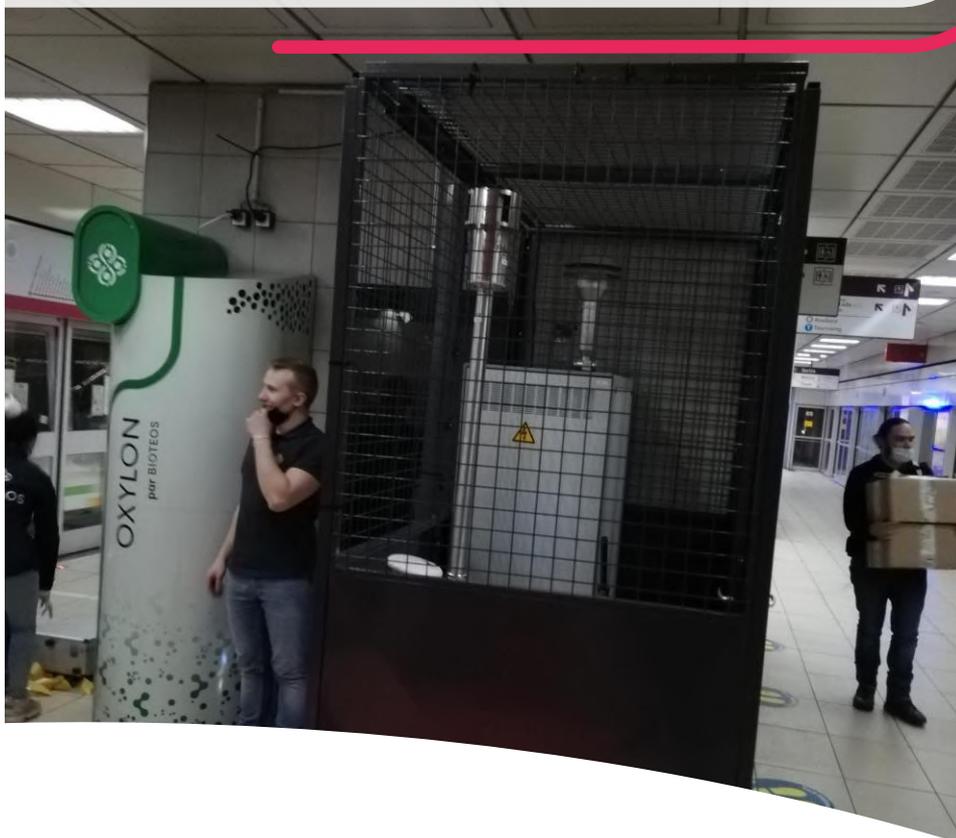


RAPPORT D'ETUDE

Qualité de l'air dans le métro lillois

Surveillance sur le quai de la station Gare Lille Flandres dans le cadre de l'expérimentation du traitement de l'air par le système Oxylon (Société BIOTEOS)

Etude menée en 2022



Auteurs : Peggy DESMETTRES et Jubricia BABOUSSADIAMBOU MAMADOU

Relecteur : Arabelle PATRON-ANQUEZ

Diffusion : mars 2023

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 agréé 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°01/2022/PDES/V1.**

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 | Responsable Service Etudes |  |

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

Date d'application : 01/01/2021

Sommaire

| | |
|---|-----------|
| 1. Synthèse de l'étude | 6 |
| 2. Enjeux et objectifs de l'étude | 7 |
| 3. Contexte environnemental | 8 |
| 3.1. Description de l'EFS..... | 8 |
| 3.2. Emissions connues liées au métro | 9 |
| 3.3. Episodes de pollution | 10 |
| 4. Matériels et méthodes | 11 |
| 4.1. Matériel utilisé..... | 11 |
| 4.2. Localisation | 12 |
| 4.3. Bilan métrologique | 14 |
| 4.4. Méthode d'exploitation des données | 15 |
| 5. Résultats de l'étude | 17 |
| 5.1. Mesures en milieu de quai..... | 17 |
| 5.2. Mesures sur toute la longueur du quai..... | 37 |
| 5.3. Evaluation de la filtration, sur l'ensemble du quai..... | 54 |
| 6. Conclusion | 56 |

Annexes

| | |
|--|-----------|
| Annexe 1 : Glossaire | 59 |
| Annexe 2 : Modes de surveillance de la qualité de l'air | 60 |
| Les stations de mesures | 60 |
| Critères d'implantation des stations fixes | 60 |
| Techniques de mesures..... | 61 |
| Annexe 3 : Taux de fonctionnement | 63 |
| Annexe 4 : Statistiques des données horaires | 65 |
| Annexe 5 : Statistiques des données journalières | 67 |
| Annexe 6 : Evolution du profil d'une journée moyenne, par semaine, pendant la durée de l'expérimentation | 69 |
| Annexe 7 : Evolution du profil d'une journée moyenne, par semaine, pendant chaque période d'expérimentation | 73 |
| Annexe 8 : Evolution journalière des concentrations des particules ultrafines | 85 |

| | |
|---|------------|
| Annexe 9 : Répartition granulométrique | 87 |
| Annexe 10 : Evolution journalière des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD sur toute la campagne | 94 |
| Annexe 11 : Profils journaliers des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD sur toute la campagne | 96 |
| Annexe 12 : Profils hebdomadaires des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD sur toute la campagne | 98 |
| Annexe 13 : Evolutions hebdomadaires (moyennes) des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD de la semaine 12 à la semaine 29 | 100 |

Illustrations

| | |
|---|----|
| Figure 1 : Carte des stations des Ligne 1 (jaune) et Ligne 2 (rouge)..... | 8 |
| Figure 2 : Profil journalier des concentrations en PM10..... | 17 |
| Figure 3 : Profil hebdomadaire des concentrations en PM10. | 18 |
| Figure 4 : Profils journaliers des concentrations en PM10 en semaines..... | 19 |
| Figure 5 : Profils journaliers des concentrations en PM10 le week-end..... | 20 |
| Figure 6 : Profil journalier des concentrations en PM2.5..... | 22 |
| Figure 7 : Profil hebdomadaire des concentrations en PM2.5. | 23 |
| Figure 8 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5 la semaine. | 24 |
| Figure 9 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5 le week-end..... | 24 |
| Figure 10 : Profil journalier des concentrations en PM1..... | 26 |
| Figure 11 : Profil hebdomadaire des concentrations en PM1..... | 27 |
| Figure 12 : Profils journaliers des concentrations en PM1 la semaine. | 28 |
| Figure 13 : Profils journaliers des concentrations en PM1 le week-end..... | 28 |
| Figure 14 : Profil journalier des concentrations en PUF..... | 30 |
| Figure 15 : Profil hebdomadaire des concentrations en PUF. | 31 |
| Figure 16 : Evolution journalière des PUF par canaux sur toute la durée de l'étude..... | 32 |
| Figure 17 : Evolution journalière des PUF par canaux sur toute la durée de l'étude avec les données de travaux de nuit écrêtées. | 32 |
| Figure 18 : Répartition granulométrique des particules ultrafines. | 33 |
| Figure 19 : Répartition granulométrique des particules ultrafines. | 34 |
| Figure 20 : Répartition granulométrique des particules ultrafines. | 34 |
| Figure 21 : Profils journaliers des concentrations en PUF la semaine. | 35 |
| Figure 22 : Profils journaliers des concentrations en PUF le week-end..... | 35 |

| | |
|--|----|
| Figure 23 : Evolution des concentrations journalières en PM2.5 par POD pour la première période. | 38 |
| Figure 24 : Evolution des concentrations journalières en PM2.5 par POD pour la deuxième période. | 39 |
| Figure 25 : Evolution des concentrations journalières en PM2.5 par POD pour la troisième période. | 40 |
| Figure 26 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la première période. | 41 |
| Figure 27 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la deuxième période. | 42 |
| Figure 28 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la troisième période. | 43 |
| Figure 29 : Profils hebdomadaires des concentrations moyennes en PM2.5, par POD de la semaine 12 à 29. | 44 |
| Figure 30 : Evolution des concentrations journalières en PM1 par POD pour la première période. | 46 |
| Figure 31 : Evolution des concentrations journalières en PM1 par POD pour la deuxième période. | 47 |
| Figure 32 : Evolution des concentrations journalières en PM1 par POD pour la troisième période. | 47 |
| Figure 33 : Profils journaliers des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la première période. | 48 |
| Figure 34 : Profils journaliers des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la deuxième période. | 49 |
| Figure 35 : Profils journaliers des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la troisième période. | 49 |
| Figure 36 : Profils hebdomadaires des concentrations moyennes en PM1, par POD de la semaine 12 à 29. | 50 |
| Figure 37 : Evolution des concentrations journalières du CO ₂ , en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD sur la totalité de l'étude. | 51 |
| Figure 38 : Evolution des concentrations journalières de la température, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD sur la totalité de l'étude. | 52 |
| Figure 39 : Evolution des concentrations journalières de l'humidité relative, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD sur la totalité de l'étude. | 53 |
| Figure 40 : Représentation graphique des performances spatiales du système de traitement de l'air Oxylon, sur la longueur du Quai 1, au regard des périodes P1 (avant filtration) et P3 (après arrêt du système de filtration) | 54 |

1. Synthèse de l'étude

Objectif des mesures : marché innovant lancé par la Métropole Européenne de Lille (MEL), pour expérimenter le système de traitement de l'air Oxylon de la société BIOTEOS, dans le but d'améliorer la qualité de l'air dans les stations du métro lillois (diminution attendue du niveau de concentration en particules en suspension)

Lieu des mesures : station de métro Gare Lille Flandres, sur le Quai 1 qui dessert la Ligne 1 Direction CHR et la Ligne 2 Direction St-Philibert

Dates des mesures : expérimentation menée entre le 17 mars et le 26 juillet 2022, sur 3 périodes : avant filtration (P1) : du 17 mars au 14 avril 2022, pendant filtration (P2) : du 14 avril au 25 juin 2022 et après la mise en place du système Oxylon (P3) : du 25 juin au 26 juillet 2022

| Polluants mesurés | Milieu ¹ du quai | Longueur ² du quai |
|--|-----------------------------|-------------------------------|
| Particules PM1 | X | X |
| Particules PM2.5 | X | X |
| Particules PM10 | X | X |
| Particules ultrafines (PUF) | X | - |
| Taux de confinement (CO ₂) | X | X |
| Paramètres de confort : température (T°) et humidité relative (HR) | X | X |

Résultats : ce qu'il faut retenir !

La surveillance des **particules en suspension (PM10, PM2.5 et PM1) en milieu de quai** montre une **diminution** des concentrations **en lien avec la diminution des émissions de particules liée au fonctionnement du métro (fréquence de passages de rames moins importante) et également en présence de système de filtration Oxylon**. Comme lors de l'étude menée par Atmo en 2021 (rapport Atmo Hauts-de-France N°01/2021/PDES/V0), cette expérimentation montre que les concentrations sont plus élevées en semaine (du lundi au vendredi) que le week-end, et que les concentrations en particules en suspension PM10 sont supérieures aux PM2.5 (de même qu'aux PM1).

S'agissant des **particules ultrafines (PUF) en milieu de quai**, elles réagissent différemment des autres particules. Elles sont **plus nombreuses sur certaines journées**, en lien avec des **activités de travaux la nuit ou spécifiques en journée**. Il n'est **pas observé d'incidence du système de filtration Oxylon sur les PUF**. Comme lors de la surveillance menée en 2021 par Atmo, les particules les plus petites (taille entre 20 et 50 nm) sont les plus présentes (53% en période de fonctionnement du système Oxylon contre 52% lors de la dernière campagne de surveillance en 2021), avec un niveau de fond autour de 5000 p/cm³, sur la durée de l'expérimentation.

La surveillance des **particules (PM10, PM2.5 et PM1) sur la longueur du quai** montre que les concentrations diminuent après la mise en route du système Oxylon, mais également en période de moindres émissions de particules en lien avec le fonctionnement du métro (P3). **Le système de filtration Oxylon a un impact plus important sur les concentrations mesurées à proximité du site d'implantation**. Dans la perspective de déploiement d'un tel système dans les stations du métro lillois, **il nous paraît important que l'emplacement à terme d'un système de traitement d'air soit envisagé aux endroits stratégiques de présence des usagers et au plus proche de la source d'émissions**.

Le **confinement** (concentrations en CO₂ sur toute la longueur du quai) est lié à la présence des usagers. Sur la durée de l'expérimentation, les **concentrations** sont **inférieures à 1000 ppm** (seuil recommandé par le RSD) **et 800 ppm** (avis du HCSP dans les environnements intérieurs, avec port du masque).

S'agissant des **paramètres de confort des usagers**, l'**humidité relative (HR)** est plutôt **stable** au cours de l'expérimentation et la **température (T°)** évolue **en lien avec les conditions météorologiques extérieures** (canicule).

Au regard des données disponibles sur le fonctionnement du métro, d'un commun accord avec la MEL et BIOTEOS, l'analyse sur la base de journées types n'a pu être menée. Sans pouvoir isoler l'influence du système de filtration sur les concentrations en particules, des autres facteurs d'influence (fréquence de passage de rames et nombre de passagers), il nous est donc impossible de conclure de manière claire et non ambiguë sur l'impact du système de filtration sur les particules.

¹ Equipements installés dans une enceinte grillagée au centre du quai

² Installation de 5 microcapteurs, répartis uniformément au plafond

2. Enjeux et objectifs de l'étude

Dans le cadre d'un marché innovant lancé par la Métropole Européenne de Lille (MEL), la Société BIOTEOS a expérimenté son système « Oxyton » de traitement de l'air, sur le quai de la station de métro Gare Lille Flandres (GLF). L'enjeu de la mise en œuvre de ce dispositif est l'amélioration de la qualité de l'air sur le quai, en captant les polluants présents dans l'air, diminuant ainsi le niveau de concentration de particules en suspension.

Pour réaliser les mesures sur le quai, BIOTEOS a fait appel à l'Observatoire de l'air en région (l'association Atmo Hauts-de-France). Dans le cadre de cette expérimentation, plusieurs appareils ont été installés, afin de mesurer en continu :

- en milieu de quai, à côté du système Oxyton : les concentrations massiques de particules PM1, PM2.5 et PM10, le comptage des particules ultrafines (PUF) et les paramètres de confort des usagers : température (T°), humidité relative (HR) et dioxyde de carbone (CO₂ indicateur de confinement),
- sur toute la longueur du quai, répartis de façon équidistante entre la zone centrale et les extrémités du quai, au niveau du plafond : les concentrations massiques de particules PM1, PM2.5 et PM10 et les paramètres de confort des usagers : température (T°), humidité relative (HR) et dioxyde de carbone (CO₂ indicateur de confinement).

La durée de l'expérimentation est prévue sur 3 mois et doit couvrir 3 périodes de mesures :

- Période 1 (P1) : mesures pendant 2 semaines, avant démarrage du système Oxyton,
- Période 2 (P2) : mesures pendant 2 mois, pendant le fonctionnement du système Oxyton,
- Période 3 (P3) : mesures pendant 2 semaines, après l'arrêt du système Oxyton.

Les périodes P1 et P3 serviront de périodes de référence, en comparaison de la période P2 de mise en fonctionnement du système de traitement d'air Oxyton.

L'exploitant du réseau de transport KLM apportera 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, ...).

Une campagne de mesures de plus de 4 mois a ainsi été réalisée, entre le 17 mars et le 26 juillet 2022, sur le Quai 1 de la Gare Lille Flandres (GLF1), qui dessert la Ligne 1 Direction CHR et la Ligne 2 Direction St-Philibert. En milieu de quai, des mesures de particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10), de particules en suspension inférieures à 2.5 µm (PM2.5), de particules en suspension inférieures à 1 µm (PM1) et de particules ultrafines (PUF) 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).

Sur toute la longueur du quai, 5 microcapteurs ont été répartis au plafond, afin de suivre l'évolution de ces mêmes polluants (hormis les PUF) à distance du système Oxyton.

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

3. Contexte environnemental

3.1. 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 sont soulignées en bleu

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 |

Des rames de longueur double (52 mètres), de conception ALSTOM, seront mises en circulation sur la ligne 1 et viendront compléter le parc actuel. 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**.

3.2. Emissions connues liées au métro

Les campagnes³ de surveillance de la qualité de l'air dans le métro lillois, menée par l'Observatoire de l'air en région Hauts-de-France (Atmo Hauts-de-France) ont 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.

L'exploitation du métro est une source de pollution particulaire. 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.

Les études réalisées à l'intérieur des enceintes ferroviaires souterraines ou des métros⁴, 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.

³ 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

Lien vers l'étude 2021 : https://www.atmo-hdf.fr/sites/hdf/files/medias/documents/2022-07/Rapport_Bilan_Metro_2021.pdf

⁴ Rapport 2015 de l'INERIS

3.3. 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 GLF1 (Gare Lille Flandres) | Période 1 (P1) : 17/03 au 14/04/2022 (10h40) | Episode de pollution du 21 au 26/03/2022 2 nd épisode de pollution des 28 et 29/03/2022 |
| Quai GLF1 (Gare Lille Flandres) | Période 2 (P2) : 14/04 (10h40) au 25/06/2022 (16h17) | - |
| Quai GLF1 (Gare Lille Flandres) | Période 3 (P3) : 25/06 (16h17) au 26/07/2022 (23h) | - |

Sur la campagne de mesures, on note également un épisode de pollution à l'ozone (O₃) :

| Site de mesure | Période de mesures | Episode de pollution O ₃ |
|---|---|-------------------------------------|
| Quai GLF1 (Gare Lille Flandres) | Période 1 (P1) : 17/03 au 14/04/2022 (10h40) | - |
| Quai GLF1 (Gare Lille Flandres) | Période 2 (P2) : 14/04 (10h40) au 25/06/2022 (16h17) | Episode de pollution le 15/06/2022 |
| Quai GLF1 (Gare Lille Flandres) | Période 3 (P3) : 25/06 (16h17) au 26/07/2022 (23h) | - |

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 : MN5 (Marcq-en-Baroeul) et les stations fixes sous influence trafic : MC7 (Lille-Leeds) et MN1 (Roubaix-Serres).

La comparaison des données PUF du Quai 1 avec l'air ambiant n'a pu être réalisée, la station MC7 (Lille-Leeds) ayant été équipée d'une autre méthodologie de mesure, en raison de l'installation de l'UFP 3031 sur l'autre quai en parallèle (Quai 2).

