021 à 1h au 23/03/2021 à 21h**

	T°	HR
Nombre de valeurs (horaires)	72	-
Taux de couverture de la période d'échantillonnage	100%	-
Moyenne	16.2 °C	-
Médiane	16.1 °C	-
p10	14.5 °C	-
p90	18.1 °C	-
Min (horaire)	12.2 °C	-
Max (horaire)	18.9 °C (le 23/03/2021 à 18h)	-

RETROUVEZ TOUTES
NOS **PUBLICATIONS** SUR :
www.atmo-hdf.fr

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

199, rue Colbert – Bâtiment Douai

59000 Lille