4. Matériels et méthodes

4.1. Matériel utilisé

4.1.1. Mesures en milieu de quai

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 PM10 | Méthode optique | NF EN 16450 (Avril 2017) | Analyseur automatique FIDAS | 15 min |
| Particules en suspension PM2.5 | Méthode optique | NF EN 16450 (Avril 2017) | Analyseur automatique FIDAS | 15 min |
| Particules en suspension PM1 | Méthode optique | NF EN 16450 (Avril 2017) | Analyseur automatique FIDAS | 15 min |
| Particules ultrafines (PUF) | Granulométrie | N.C | Analyseur automatique UFP 3031 | 15 min |
| Confinement (CO ₂) | Analyseur infra-rouge | N.C | Analyseur automatique Q-Trak | 15 min |
| Paramètres de confort (T° et HR) | - | N.C | Analyseur automatique Q-Trak | 15 min |

4.1.2. Mesures sur toute la longueur du quai

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 PM10 | Méthode optique | N.C | Microcapteur Rubix POD2 | 15 min |
| Particules en suspension PM2.5 | Méthode optique | N.C | | |
| Particules en suspension PM1 | Méthode optique | N.C | | |
| Confinement (CO ₂) | Analyseur infra-rouge | N.C | | |
| Paramètres de confort (T° et HR) | - | N.C | | |

La description des différents moyens de mesure dont dispose Atmo Hauts-de-France est décrite en détails en [Annexe 2](#).

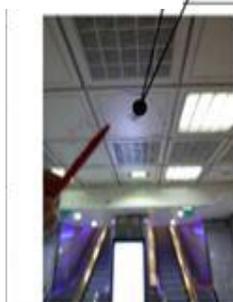
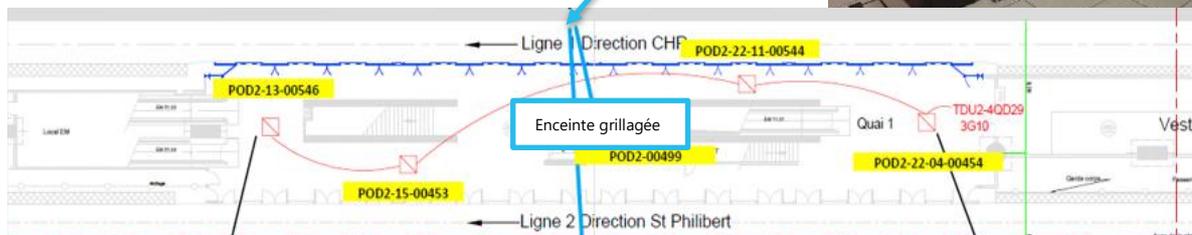
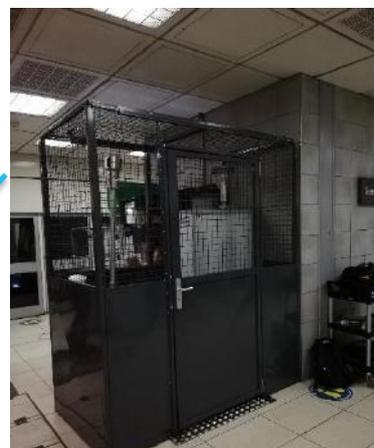
4.2. Localisation

4.2.1. Mesures en milieu de quai

Les mesures ont été réalisées entre le 17 mars et le 26 juillet 2022, sur les 3 périodes d'expérimentation définies :

- Période 1 (P1) « avant mise en route » : du jeudi 17 mars au jeudi 14 avril à 10h40 (mise en route du système Oxyton),
- Période 2 (P2) « fonctionnement du système Oxyton » : du jeudi 14 avril à 10h40 au samedi 25 juin à 16h17,
- Période 3 (P3) « après arrêt » : du samedi 25 juin à 16h17 au mardi 26 juillet à 23h.

Les analyseurs fixes sont installés dans une enceinte grillagée, en milieu de quai, juste à côté du système de traitement d'air Oxyton :



Station gare Lille Flandre : niveau quai

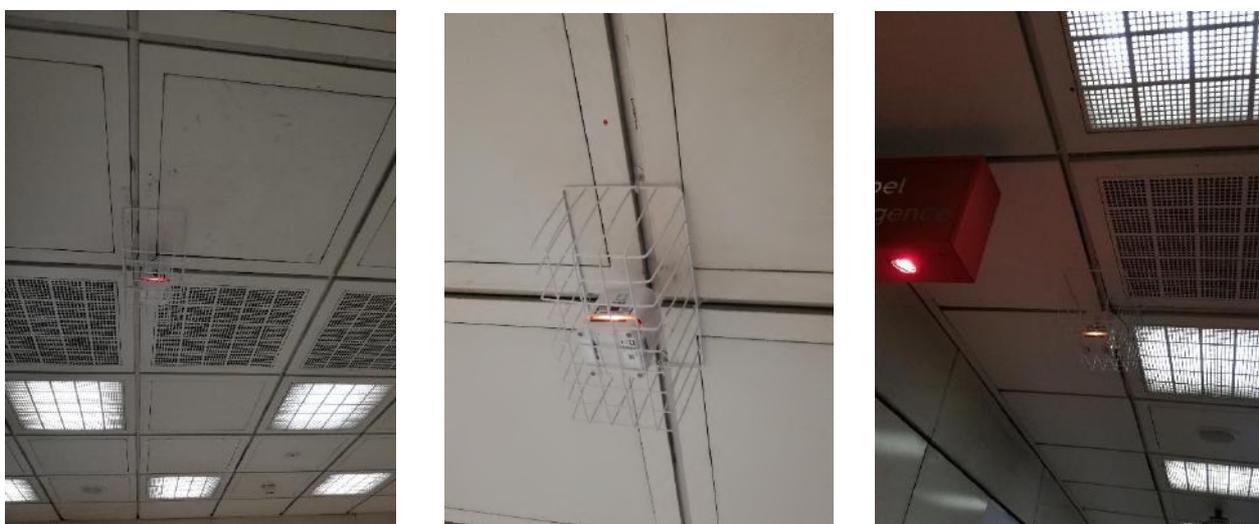
| | | | |
|--|--|--|---------------|
|  EIFFAGE Entreprise Eiffage |  IOVIA KBOUIS Solutions | Ref. principale : 07252229101 001010 | Edition : 1 |
| | | Ref. secondaire : | N° folio : 22 |
| Titre du document : IMPLANTATION COFFRET PC EN GARE LILLE FLANDRE | | Le document est la propriété de Iovia et KBOUIS. Toute réimpression ou utilisation non autorisée sans la permission écrite de la société est formellement interdite. | |
| 135g | | | |

4.2.2. Mesures sur toute la longueur du quai

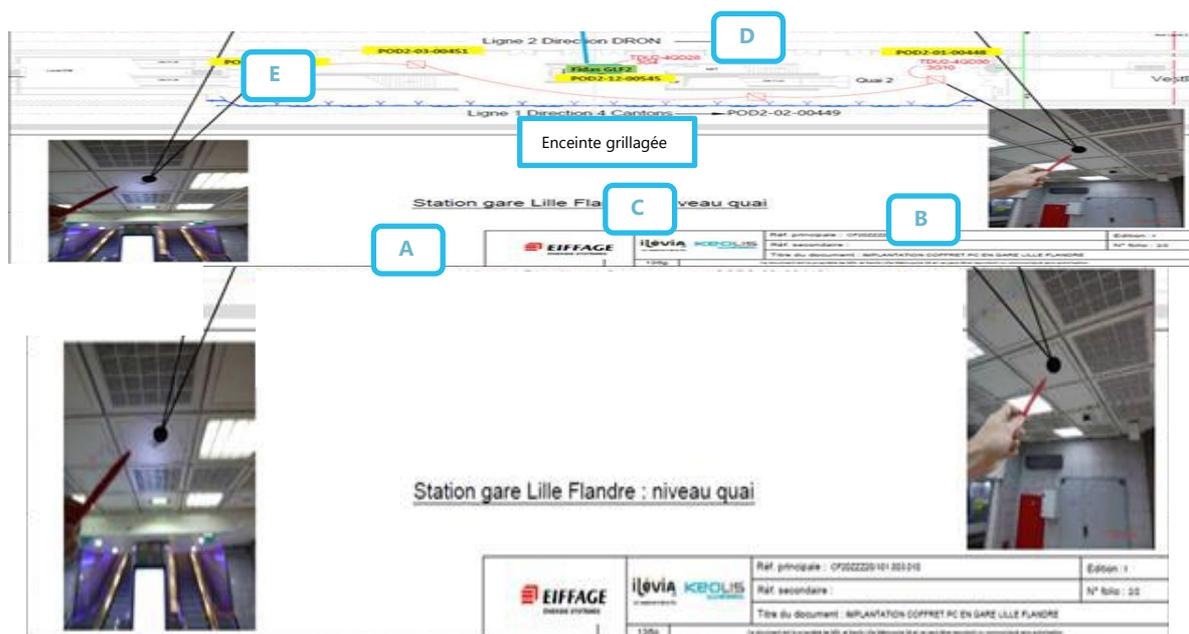
Les mesures ont été réalisées en parallèle aux mesures en milieu de quai, soit entre le 17 mars et le 26 juillet 2022, également sur les 3 périodes d'expérimentation définies :

- Période 1 (P1) « avant mise en route » : du jeudi 17 mars au jeudi 14 avril à 10h40 (mise en route du système Oxyton),
- Période 2 (P2) « fonctionnement du système Oxyton » : du jeudi 14 avril à 10h40 au samedi 25 juin à 16h17,
- Période 3 (P3) « après arrêt » : du samedi 25 juin à 16h17 au mardi 26 juillet à 23h.

Les microcapteurs (POD2) ont été installés au plafond, protégés par une grille, au niveau de système de traitement d'air Oxyton, mais également à distance du système, sur la longueur du quai et notamment au niveau de l'ouverture des portes des rames de métro des 2 lignes :



Les POD2 ont été installés sur toute la longueur du Quai 1, selon le schéma suivant :



4.3. Bilan métrologique

Une maintenance des appareils en milieu de quai a été réalisée avant leur installation, ainsi qu'une phase de test des microcapteurs avant leur déploiement sur toute la longueur du quai.

Une vérification des moyens de mesures en milieu de quai, prévue à mi-campagne, a été effectuée le 18 mai 2022 ainsi qu'en fin de campagne et les microcapteurs ont fait l'objet d'une phase de test en fin de campagne, dans le but d'évaluer si un ou plusieurs appareils ont pu dériver dans le temps.

Une fois les données validées, un taux de saisie minimal est calculé pour chaque paramètre mesuré. Il s'agit du pourcentage de données valides d'un appareil de mesures, sur une période définie (année civile, phase de mesures, semaine...).

Un taux de saisie minimal inférieur à 85% signifie que la concentration moyenne du polluant n'est pas représentative sur le temps d'exposition (ici équivalent à une période de mesures : P1 « avant », P2 « pendant » et P3 « après »).

Les données des dispositifs de mesure des polluants sont systématiquement validées puis agrégées afin de calculer des paramètres statistiques.

Dans cette étude, les taux de couverture des données pour tous les polluants mesurés ont été fournis à la fois pour le dispositif fixe installé en milieu de quai, mais aussi pour les microcapteurs sur toute la longueur du quai (voir le détail des taux de fonctionnement en [Annexe 3](#)). Les données CO₂, Température et HR pour le Q-Trak en milieu de quai et pour la température pour les POD2 A, POD2 B, et POD2 D ne sont pas conformes; elles ont été invalidées.

Les limites de détection (plus petites concentrations pouvant être détectées par les appareils de mesures) pour le cas des dispositifs fixes en milieu de quai et de quantification pour les microcapteurs sur toute la longueur du quai sont indiquées dans le tableau ci-dessous, pour les polluants étudiés.

| Mesures | Polluant (unité) | Limite de détection |
|-------------------------------|--|---------------------|
| En milieu de quai | Particules en suspension PM10($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 3 |
| | Particules fines PM2.5($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 3 |
| | Particules fines PM1($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 3 |
| | Particules ultrafines (p/cm^3) | 500 |
| | Dioxyde de carbone CO ₂ (ppm) | 50 |
| | Température (°C) | -50 |
| | Humidité relative (%) | 1 |
| Sur toute la longueur du quai | Particules en suspension PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 5 |
| | Particules fines PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 5 |
| | Particules fines PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | 5 |
| | Dioxyde de carbone CO ₂ (ppm) | 50 |
| | Température (°C) | -50 |
| | Humidité relative (%) | 1 |

4.4. Méthode d'exploitation des données

4.4.1. En milieu de quai

Pour évaluer le système de filtration Oxyton sur les particules, nous devons pouvoir isoler son influence sur les concentrations en particules en milieu de quai, au plus proche de la filtration au sein de l'ensemble des facteurs d'influences sur les concentrations en particules dans le métro.

Pour cela, il faut, dans un premier temps, identifier les facteurs d'influence des concentrations en particules dans le métro dans un fonctionnement sans filtration. Les principaux facteurs identifiés sont :

- L'exploitation du métro. La fréquence de passage des rames et le nombre d'usagers du métro sur la station GLF ont une grande influence sur les concentrations observées sur le quai comme cela a été démontré dans le rapport Atmo Hauts-de-France N°01/2021/PDES/V0.
- Les usagers.
- Les activités en lien avec les travaux de nuit.
- La ventilation sur les quais

Suite aux informations données par la MEL, la ventilation sur les quais est un facteur d'influence négligeable puisqu'elle n'est pas utilisée à l'heure actuelle en condition de fonctionnement normale. Elle est uniquement activée sur une durée de 15 minutes à une fréquence très faible pour vérifier son bon fonctionnement.

Il ne reste donc que l'exploitation du métro et la fréquentation des usagers comme facteurs d'influence principaux dans le métro, en fonctionnement normal.

Afin d'évaluer le système Oxyton en milieu de quai, il sera nécessaire que nous puissions disposer des informations relatives aux 3 autres facteurs d'influence sur les concentrations mesurées, ainsi que les informations spécifiques en lien avec le fonctionnement du système de filtration.

Les facteurs d'influence identifiés pendant l'expérimentation sont :

- les émissions des particules en lien avec les fréquences de passages de rames en station GLF (Ligne 1 et Ligne 2), au regard du calendrier d'exploitation de KLM,
- la fréquentation du Quai 1 par les usagers de la station GLF,
- les activités en lien avec les travaux de nuit,
- les arrêts du système Oxyton pendant la période de fonctionnement (P2).

Afin de neutraliser les facteurs d'influence que sont : la fréquentation du quai et la fréquence de passage des rames, pour se concentrer sur les autres facteurs dans l'interprétation des variations de concentrations, la piste retenue est d'analyser les concentrations observées sur des journées « type » sur les 3 phases de l'expérimentation : avant, pendant et après filtration.

Ces journées « type » sont définies par la MEL et KLM et correspondent à des journées où la « fréquence de passages des rames » est planifiée au regard de la variable « nombre d'usagers attendus ». Ces journées types sont ainsi définies et comparables entre elles, aux 3 périodes d'expérimentation retenues.

La comparaison de la variabilité horaire par journée type a ainsi pour objectif de comparer les concentrations observées sur chaque période (P1, P2 et P3), sans être influencées par la variation de fréquence de passage et le nombre de passagers. Cela permet de rechercher les corrélations entre les concentrations et les autres variables d'influences comme l'usage d'un système de filtration.

Au regard des données disponibles sur le fonctionnement du métro, d'un commun accord avec la MEL et BIOTEOS, l'analyse sur la base de journées types n'a pu être menée sur les 3 périodes de l'expérimentation. Il apparaît donc impossible de pouvoir isoler l'influence du système de filtration sur les concentrations en particules, des autres facteurs d'influence. La variation de concentrations en particules sur les 3 périodes sera donc interprétée en tenant compte de ces 3 facteurs (fréquence de passage de rames, nombre de passagers et systèmes de filtration) sans pouvoir dissocier leur influence respective de manière claire et non ambiguë.

4.4.2. Sur toute la longueur du quai

Afin d'évaluer le système Oxylon sur toute la longueur du quai, les données des microcapteurs seront comparées entre elles, au cours des 3 périodes d'expérimentation (P1, P2 et P3).

Le microcapteur central (POD installé à proximité du système Oxylon), servira de référence aux 4 autres microcapteurs installés de part et d'autre du quai, et permettra d'évaluer ainsi l'abattement du système de filtration, sur toute la longueur du quai.

5. Résultats de l'étude

5.1. Mesures en milieu de quai

Dans cette partie, les résultats des particules en suspension PM10, des particules fines PM2.5 et PM1, ainsi que des particules ultrafines (PUF) sont présentés. L'exploitation des données de CO₂ n'indique pas de problématique d'accumulation de polluants en milieu de quai, durant toute l'expérimentation.

Les données statistiques, pour l'ensemble des polluants sont disponibles dans les [Annexes 4 et 5](#).

5.1.1. Particules en suspension PM10

Profils journaliers

La variabilité journalière (heures en UTC) des concentrations en PM10, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur le graphique qui suit. Ces profils journaliers sont établis en intégrant tous les jours de la semaine (du lundi au dimanche).

Pour avoir les heures locales, il faut rajouter :

- 1 heure en 1^{ère} période (P1),
- 2 heures en 2^{ème} et 3^{ème} périodes (P2 et P3).

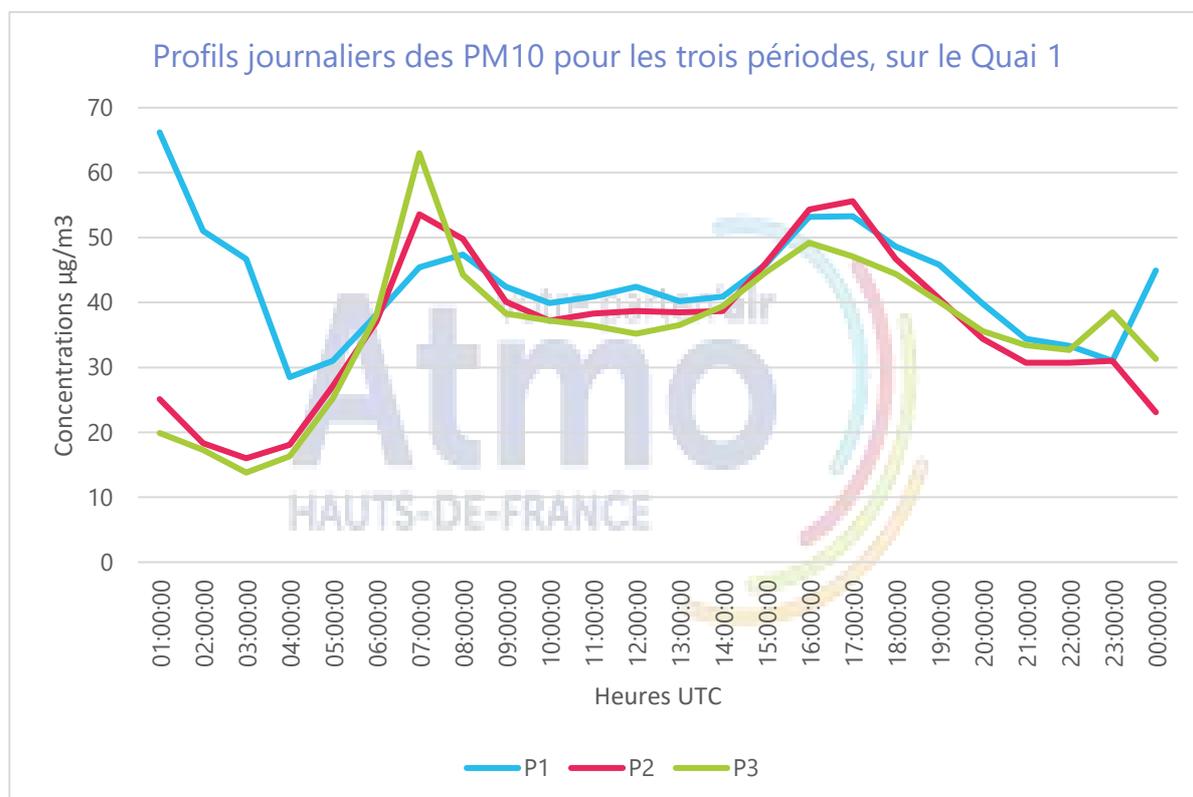


Figure 2 : Profil journalier des concentrations en PM10.

En première période, le profil journalier (Figure 2, P1) présente des pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé entre 7 heures et 8 heures et un pic du soir entre 16 heures et 18 heures. Le pic du soir est plus élevé que celui du matin.

Entre 1 heure (où la valeur maximale est de 66,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, en lien avec les travaux de nuit) et 4 heures, les concentrations baissent.

Le niveau moyen est de 43,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en particules en suspension PM10, avant mise en route du système Oxylon.

Comme pour la première période, le profil journalier obtenu pour la période 2 (P2), montre deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé entre 7 heures et 8 heures et un pic du soir entre 16 heures et 18 heures. Le pic du soir est également plus élevé que celui du matin.

On ne note pas en P2 de pics de concentrations importants, liés aux travaux de nuit.

Globalement, les concentrations en particules en suspension PM10 ont baissé par rapport à P1, avec un niveau moyen de 36,3 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (baisse de 16%). Il faudrait toutefois, prendre en compte que cette deuxième période inclut des vacances scolaires (du 9 avril au 24 avril 2022 inclus).

Pour la période 3 (P3), le profil journalier observé montre aussi deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé à 7 heures et un pic du soir à 16 heures.

Cependant, en raison des mesures de cette P3 en période estivale (à partir du 7 juillet 2022), on observe que le pic du matin est plus élevé que celui du soir. Un 3^{ème} pic, de plus faible concentration, est observé à 23 heures, en lien avec la fin d'exploitation du métro et l'activité de nuit.

Après l'arrêt du système de filtration Oxylon, les concentrations en particules en suspension PM10 restent du même ordre de grandeur qu'en P2, avec un niveau moyen de 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Profils hebdomadaires

Les profils hebdomadaires des concentrations en PM10, pour les trois périodes de l'étude, sont représentés sur le graphique qui suit.

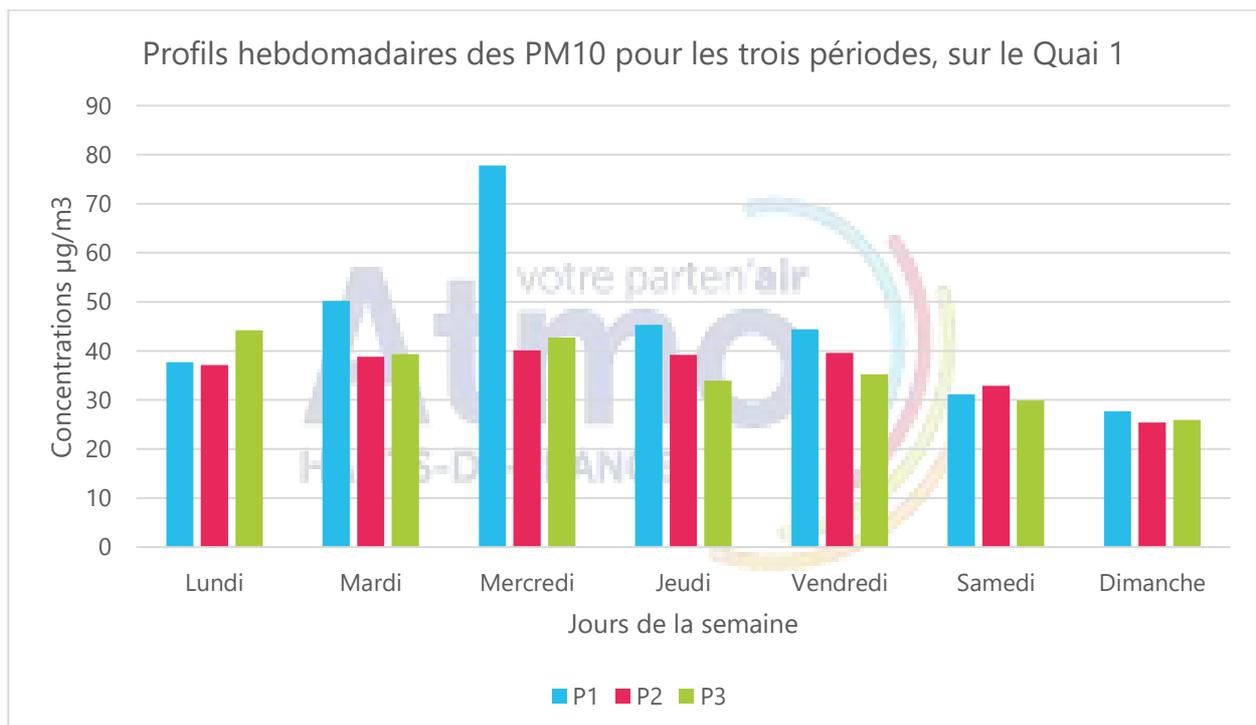


Figure 3 : Profil hebdomadaire des concentrations en PM10.

En première période, le profil hebdomadaire (Figure 3, P1), montre que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés ; elles diminuent le samedi et le dimanche. Cette baisse, le week-end, est en lien avec les fréquences de passage de rames à la Gare Lille Flandres, le planning d'exploitation du métro étant calé sur le taux de fréquentation des usagers. Le niveau moyen est de 43,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et le mercredi présente la valeur la plus importante (77,8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Au cours de la deuxième période (P2), le profil hebdomadaire, montre aussi que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, avec une baisse le samedi et le dimanche. Le niveau moyen en P2 est de 36,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. On observe ainsi une baisse des concentrations entre les périodes 1 et 2, le mercredi présentant à nouveau la valeur la plus importante (40,1 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Les concentrations moyennes sont plus homogènes les jours de semaine en P2 qu'en P1.

Comme pour les deux premières périodes, le profil hebdomadaire présenté en P3, montre que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, en comparaison du week-end. Les profils entre la période 2 et 3 sont proches, avec ici un niveau moyen de 36 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. On note toutefois une légère augmentation des concentrations les lundis et les mercredis, le lundi présentant une valeur légèrement plus haute (44,2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) que le mercredi (42,7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Semaine et week-end

La variabilité journalière (en heures locales) des concentrations en PM10, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent. Les jours ouvrés (du lundi au vendredi) sont distincts des week-ends (samedi-dimanche).

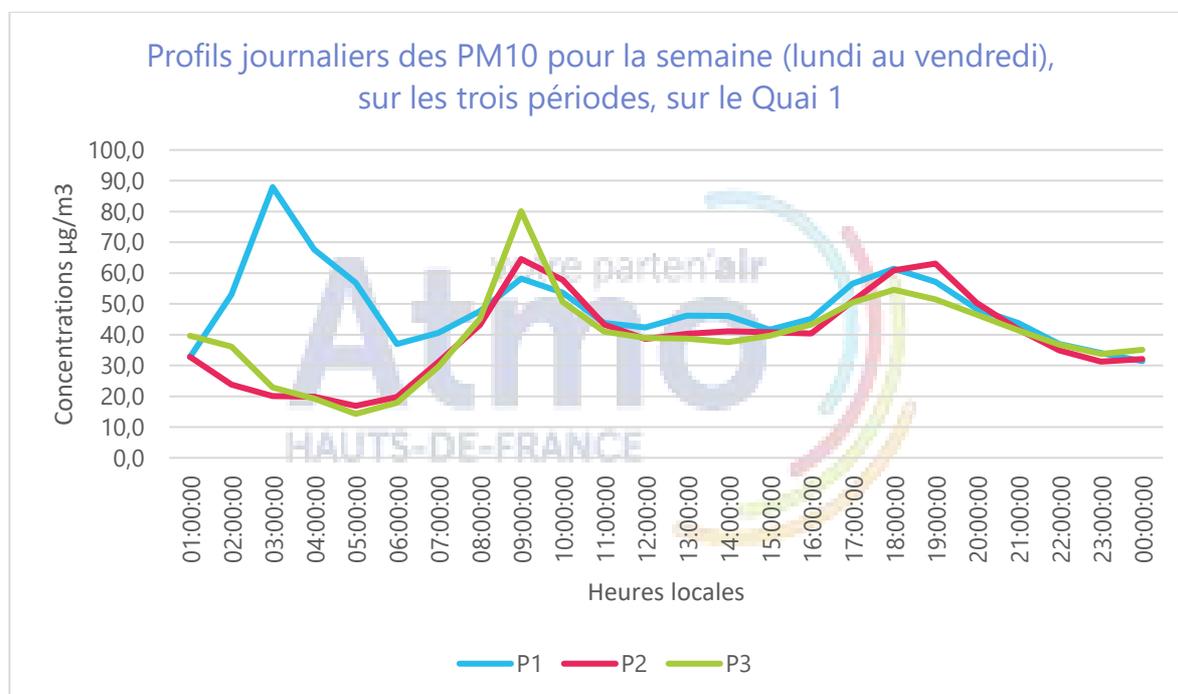


Figure 4 : Profils journaliers des concentrations en PM10 en semaines.

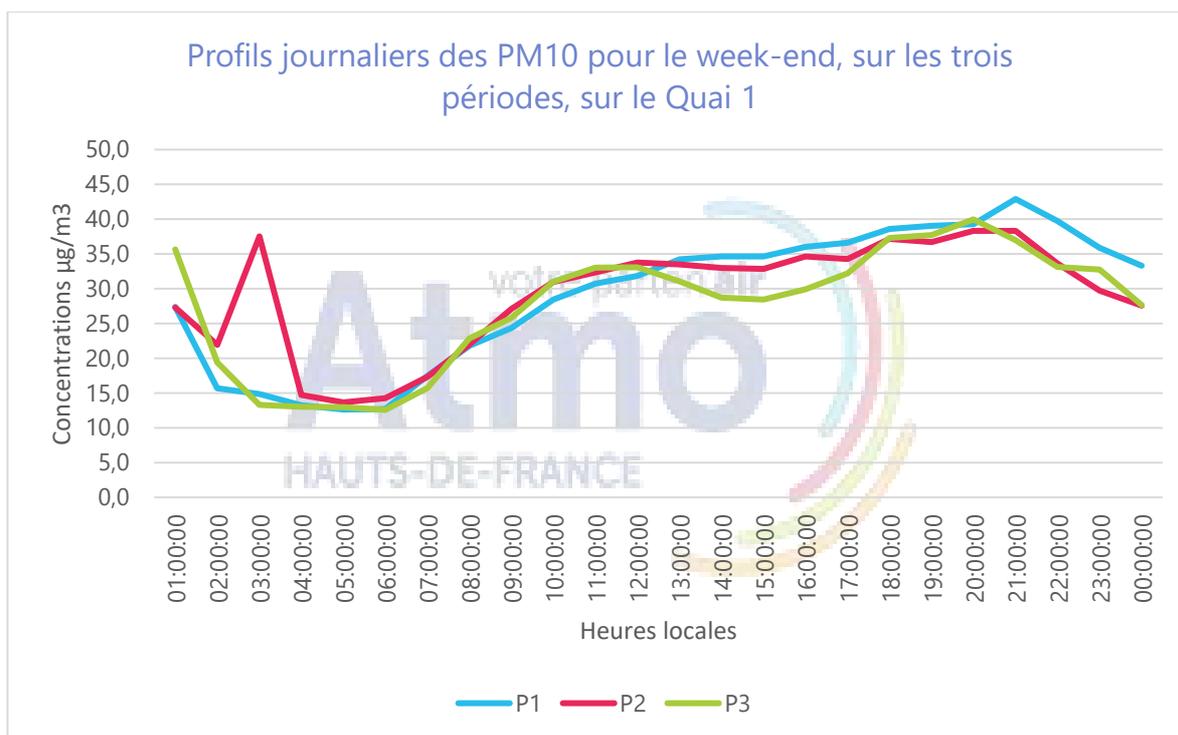


Figure 5 : Profils journaliers des concentrations en PM10 le week-end.

Lors de la première période (Figure 4, P1), le profil journalier en semaine présente des pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé à 9 heures et un pic du soir entre 17 heures et 19 heures. Nous observons aussi un pic de nuit à 3 heures, en lien avec d'importants travaux de nuit fin mars.

Le week-end (Figure 5), les concentrations en PM10 sont basses aux heures de nuit (période de fermeture du métro) et augmentent tout au long de la journée (période de fonctionnement du métro), avec un maximum à 21 heures.

Pendant le fonctionnement du système Oxylon (P2), le profil journalier en semaine présente deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé à 9 heures et un pic du soir entre 18 heures et 19 heures. Les concentrations relevées lors de ces 2 pics sont plus élevées en P2 qu'en P1. On ne note pas de travaux de nuit en semaine ayant généré un pic important de PM10.

Le week-end, les concentrations sont moins marquées qu'en semaine ; elles augmentent progressivement entre 6 heures et 21 heures, puis diminuent. En dehors d'un pic de nuit (à 3 heures), l'allure du profil en P2 est globalement similaire à celui de la période 1.

Au cours de la troisième période (P3), le profil journalier en semaine présente, comme en P1 et P2, deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé à 9 heures et un pic du soir à 18 heures. Le pic du matin est bien plus élevé que celui du soir.

Le week-end, les concentrations sont plus marquées qu'en première et deuxième périodes. De manière globale, les niveaux en PM10 augmentent tout au long de la journée jusqu'à 20 heures, laissant apparaître 2 pics étalés, puis diminuent.

En semaine, comme le week-end, on note des concentrations plus élevées vers 1 heure, qui diminuent ensuite jusqu'à l'ouverture du métro aux usagers, de nouveau en lien avec des travaux de nuit.

Comparaison de la variabilité horaire, par journée type de trafic (avant, pendant, après)

En l'absence de journées types, un travail de comparaison de la variabilité hebdomadaire, semaine par semaine, sur toute la durée de l'expérimentation, a été réalisé (graphiques en [Annexe 6](#)), ainsi que par périodes d'expérimentation : P1, P2 et P3 (graphiques en [Annexe 7](#)).

L'étude des concentrations en PM10 avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxylon montre que :

Sur les données horaires, pour les trois périodes de mesures, on observe deux pics aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin entre 7 heures et 9 heures, et un pic du soir entre 17 heures et 19 heures.

Le pic du matin est plus élevé en période 3 ($P3 > P2 > P1$). Le pic du soir est, quant à lui, plus élevé en période 2 qu'en P1 ($P2 > P1 > P3$).

Les concentrations observées en journée, entre les deux pics, sont plus basses en P2 et P3 qu'en P1.

Concernant les travaux de nuit, en dehors de l'ouverture du métro aux usagers, un pic de travaux est bien visible en P1 (à 2h, heure locale), ainsi qu'un petit pic en P3 (à 1h, heure locale).

Globalement, les profils journaliers entre P2 et P3 sont assez similaires.

Sur les données journalières, pour les 3 périodes, les valeurs les plus basses sont observées le week-end (samedi > dimanche).

En P1 et P2, le mercredi présente les valeurs les plus importantes, tandis qu'en P3 c'est le lundi (valeur proche du mercredi).

Les concentrations diminuent entre P1 et P2 ; elles sont similaires entre P2 et P3 ($P3 =$ période estivale).

Concernant les profils semaine et les profils week-end, on observe des profils plus hétérogènes du lundi au vendredi, en lien avec les fréquences de passage de rames.

En semaine, on note un pic en P1, en début de journée, en lien avec les travaux de nuit de fin mars.

Le pic du matin est le plus faible en P1 qu'en P2 (avec $P3 > P2 > P1$).

Le pic du soir est lui plus élevé en P2 (avec $P2 > P1 > P3$).

Le week-end, les profils entre les trois périodes sont similaires. En journée : 2 pics + marqués en P3 qu'en P1 et P2. La nuit, le pic de travaux est plus marqué en P2-P3 qu'en P1.

Les concentrations en P1 sont les plus élevées, et P2 et P3 sont proches entre elles.

En l'absence de journées types de trafic comparables sur les 3 périodes (P1, P2 et P3), il s'avère impossible de conclure, de manière claire et non ambiguë, sur le système Oxylon sur les concentrations en particules en suspension PM10 en milieu de quai.

5.1.2. Particules fines PM2.5

Profils journaliers

La variabilité journalière (heures en UTC) des concentrations en PM2.5, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur le graphique qui suit. Ces profils journaliers sont établis en intégrant tous les jours de la semaine (du lundi au dimanche).

Pour avoir les heures locales, il faut rajouter :

- 1 heure en 1^{ère} période (P1),
- 2 heures en 2^{ème} et 3^{ème} période (P2 et P3).

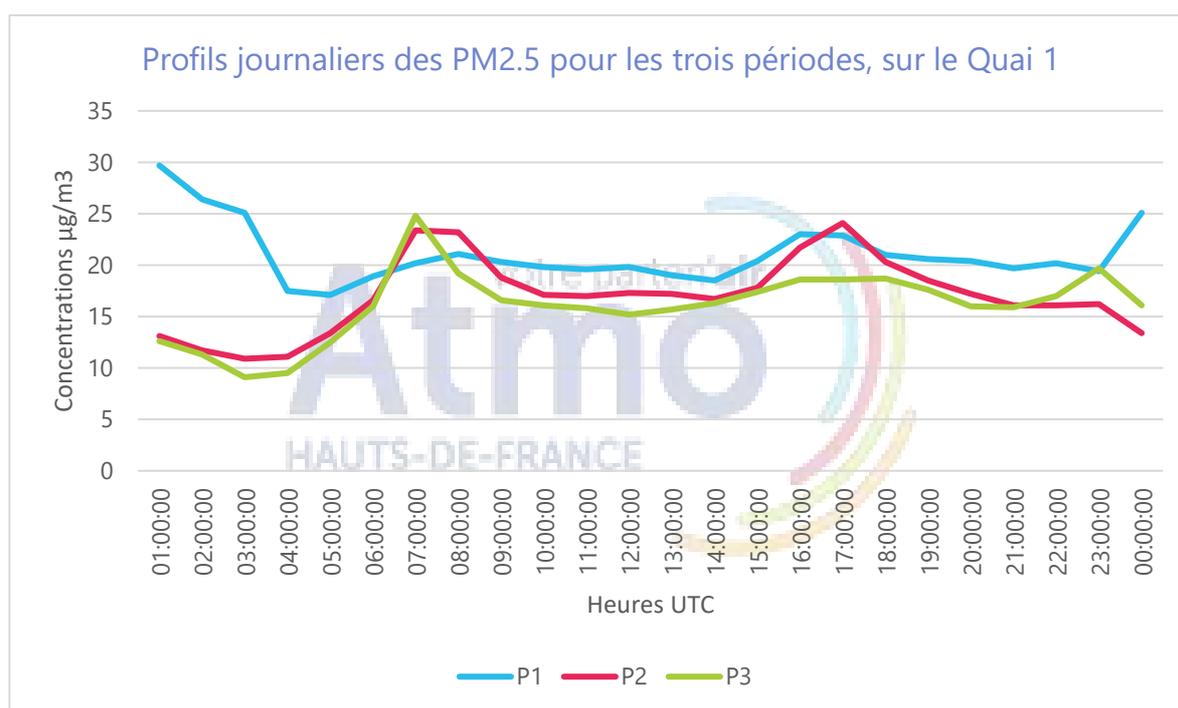


Figure 6 : Profil journalier des concentrations en PM2.5.

Au cours de la 1^{ère} période, le profil journalier des PM2.5 (Figure 6, P1), présente des pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé entre 7 heures et 9 heures et un pic du soir entre 16 heures et 18 heures. Le pic du soir est plus élevé que celui du matin. Les concentrations baissent entre 1 heure et 4 heures (avec une valeur maximale de 29,7 µg/m³ à 1 heure, en lien avec les travaux de nuit). Le niveau de concentration moyenne en P1 est de 21,2 µg/m³.

Au cours de la deuxième période (P2), le profil journalier présente également deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé entre 7 heures et 9 heures et un pic du soir à 17 heures. Le pic du soir est cette fois le plus élevé. On observe aussi un petit pic à 23 heures. Le niveau de concentration moyenne en P2 est de 17 µg/m³.

Pendant la troisième période (P3), le profil journalier des PM2.5 montre aussi des pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin, le plus élevé, observé à 7 heures et un pic du soir entre 16 heures et 18 heures. On observe aussi un pic bien marqué à 23 heures. Pour cette troisième période, les concentrations sont plus basses que celles observées en deuxième période, avec une concentration moyenne en P3 de 16,2 µg/m³.

Profils hebdomadaires

Les profils hebdomadaires des concentrations en PM_{2.5}, pour les trois périodes de l'étude, sont représentés sur le graphique qui suit.

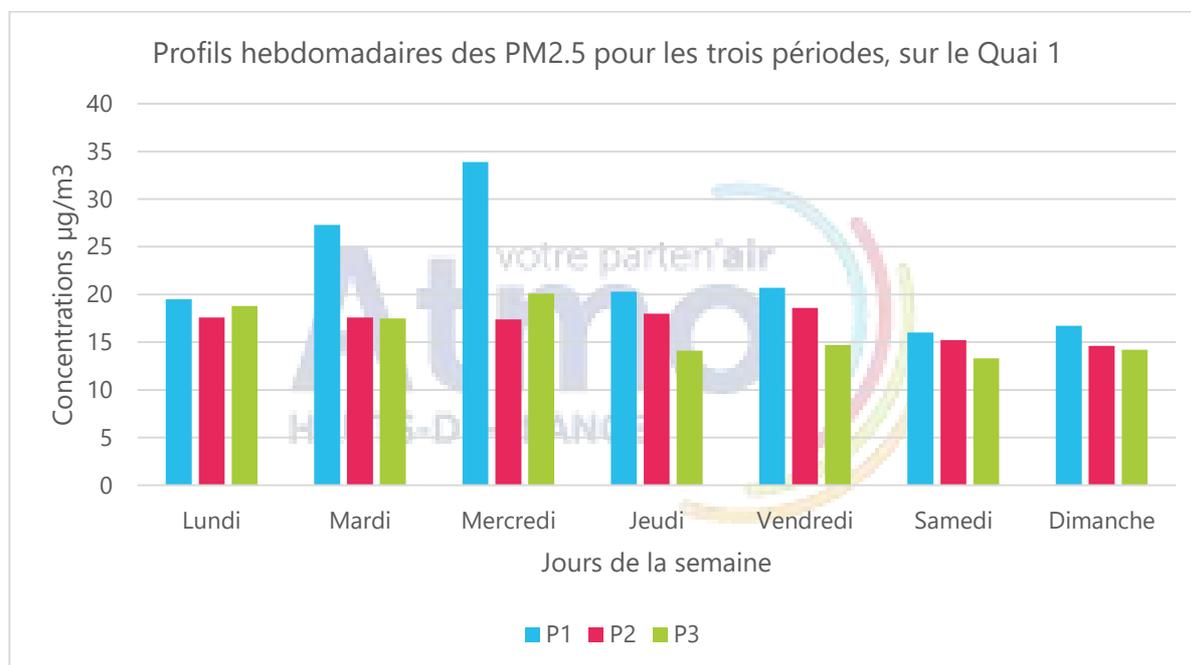


Figure 7 : Profil hebdomadaire des concentrations en PM_{2.5}.

Comme pour les PM₁₀, le profil hebdomadaire des PM_{2.5} en P1 (Figure 7), montre que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche. Cette baisse le week-end est en lien avec la baisse de la fréquentation (fréquences de passages de rames du métro). Le niveau moyen est de 21,4 µg/m³ et le mercredi présente la valeur la plus importante (33,9 µg/m³).

Pendant le fonctionnement du système, le profil hebdomadaire (P2), montre aussi que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche (baisse de la fréquentation). Les concentrations moyennes en PM_{2.5} ont baissé par rapport à la première période. Le niveau moyen est de 17 µg/m³ et le vendredi présente la valeur la plus importante (18,6 µg/m³). Les niveaux moyens journaliers sont plus homogènes les jours ouvrés en P2 qu'en P1.

Lors de la troisième période, le profil hebdomadaire, montre aussi ici que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche. Entre la deuxième et la troisième période, les concentrations moyennes en PM_{2.5} sont similaires. Le niveau moyen est de 16 µg/m³ et c'est le mercredi qui a la valeur la plus importante (20,1 µg/m³).

Semaine et week-end

La variabilité journalière (en heures locale) des concentrations en PM_{2.5}, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent. Les jours ouvrés (du lundi au vendredi) sont distincts des week-ends.

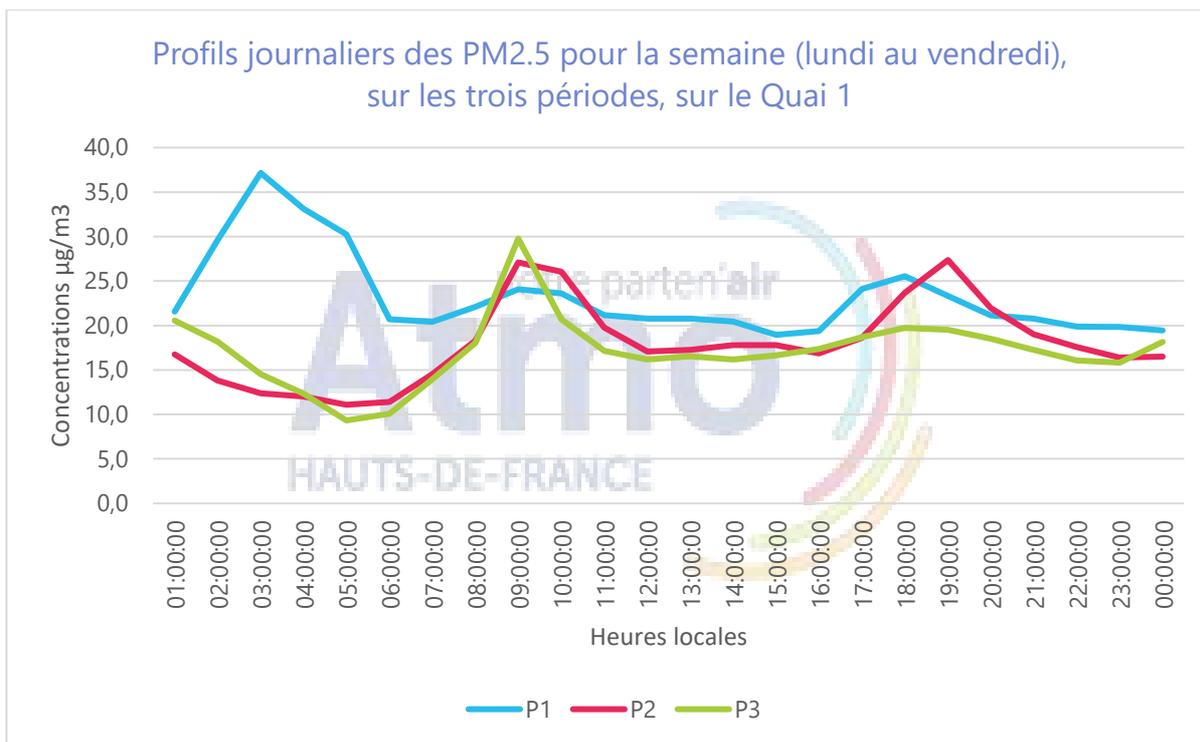


Figure 8 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5 la semaine.

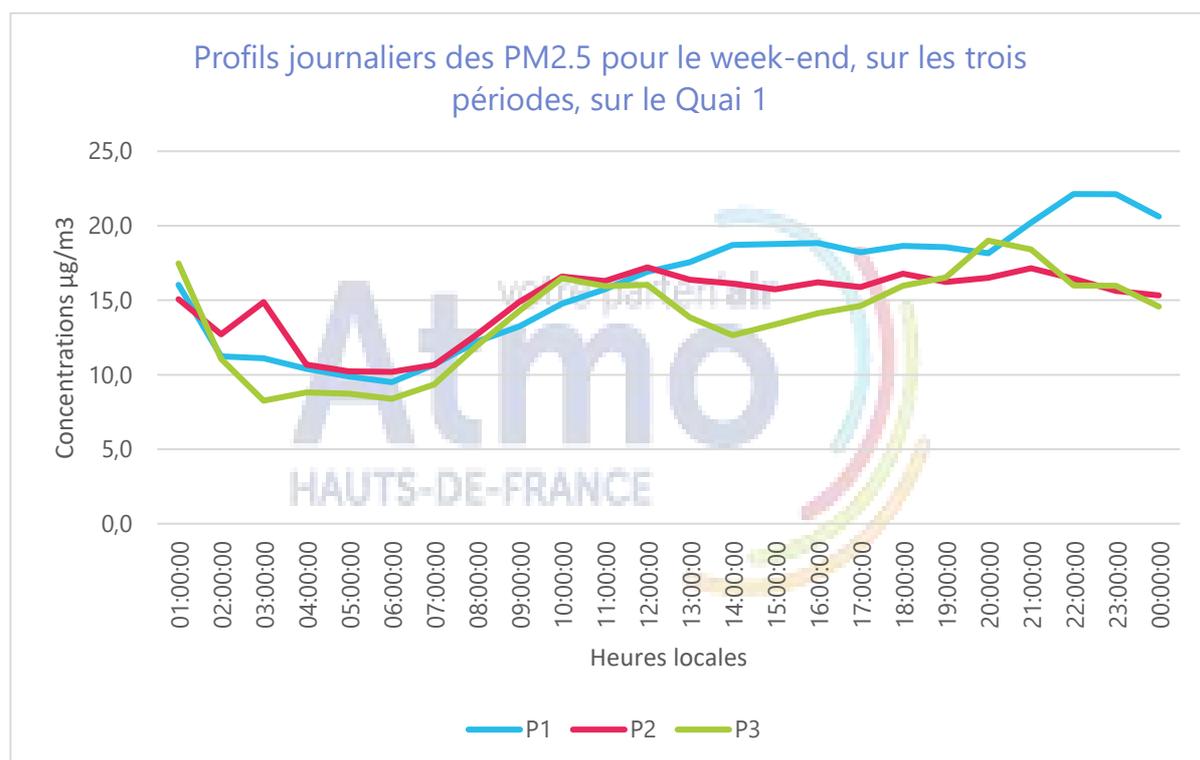


Figure 9 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5 le week-end.

En première période, le profil journalier (Figure 8, P1) présente des pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un petit pic du matin observé entre 8 heures et 10 heures, et un pic du soir, plus marqué, à 18 heures. A 3 heures, on observe un pic de nuit (en lien avec des travaux dans le métro). Le week-end (Figure 9), les concentrations en PM2.5 sont plus basses aux heures de nuit et augmentent régulièrement, tout au long de la journée.

Concernant la deuxième période (P2), comme ce qui a été vu pour les PM10, le profil journalier des PM2.5 montre deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé à 9 heures et un pic du soir à 19 heures. Les concentrations, aux heures des pics sont plus élevées en P2 qu'en P1. Le week-end, les pics de concentrations sont bien moins marqués que ceux observés en semaine. Nous notons un pic de nuit à 3 heures et l'allure du profil est globalement similaire à celui de la période 1.

Pour la troisième période (P3), en semaine, le profil journalier des PM2.5 présente aussi deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin, plus élevé, à 9 heures et un pic du soir entre 17 heures et 19 heures. Le week-end, les pics du matin et du soir sont bien plus visibles que ce qui a été en période 1 et 2. De manière générale, le profil a la même allure pour les 3 périodes.

Comparaison de la variabilité horaire, par journée type de trafic (avant, pendant, après)

En l'absence de journées types, un travail de comparaison de la variabilité hebdomadaire, semaine par semaine, sur toute la durée de l'expérimentation, a été réalisé (graphiques en [Annexe 6](#)), ainsi que par périodes d'expérimentation : P1, P2 et P3 (graphiques en [Annexe 7](#)).

L'étude des concentrations en PM2.5 avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxylon montre que les conclusions sont identiques à celles des particules en suspension PM10.

En journée, on note 2 pics de concentrations (matin et soir) au cours des 3 périodes, le pic le plus élevé étant observé le soir en P1 et P2 ($P2 > P1$) et le matin en P3. Entre ces pics, les concentrations sont plus basses en P2 et P3 qu'en P1. Globalement, les profils P2 et P3 sont assez similaires.

Concernant les travaux de nuit (en dehors de l'ouverture du métro aux usagers), les pics en P1 et P3 sont également visibles.

Sur les données journalières, sur la durée de l'expérimentation, les valeurs les plus basses sont observées le week-end. En semaine, les concentrations sont plus importantes le mercredi avant et après l'expérimentation, et le vendredi pendant le fonctionnement du système Oxylon.

Les concentrations diminuent en période de fonctionnement du système Oxylon puis restent similaires après l'arrêt du système, en lien avec la période estivale (fréquence de passages de rames qui diminue, adaptée à la fréquentation du métro par les usagers).

Les concentrations du lundi au vendredi sont hétérogènes, en lien avec les fréquences de passage de rames, plus élevées avant mise en route du système Oxylon et similaires entre la période de fonctionnement et après l'arrêt du système. Le week-end, les profils entre les trois périodes sont similaires.

En l'absence de journées types de trafic comparables sur les 3 périodes (P1, P2 et P3), il s'avère impossible de conclure, de manière claire et non ambiguë, sur le système Oxylon sur les concentrations en particules fines PM2.5 en milieu de quai.

5.1.3. Particules fines PM1

Profils journaliers

La variabilité journalière (heures en UTC) des concentrations en PM1, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur le graphique qui suit. Ces profils journaliers sont établis en intégrant tous les jours de la semaine (du lundi au dimanche).

Pour avoir les heures locales, il faut rajouter :

- 1 heure en 1^{ère} période (P1),
- 2 heures en 2^{ème} et 3^{ème} période (P2 et P3).

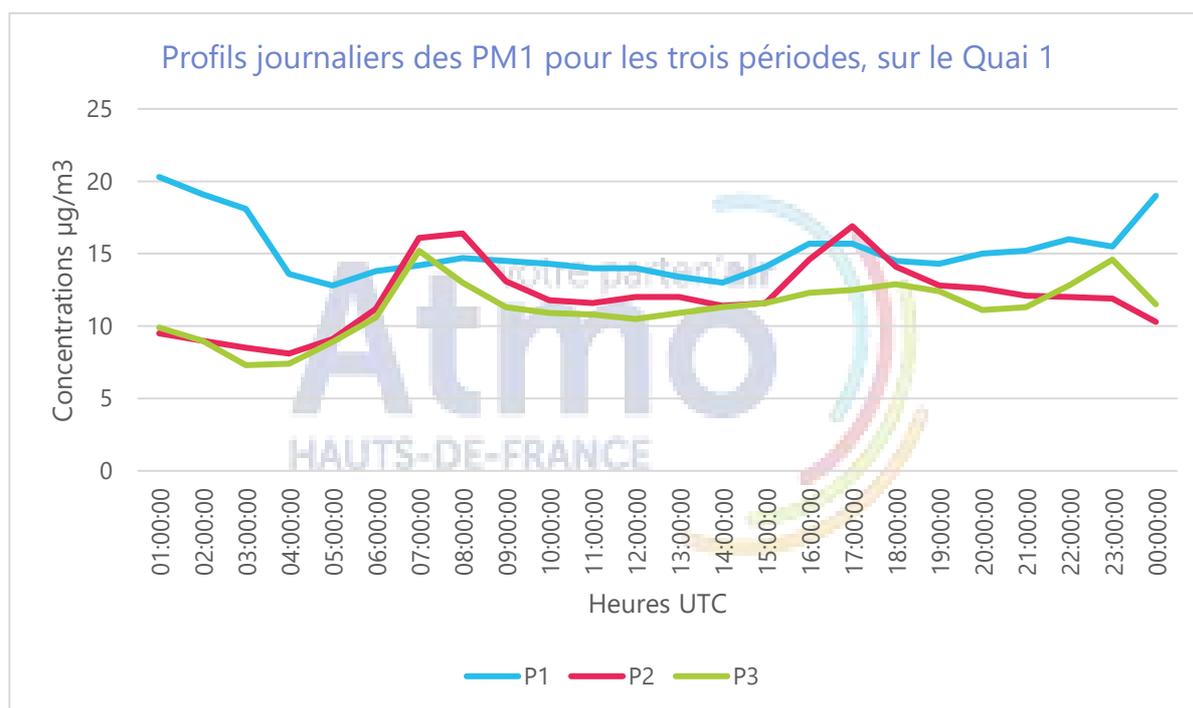


Figure 10 : Profil journalier des concentrations en PM1.

Lors de la première période, le profil journalier des PM1 (Figure 10), montre un pic du soir entre 16 heures et 18 heures. Le matin et en journée, les concentrations sont plus ou moins constantes. A 1 heure, on observe un pic, en lien avec les travaux de nuit, puis les concentrations baissent jusqu'à 5 heures. Le niveau de concentration moyenne en P1 est de 15,3 µg/m³.

Pendant la deuxième période (P2), le profil journalier présente deux pics, bien définis, de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé entre 7 heures et 8 heures et un pic du soir à 17 heures. Le niveau de concentration moyenne ici est de 12 µg/m³.

Comme observé avec les particules PM2.5, en période 3 (P3), le profil journalier des PM1 présente un pic du matin (7h) bien plus défini et plus important que celui du soir (17-19h).

On observe aussi un pic bien marqué à 23 heures. Les concentrations ici sont plus basses que celles en deuxième période, avec un niveau moyen de 11,3 µg/m³.

Profils hebdomadaires

Les profils hebdomadaires des concentrations en PM1, pour les trois périodes de l'étude, sont représentés sur le graphique qui suit.

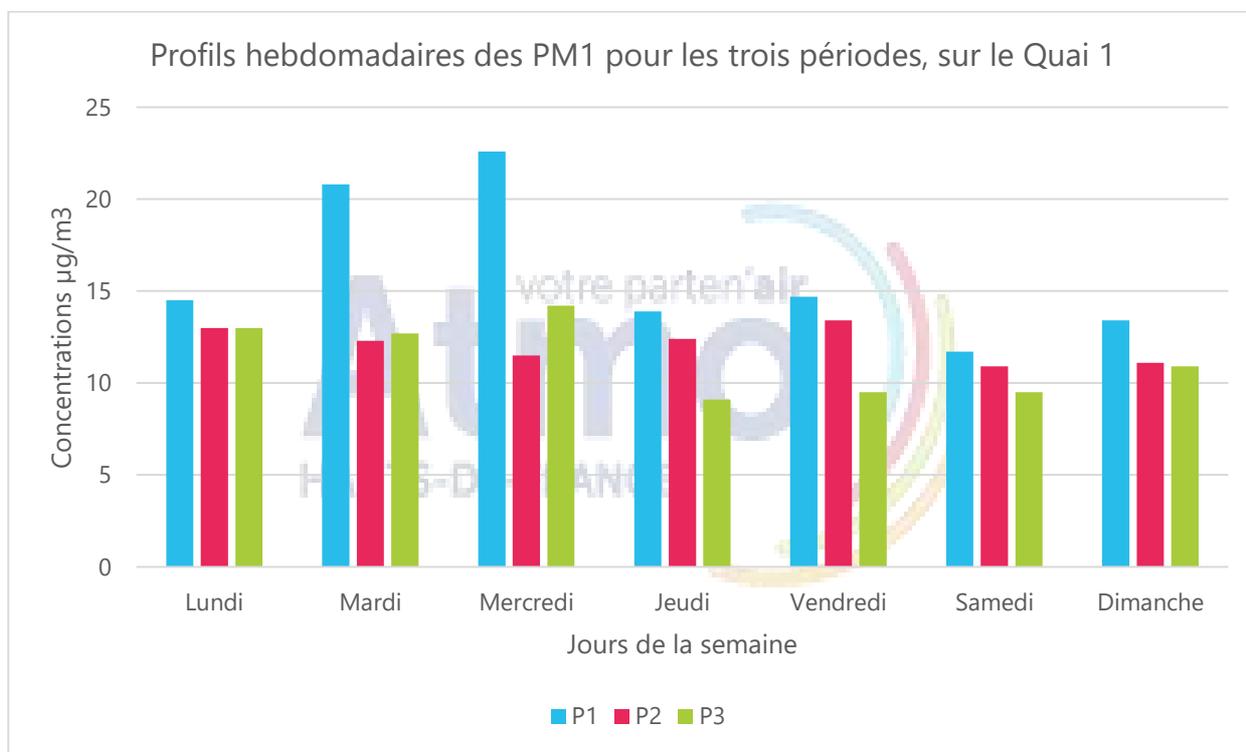


Figure 11 : Profil hebdomadaire des concentrations en PM1.

Comme pour les PM10 et les PM2.5, le profil hebdomadaire des PM1 en P1 (Figure 11), montre que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche (en lien avec la baisse de la fréquentation). Le niveau moyen est de $14,9 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et le mercredi présente la valeur la plus importante ($22,6 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Lors du fonctionnement du système Oxylon, le profil hebdomadaire (P2), montre aussi que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche. Cette baisse le week-end est en lien avec la baisse de la fréquentation. Les concentrations moyennes en PM1 ont baissé par rapport à la première période. Ici le niveau moyen est de $12,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et c'est le vendredi qui présente la valeur la plus importante ($13,4 \mu\text{g}/\text{m}^3$). Comme pour les PM10 et les PM2.5, on observe des concentrations moyennes journalières plus homogènes les jours ouvrés.

Lors de la troisième période, le profil hebdomadaire montre aussi ici que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche. Les profils hebdomadaires entre les périodes 2 et 3 sont similaires. Le niveau moyen est de $11 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et le mercredi présente la valeur la plus importante ($14,2 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Semaine et week-end

La variabilité journalière (en heures locales) des concentrations en PM1, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent. Les jours ouvrés sont distincts des week-ends.

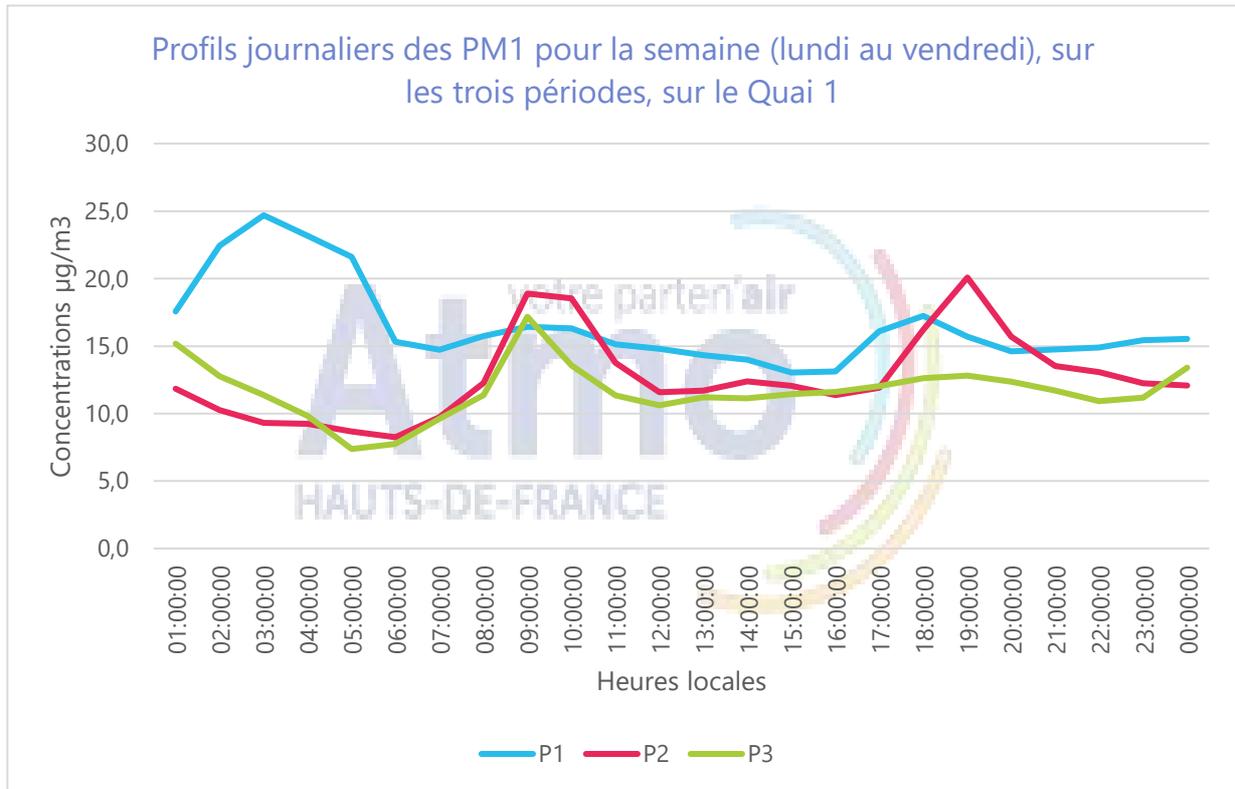


Figure 12 : Profils journaliers des concentrations en PM1 la semaine.

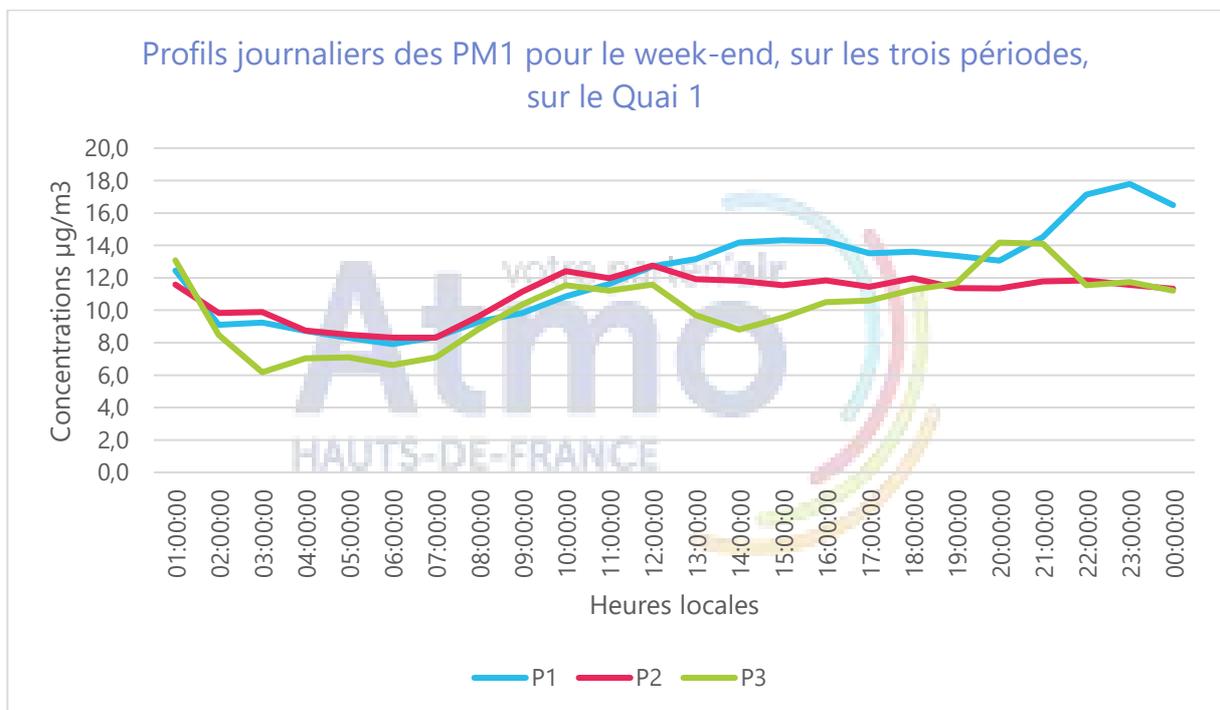


Figure 13 : Profils journaliers des concentrations en PM1 le week-end.

Le profil journalier en semaine des PM1 (Figure 12), pour la première période (P1), montre un pic du soir à 18 heures. Celui du matin n'est pas visible (plus lissé). On observe aussi un pic de concentration élevé, entre 2 heures et 5 heures, en lien avec les travaux de nuit de fin mars.

Le week-end (Figure 13), globalement les niveaux en PM1 sont plus bas la nuit et augmentent tout au long de la journée.

En deuxième période (P2), le profil journalier en semaine présente deux pics de concentrations aux heures de fréquentation les plus importantes : un pic du matin observé à 9 heures, et un pic du soir, plus élevé, à 19 heures.

Le week-end, comme pour les PM2.5, il n'y a pas de pics et les niveaux augmentent tout au long de la journée.

En troisième période (P3), le profil journalier en semaine ne présente qu'un pic de concentrations à 9 heures. Cela correspond aux heures d'affluence de fréquentation. Le reste de la journée, les niveaux en PM1 varient peu et restent globalement constants.

Le week-end, les pics en journée sont plus marqués que pour les deux périodes précédentes.

Comparaison de la variabilité horaire, par journée type de trafic (avant, pendant, après)

En l'absence de journées types, un travail de comparaison de la variabilité hebdomadaire, semaine par semaine, sur toute la durée de l'expérimentation, a été réalisé (graphiques en [Annexe 6](#)), ainsi que par périodes d'expérimentation : P1, P2 et P3 (graphiques en [Annexe 7](#)).

L'étude des concentrations en PM1 avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxylon montre que les conclusions sont similaires à celles des particules en suspension PM10 et des particules fines PM2.5, hormis sur deux points :

- ***le pic du matin en PM1 est moins visible avant la mise en route du système Oxylon, que pendant son fonctionnement ;***
- ***le vendredi présente les concentrations les plus élevées en PM1 pendant la filtration et plus le mercredi ; après l'arrêt du système Oxylon, c'est de nouveau le mercredi.***

En l'absence de journées types de trafic comparables sur les 3 périodes (P1, P2 et P3), il s'avère impossible de conclure, de manière claire et non ambiguë, sur le système Oxylon sur les concentrations en particules fines PM1 en milieu de quai.

5.1.4. Particules ultrafines (PUF)

Profils journaliers

La variabilité journalière (heures en UTC) des concentrations en PUF, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur le graphique qui suit. Ces profils journaliers sont établis en intégrant tous les jours de la semaine (du lundi au dimanche).

Pour avoir les heures locales, il faut rajouter :

- 1 heure en 1^{ère} période (P1),
- 2 heures en 2^{ème} et 3^{ème} période (P2 et P3).

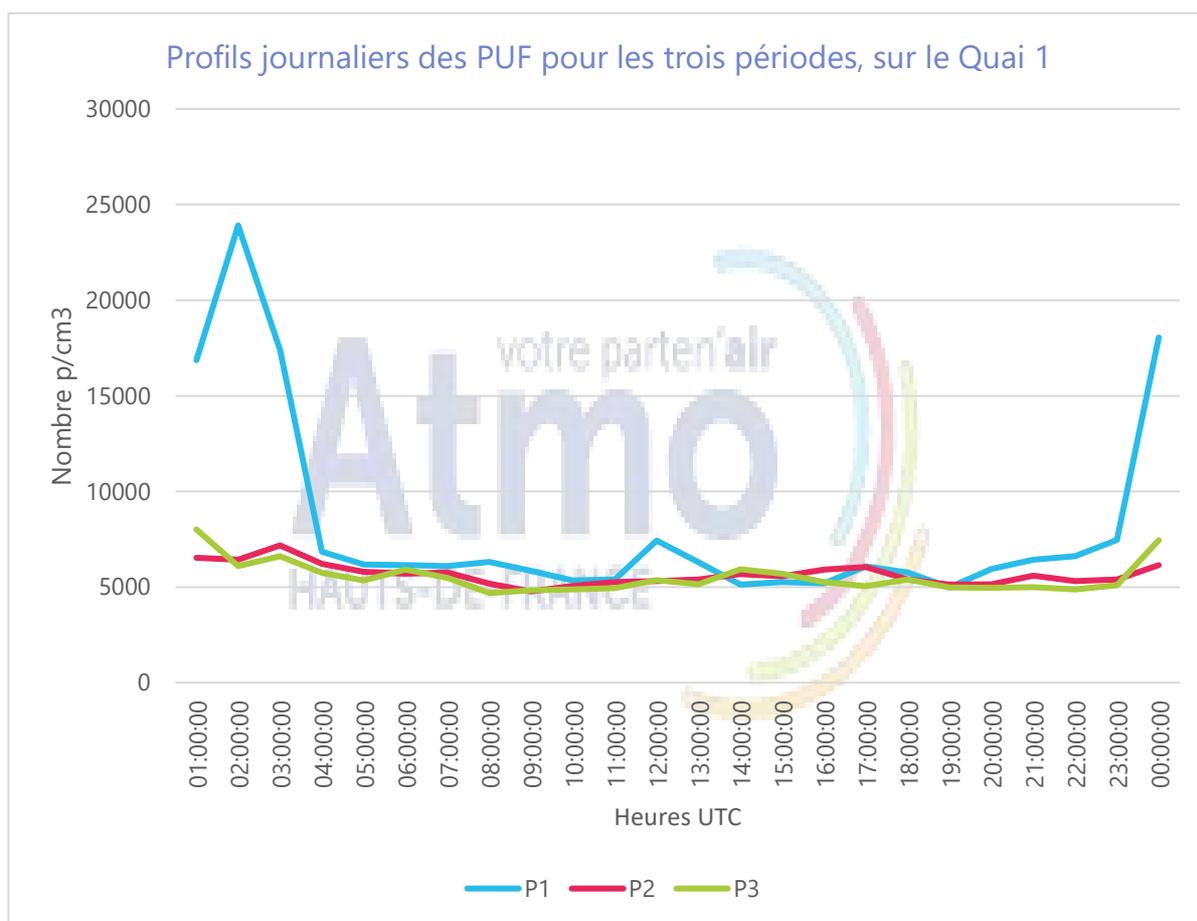


Figure 14 : Profil journalier des concentrations en PUF.

Au cours de la première période, le profil journalier des PUF (Figure 14, P1), présente un pic important à 2 heures, en lien avec les travaux de nuit. En journée, en dehors d'un pic à 12 heures, les niveaux sont globalement constants en journée, entre 5000 et 7000 p/cm³.

Au cours de la deuxième période (P2), les niveaux des PUF baissent par rapport à la période précédente. Le profil journalier présente un petit pic de nuit à 3 heures et un petit pic du soir à 17 heures. On observe un « niveau de fond », qui était visible également en P1, entre 5000 et 6000 p/cm³.

Lors de la troisième période (P3), le profil journalier des PUF est similaire à celui en deuxième période. Les niveaux moyens sont globalement constants tout au long de la journée.

Comme pour les périodes précédentes, le « niveau de fond » reste stable, autour de 5000 p/cm³.

Profils hebdomadaires

Les profils hebdomadaires des concentrations en PUF, pour les trois périodes de l'étude, sont représentés sur le graphique qui suit.

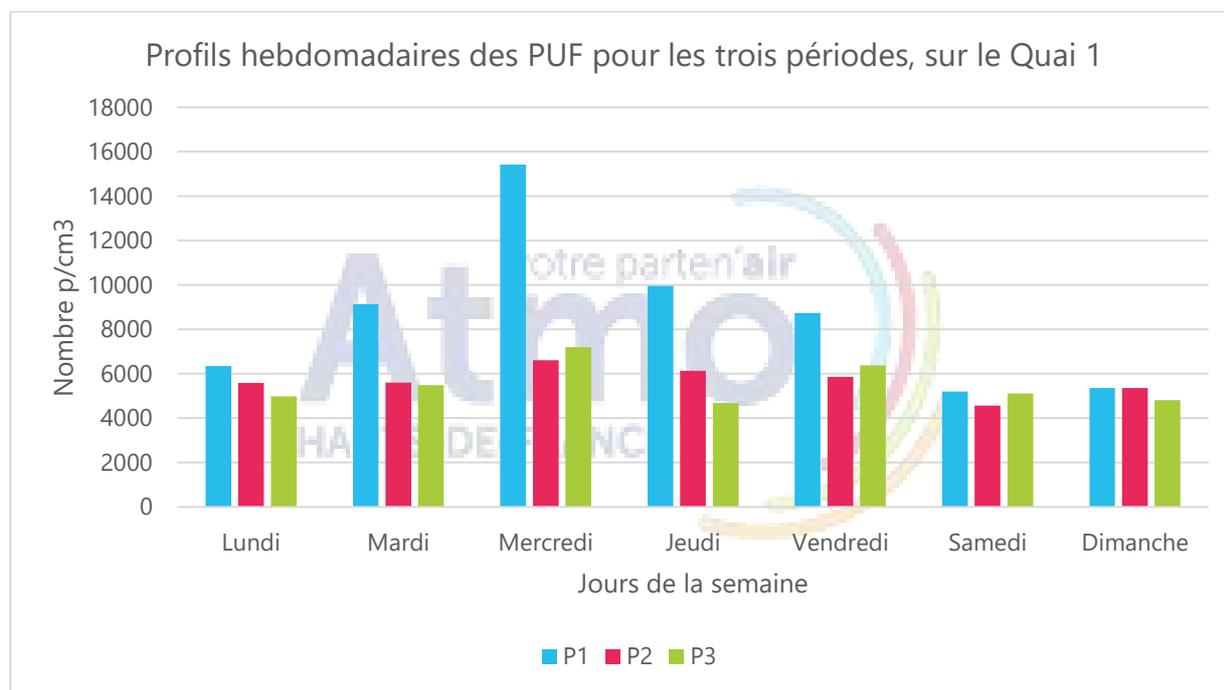


Figure 15 : Profil hebdomadaire des concentrations en PUF.

Comme observé pour les paramètres précédents, le profil hebdomadaire des PUF en période 1 (Figure 15, P1), montre que les niveaux des PUF les plus élevés sont observés les jours ouvrés, et qu'ils diminuent le samedi et le dimanche. Le niveau moyen est de 8368 p/cm³ et le mercredi présente la valeur la plus importante (15 420 p/cm³).

Lors du fonctionnement du système Oxyton, le profil hebdomadaire (P2), montre aussi que les concentrations les plus élevées sont observées les jours ouvrés, et qu'elles diminuent le samedi et le dimanche. Les niveaux moyens des PUF ont baissé par rapport à la première période. Ici le niveau moyen est de 5664 p/cm³ et c'est le mercredi qui présente la valeur la plus importante (6610 p/cm³).

Lors de la troisième période (P3), le profil hebdomadaire des PUF montre aussi que les niveaux les plus élevés sont observés les jours ouvrés, et qu'ils diminuent le samedi et le dimanche. Le profil ici est similaire à celui de la période 2. Le niveau moyen est de 5488 p/cm³ et le mercredi présente la valeur la plus importante (7200 p/cm³).

Evolution des concentrations journalières

Les particules ultrafines ont été mesurées par fraction de 20 nm à 1000 nm. Le graphique qui suit présente leur évolution journalière par canaux sur toute la durée de l'étude. Une représentation de cette évolution par phase (P1, P2 et P3) est disponible en [Annexe 8](#).

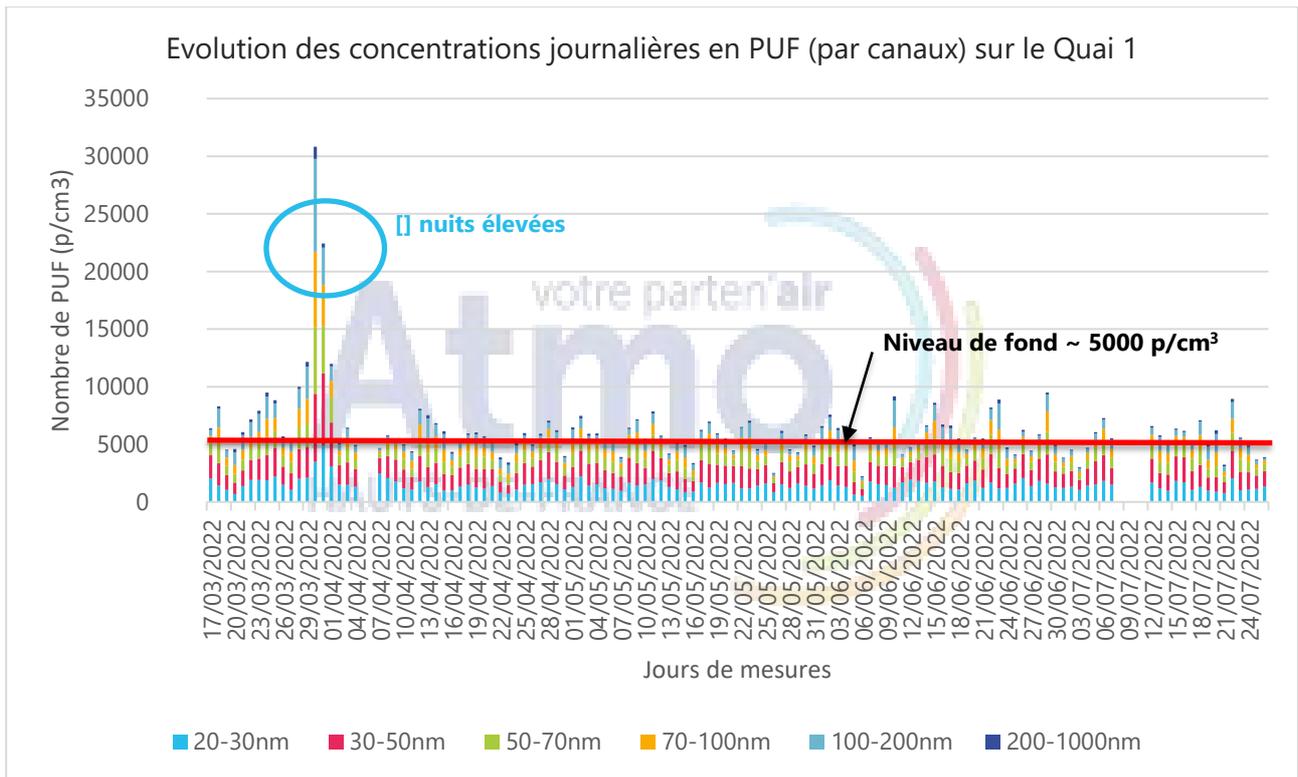


Figure 16 : Evolution journalière des PUF par canaux sur toute la durée de l'étude.

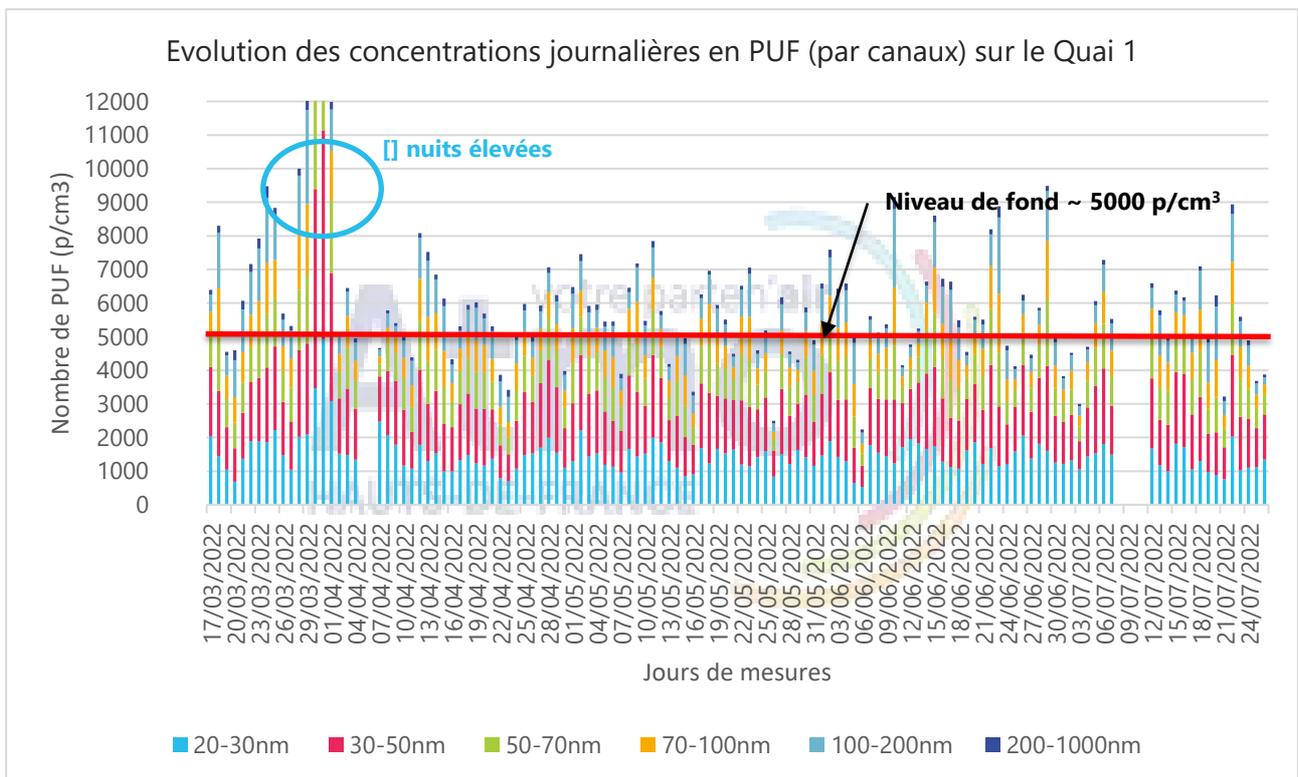


Figure 17 : Evolution journalière des PUF par canaux sur toute la durée de l'étude avec les données de travaux de nuit écrêtées.

L'évolution des concentrations journalières des particules ultrafines (Figures 16 et 17) montre que ces dernières varient tout au long de l'étude.

Un plus grand nombre de particules est enregistré en semaine (du lundi au vendredi), avec des valeurs plus basses les jours de week-end (samedi et dimanche). De plus, elles sont plus nombreuses sur certaines journées. Les plus petites particules, celles comprises entre 20-30 nm et 30-50 nm, sont les plus nombreuses.

Lors de la première période, l'influence des travaux de nuit est bien visible sur l'augmentation des concentrations, notamment le 30 et le 31 mars 2022 (Figure 16).

Les niveaux en PUF baissent bien de la première à la deuxième période ; la deuxième et la troisième sont similaires entre elles.

Répartition granulométrique

Les particules ultrafines ont été mesurées par fraction de 20 nm à 1000 nm. Leurs répartitions granulométriques sont présentées sur les graphiques suivants, pour la première, la deuxième et la troisième période.

La répartition granulométrique, de semaine en semaine (S12 à S29) est disponible en [Annexe 9](#).

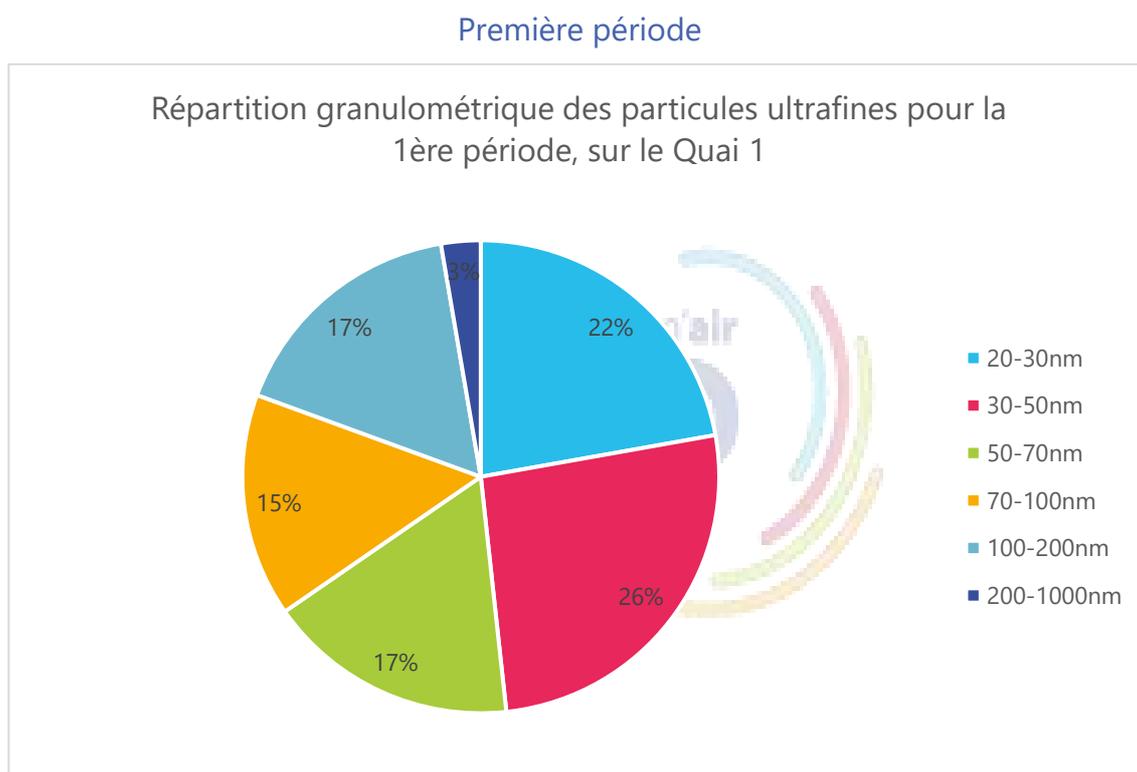


Figure 18 : Répartition granulométrique des particules ultrafines.

Lors de la première période (Figure 18, P1), ce sont les particules les plus petites qui sont les plus nombreuses (tailles comprises entre 20 et 50 nm), avec un pourcentage de 48 %. Elles sont suivies de celles comprises entre 50 et 70 nm, mais aussi de celles entre 100 et 200 nm (même pourcentage de 17% pour ces deux gammes de taille). Puis viennent celles entre 70 et 100 nm (15%), et pour finir les plus grosses entre 200 et 1000 nm (3%).

Deuxième période

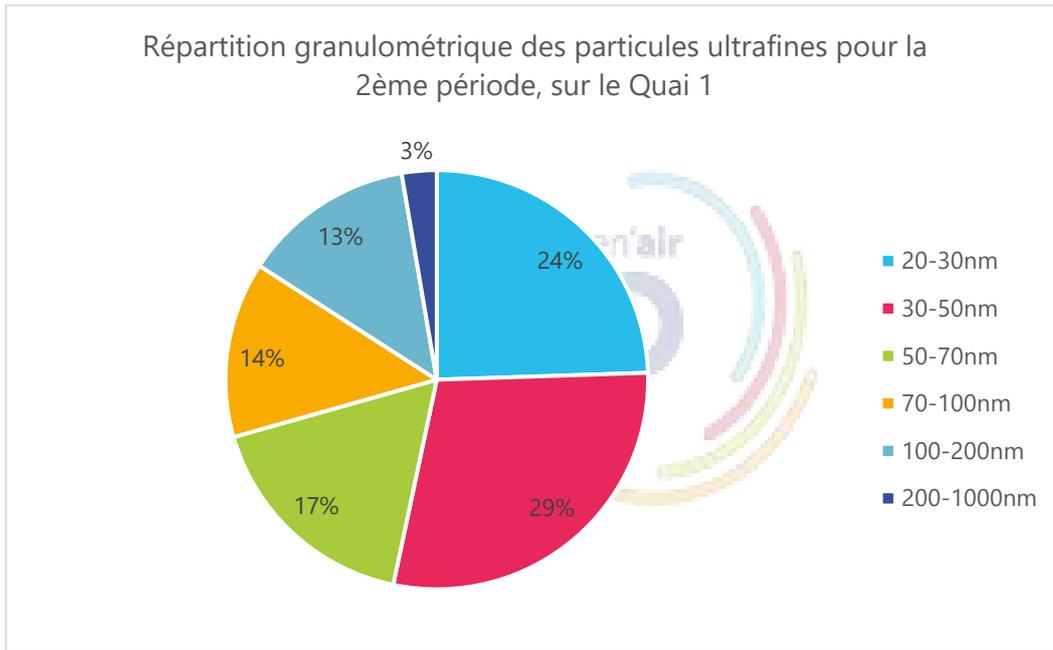


Figure 19 : Répartition granulométrique des particules ultrafines.

Pendant le fonctionnement du système (Figure 19), ce sont encore les particules les plus petites qui sont les plus nombreuses (entre 20 et 50 nm), avec un pourcentage de 53 %. Elles sont suivies de celles comprises entre 50 et 70 nm (toujours à hauteur de 17%). Les autres particules se répartissent ensuite entre 70 et 100 nm (14%), celles de 100 à 200 nm (13%), et pour finir avec celles de 200 à 1000 nm (toujours 3%). En période de fonctionnement du système Oxylon, on note une augmentation de 5% des plus petites particules, par rapport à la première période. Cette hausse pourrait être expliquée par les travaux de nuit effectués en première période qui ont pu émettre des plus grosses particules.

Troisième période

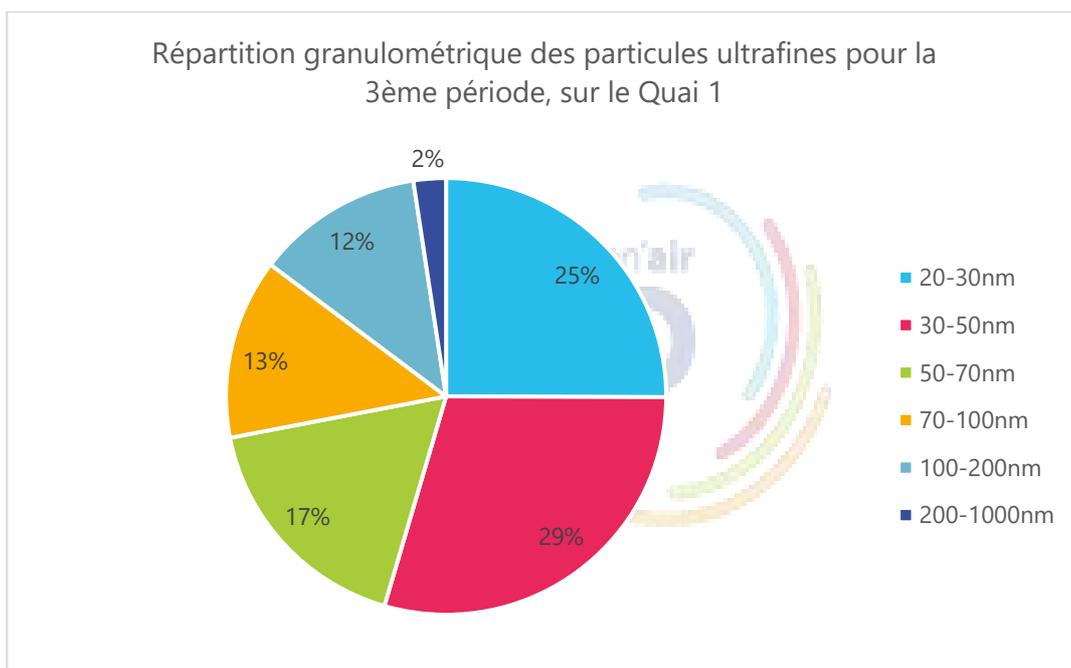


Figure 20 : Répartition granulométrique des particules ultrafines.

Pendant la troisième période (Figure 20), les particules les plus petites restent toujours les plus nombreuses (entre 20 et 50 nm), avec un pourcentage de 54 %. Elles ont aussi augmenté par rapport aux deux périodes précédentes, avec la même classification observée en période 2.

Semaine et week-end

La variabilité journalière (en heures locales) des concentrations en particules ultrafines, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent. Les jours ouvrés sont distincts des week-ends.

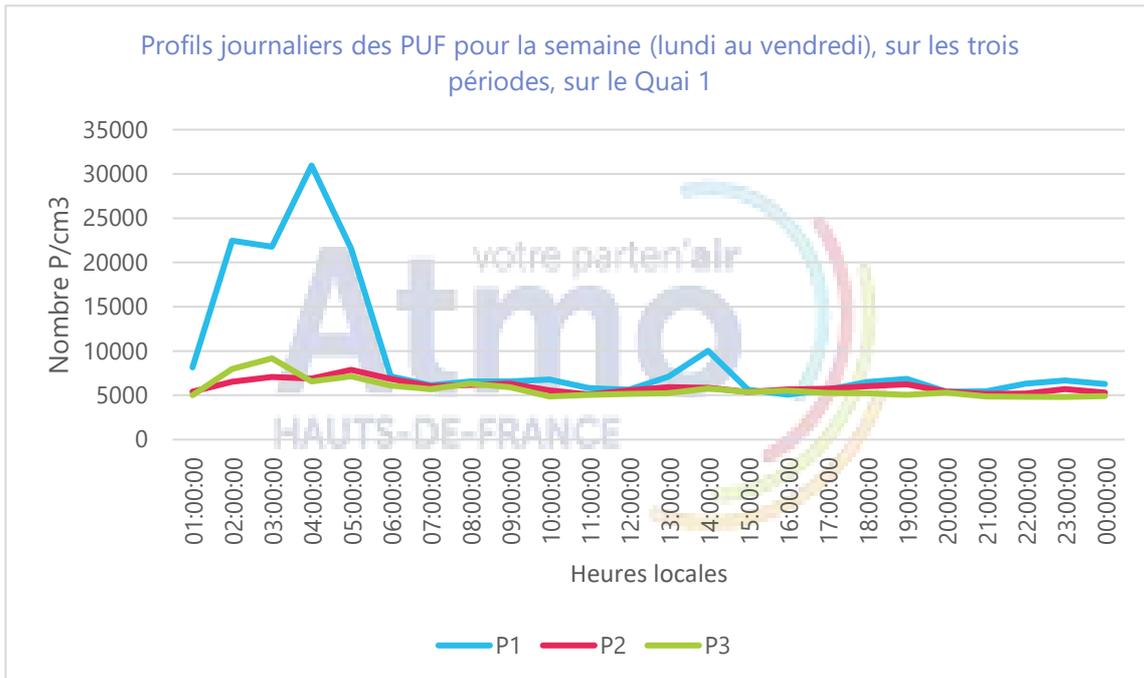


Figure 21 : Profils journaliers des concentrations en PUF la semaine.

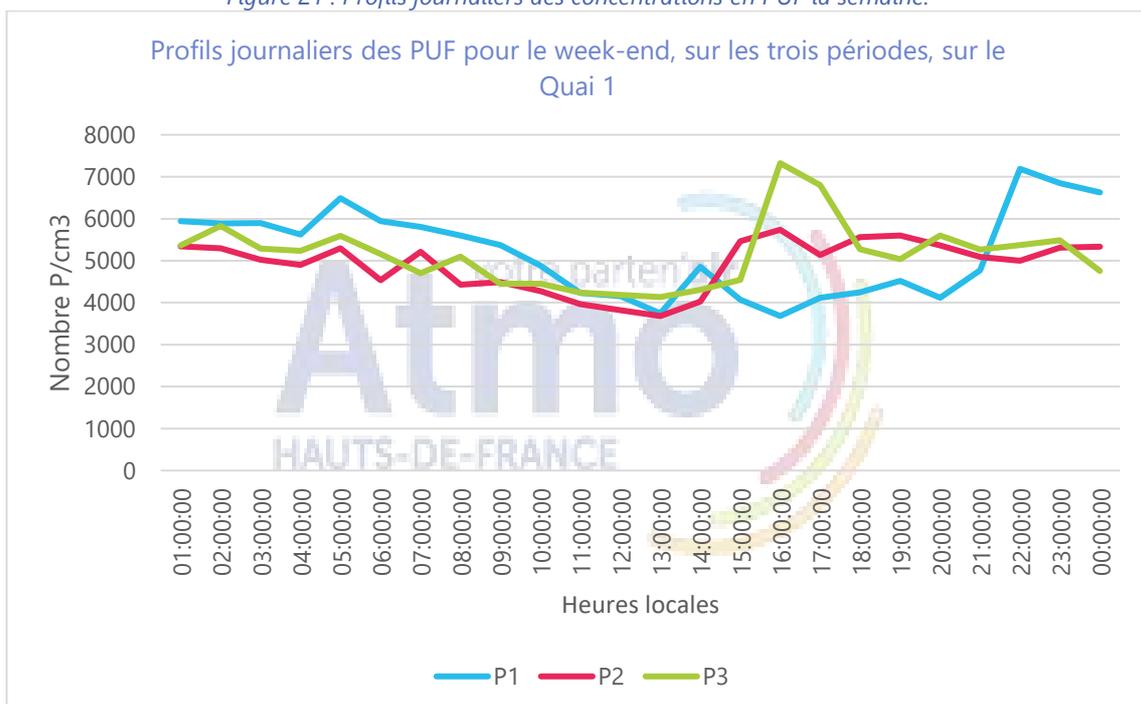


Figure 22 : Profils journaliers des concentrations en PUF le week-end.

Au cours de la première période (P1), le profil journalier en semaine des PUF (Figure 21), montre un pic de travaux très important (4h), et un pic en journée à 14 heures.

Le week-end (Figure 22), les concentrations en PUF sont plus ou moins constantes tout au long de la journée.

En deuxième période (P2), le profil journalier en semaine, montre que les niveaux en PUF baissent tout au long de la journée. Ici nous avons un pic à 5 heures.

Le week-end, les niveaux en PUF sont plus bas aux heures de nuit, et commencent à augmenter à partir de 14 heures.

Ici les concentrations moyennes ont baissé par rapport à la première période.

En troisième période (P3), le profil journalier en semaine présente un pic de concentrations à 3 heures, et les niveaux en PUF baissent jusqu'à 10 heures puis restent globalement constants le reste de la journée. Le week-end, le profil présente une légère hausse à 16 heures.

L'étude des concentrations en PUF avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxyton montre qu'elles réagissent différemment des autres particules.

Contrairement aux particules en suspension (PM10) et aux particules fines (PM2.5 et PM1), les particules ultrafines ne montrent pas d'évolutions régulières (pics en journée aux heures de passages de rames plus importants), mais sont plus nombreuses sur certaines journées, notamment en lien avec des activités de travaux la nuit ou spécifiques en journée. La répartition granulométrique des particules ultrafines montre que ce sont les plus petites particules (taille entre 20 et 50 nm) qui sont les plus nombreuses, sur la durée de l'expérimentation. Ces constats sont cohérents avec l'étude de surveillance menée dans le métro en 2021. Une augmentation de 5% des plus petites particules (taille entre 20 et 50 nm) est observée en période de fonctionnement du système Oxyton, mais cet écart par rapport à la période 1 se maintient en 3^{ème} période, après l'arrêt du système de filtration (53% en P2 contre 54% en P3).

On note que les niveaux en PUF, en période d'exploitation et de fonctionnement du métro, sont équivalents sur les 3 périodes, autour de 5000 p/cm³ sur la durée de l'expérimentation (cohérence avec l'étude 2021). Le système de filtration Oxyton ne semble pas avoir d'influence sur les concentrations totales en particules ultrafines.

5.2. Mesures sur toute la longueur du quai

Dans cette partie, les résultats des particules fines PM2.5 et PM1, du confinement (CO₂) et des paramètres de confort (T° et HR) sont présentés. Les conclusions PM2.5 et PM1 s'appliquant également sur les données des particules en suspension PM10 des POD, ces dernières ne sont pas présentées.

Les données statistiques, pour l'ensemble des polluants sont disponibles dans les [Annexes 4 et 5](#), de même que les graphes par POD sont disponibles en [Annexes 10, 11, 12 et 13](#).

5.2.1. Particules en suspension PM10

Les données PM10 des POD ne sont pas présentées dans le rapport mais on constate les mêmes tendances que pour les particules PM2.5 et PM1, dans les évolutions et dans les conclusions.

5.2.2. Particules fines PM2.5

Evolution des concentrations journalières

L'évolution journalière des concentrations en PM2.5, au regard de la fréquentation, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent.

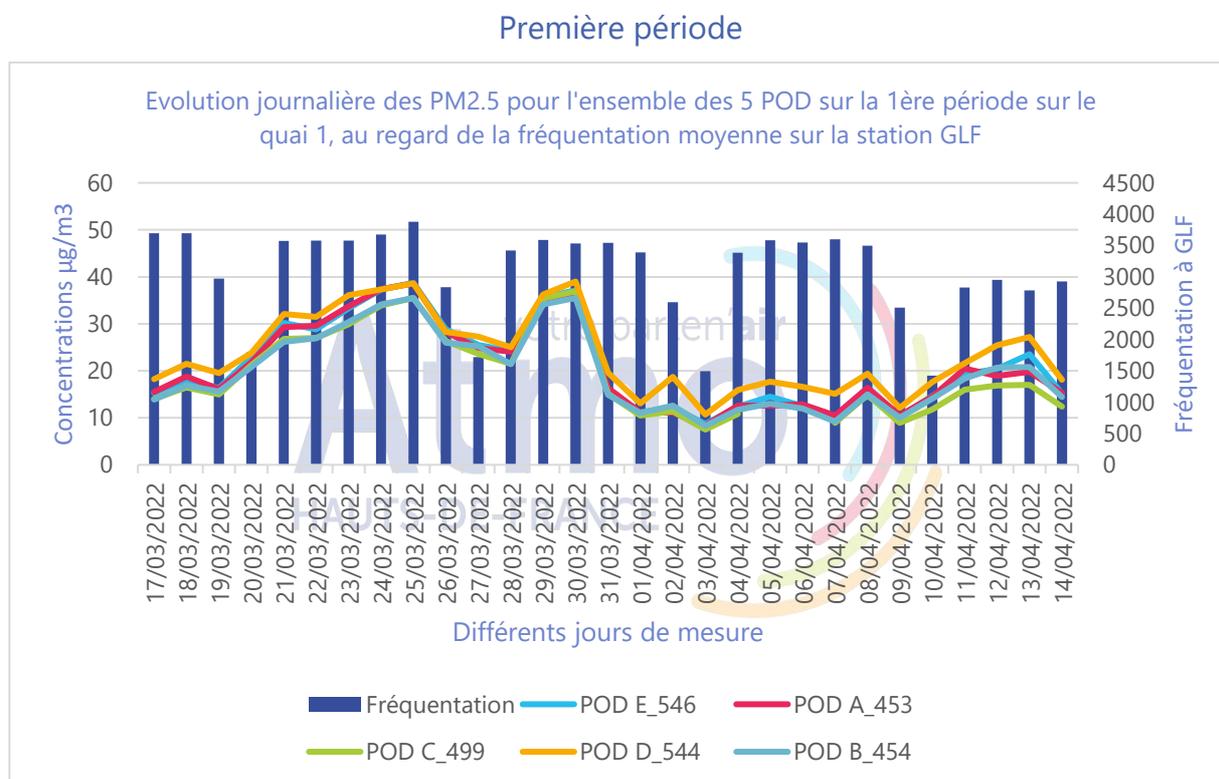


Figure 23 : Evolution des concentrations journalières en PM2.5 par POD pour la première période.

En première période, l'évolution journalière des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation (Figure 23), montre que les concentrations ont les mêmes tendances sur les 5 POD. Le POD D enregistre les concentrations les plus élevées.

Au tout début des mesures, les niveaux observés augmentent avec la fréquentation, puis baissent progressivement tout au long de cette période. Ces concentrations sont importantes les jours de semaine et diminuent les jours de week-end. La fréquentation des usagers n'a pas d'incidence majeure sur les niveaux des PM2.5.

Deuxième période

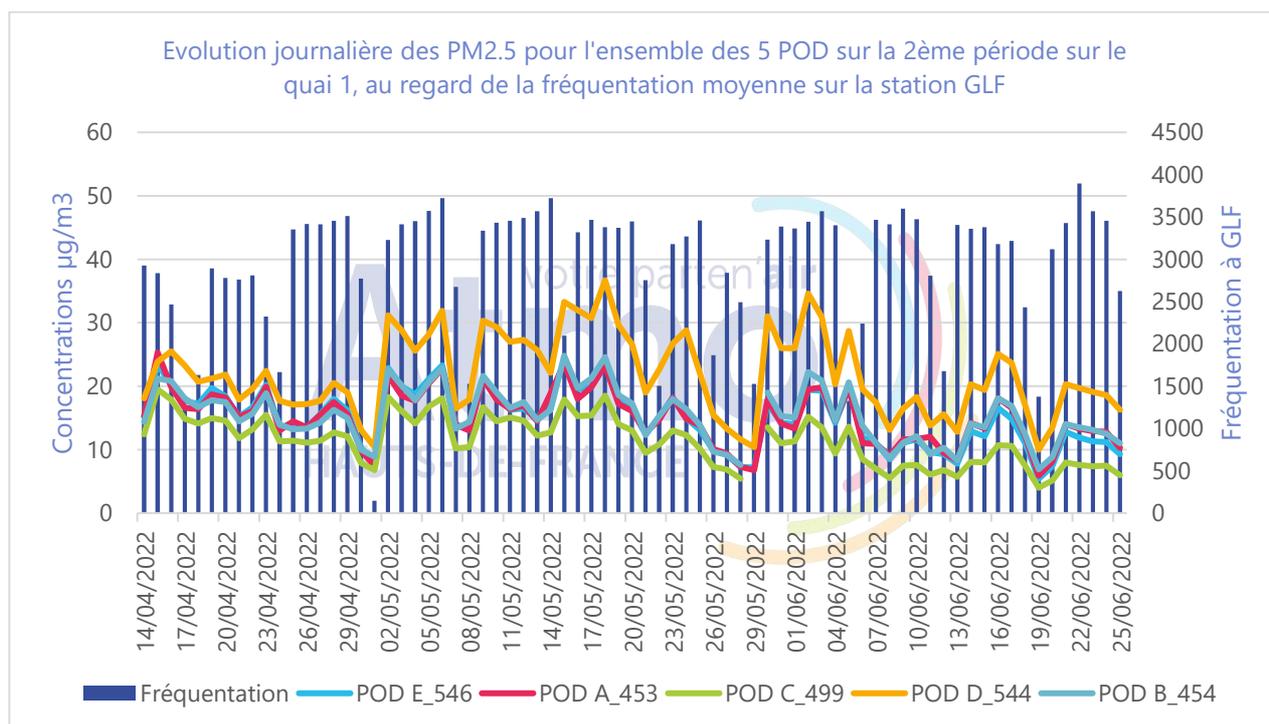


Figure 24 : Evolution des concentrations journalières en PM2.5 par POD pour la deuxième période.

Lors de la mise en place du système Oxyton (Figure 24), les niveaux en PM2.5 baissent pendant les deux premières semaines. Toutefois, cette période de démarrage coïncide aussi avec la période de vacances scolaires (du 9 au 24/04/2022 inclus). Pendant ces vacances, il y a moins de fréquentation (fréquence de passages de rames du métro). Les 5 POD varient de manière plus ou moins similaire avec quelques hétérogénéités. Comme observé en première période, les niveaux sont plus importants les jours de semaine et diminuent les jours de week-end. De même, la fréquentation des usagers ici n'a pas d'incidence majeure sur les niveaux des PM2.5. Globalement, les concentrations ont baissé par rapport à la première période. Le POD D enregistre encore les concentrations les plus élevées.

Troisième période

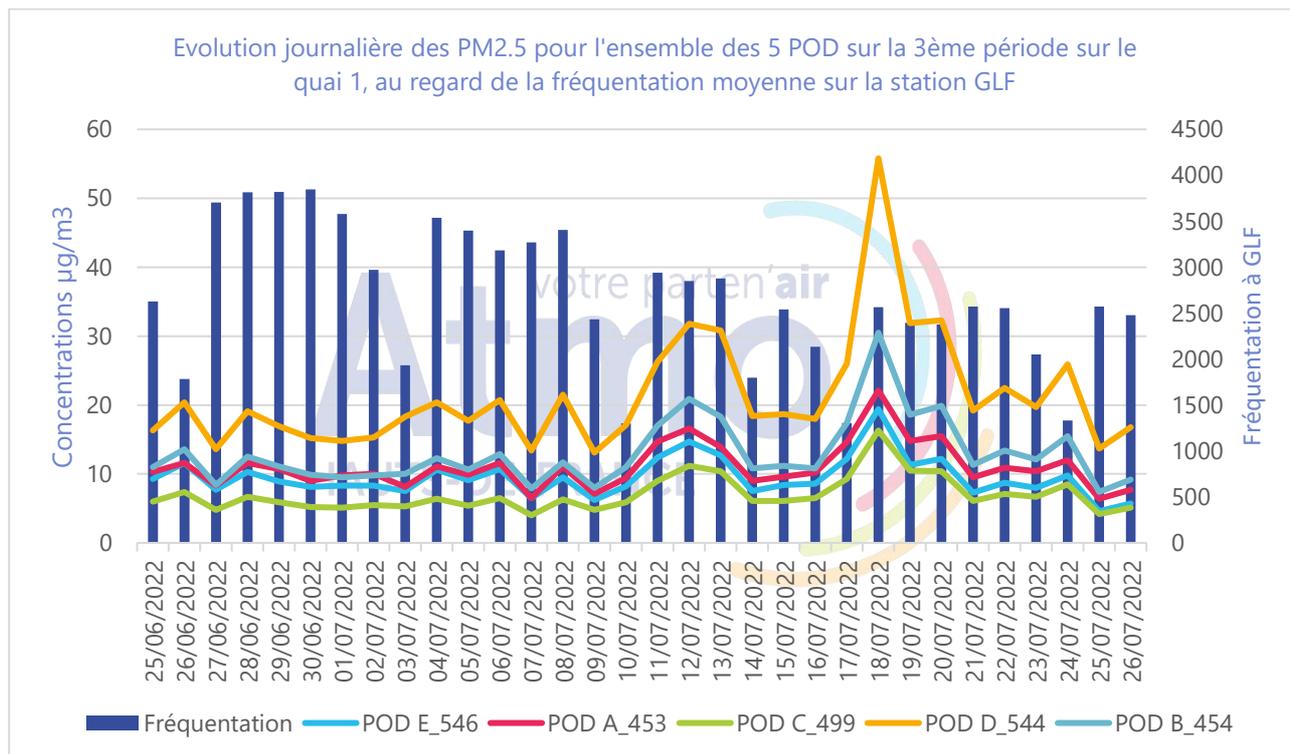


Figure 25 : Evolution des concentrations journalières en PM2.5 par POD pour la troisième période.

Après l'arrêt du système Oxylon (Figure 25), les niveaux en PM2.5 sont restés bas pendant la première moitié de la troisième période. Ils ont, par la suite, augmenté sur la deuxième moitié et ce malgré une baisse de fréquentation due à la période estivale (diminution de la fréquence des passages de rames du métro). Une forte augmentation des concentrations est observée le 18/07/2022 malgré une fréquentation moindre. Le détail des concentrations horaires en PM2.5 montre aussi une augmentation des particules entre 6 heures et 7 heures ce jour-là. Comme pour les deux premières périodes, la fréquentation des usagers ici n'a pas d'incidence majeure sur les niveaux des PM2.5 et les mesures du POD D restent supérieures aux autres mesures.

Profils journaliers

La variabilité journalière (en heures locales) des concentrations en PM2.5 au regard de la fréquentation, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent.

Première période

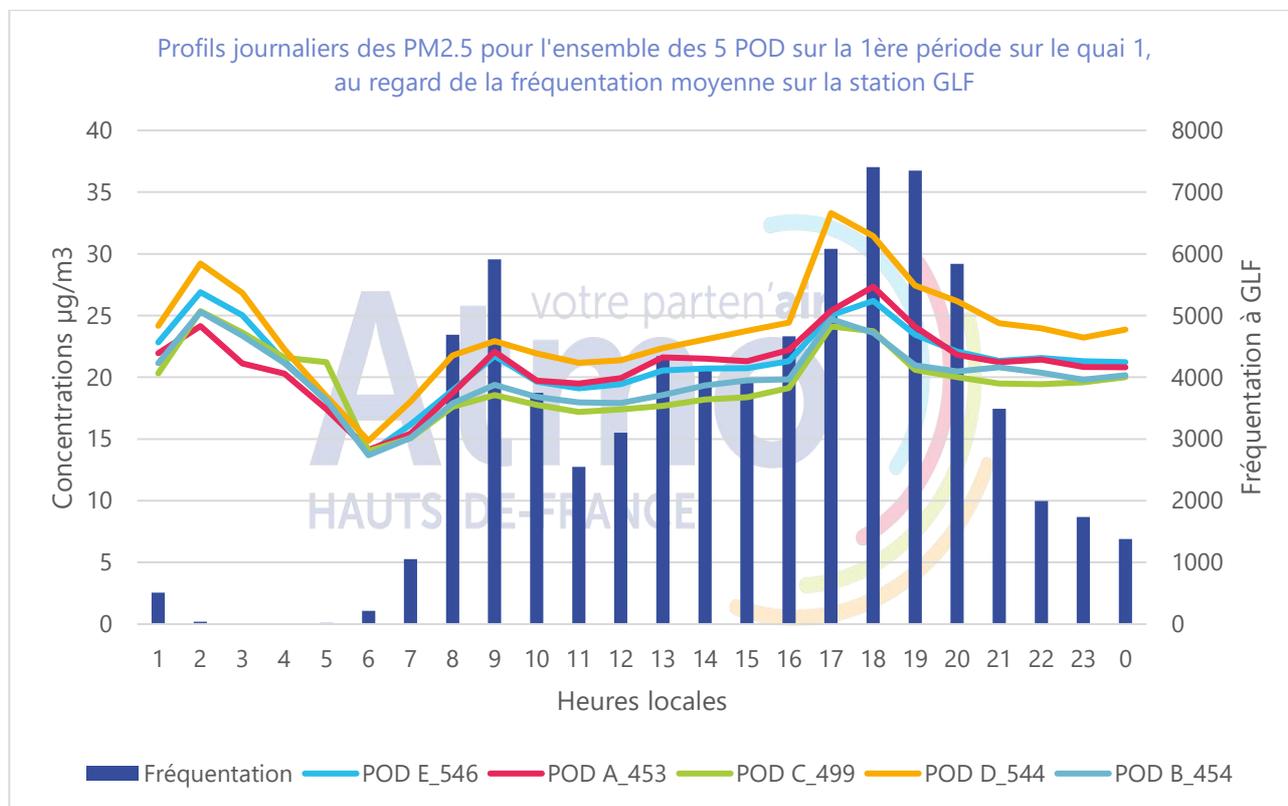


Figure 26 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la première période.

Lors de la première phase (Figure 26), les profils journaliers montrent que les concentrations en PM2.5 ont les mêmes tendances pour les 5 POD. Deux pics de concentrations sont visibles aux heures de forte affluence (à 9h et à 17-18h). Un pic de nuit est observé à 2 heures en lien avec les travaux de nuit. En général, les concentrations en PM2.5 fluctuent en fonction de la fréquentation.

Le POD D enregistre les concentrations les plus élevées.

Deuxième période

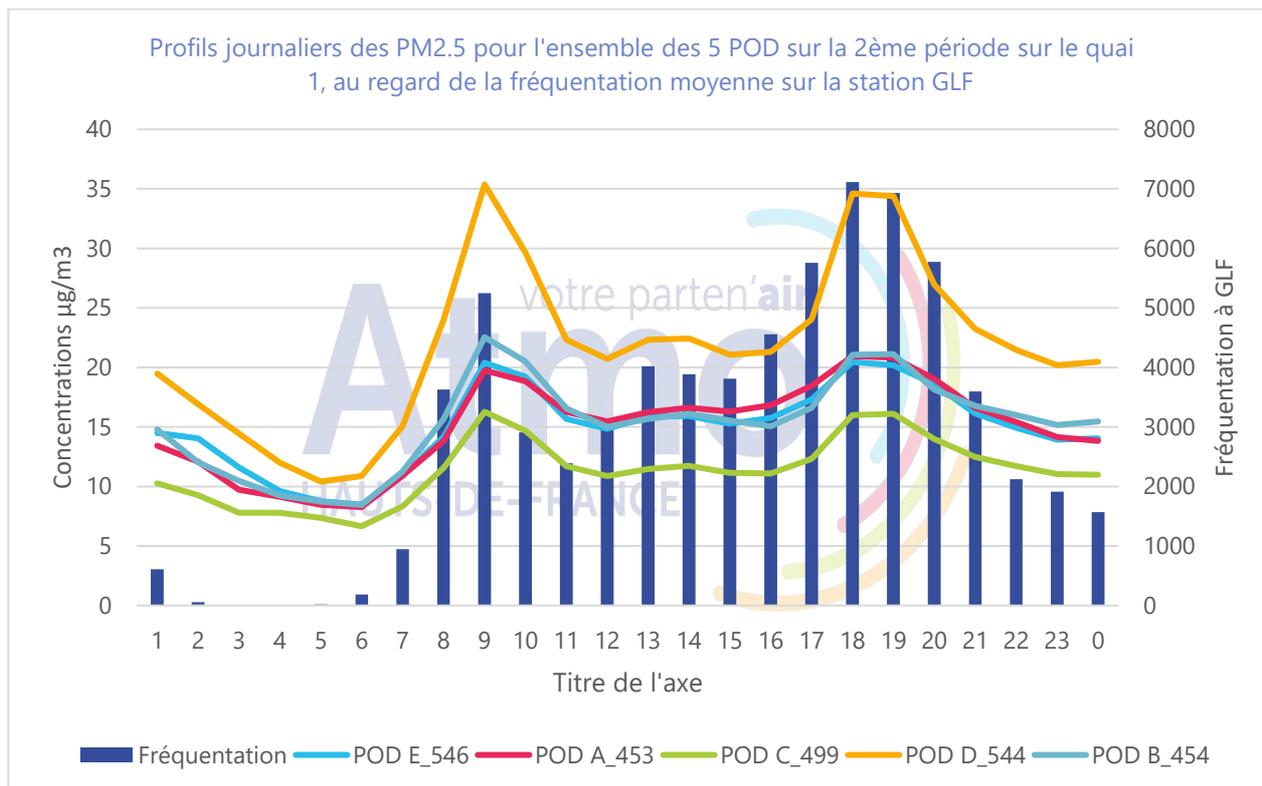


Figure 27 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la deuxième période.

Lors de la deuxième période (Figure 27), ici aussi les profils journaliers montrent que les concentrations en PM2.5 ont les mêmes tendances pour les 5 POD, bien que plus hétérogènes entre eux qu'en première période. Deux pics de concentrations sont visibles aux heures de forte affluence (à 9h et entre 18h et 19h). Ils sont plus élevés par rapport à la première période. Ici aussi, les concentrations en PM2.5 fluctuent en fonction de la fréquentation à la Gare Lille Flandre. Le POD D enregistre les concentrations les plus élevées. Le minimum est relevé sur le POD C.

Troisième période

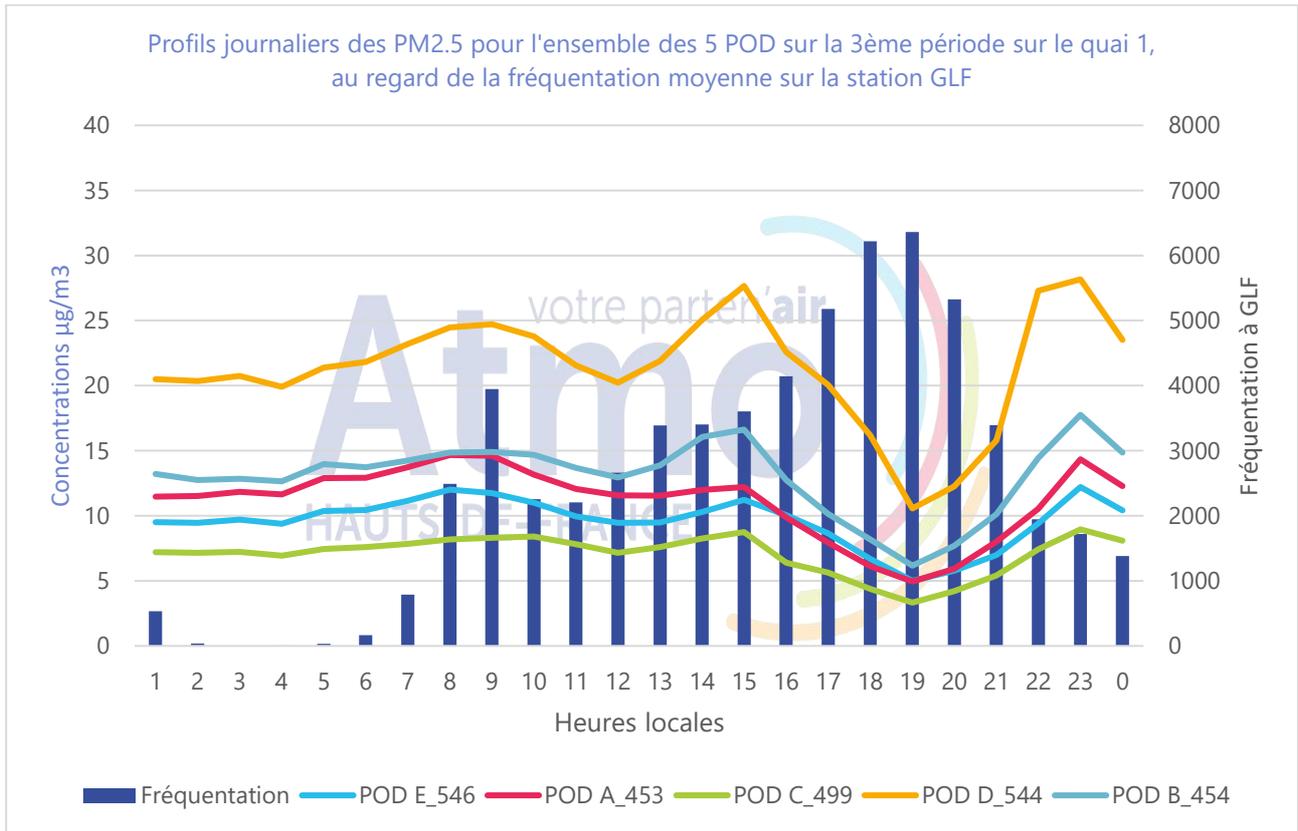


Figure 28 : Profils journaliers des concentrations en PM2.5, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la troisième période.

Lors de la troisième période (Figure 28), les profils journaliers montrent que les concentrations en PM2.5 ont plus ou moins les mêmes tendances pour les 5 POD. Et comme observé en deuxième période, les POD sont plus hétérogènes entre eux. Les pics observés ici sont enregistrés à 8 heures (petit pic du matin) et à 15 heures pour les 5 POD (mais plus marqué sur le POD D). Le POD D enregistre les concentrations les plus élevées.

Profils hebdomadaires

Les profils hebdomadaires des concentrations en PM2.5, de semaine en semaine, pour chacun des 5 POD, sont représentés sur les graphiques qui suivent.

Evolution de la moyenne de semaine en semaine

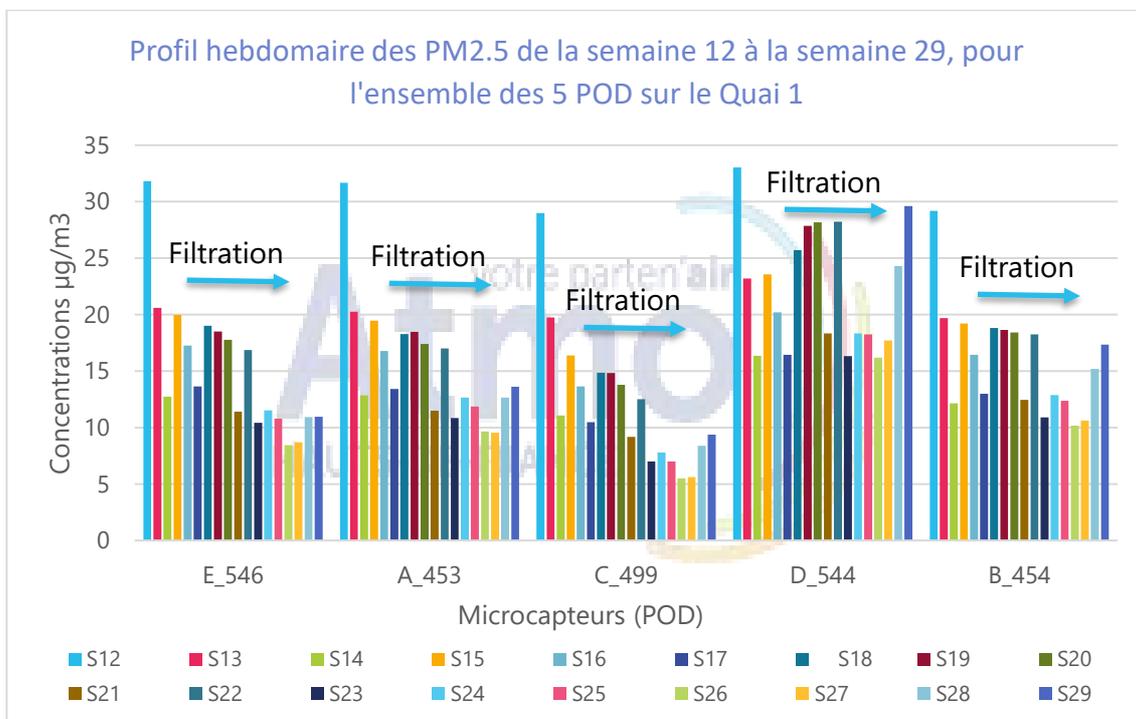


Figure 29 : Profils hebdomadaires des concentrations moyennes en PM2.5, par POD de la semaine 12 à 29.

L'évolution hebdomadaire (Figure 29) des concentrations en PM2.5 restituées par les POD présente, de manière générale, les mêmes tendances. La semaine 12 présente les concentrations les plus importantes, et ces dernières diminuent par la suite au cours des semaines suivantes. On observe que les POD D et B ont les concentrations les plus élevées, les POD A et E présentent des valeurs intermédiaires et le POD C enregistre les plus basses. Cela s'explique par leur emplacement sur la longueur du quai. En effet, le POD C est placé au niveau des appareils de mesure en milieu de quai et du système de filtration. Les POD A est placé au niveau des ouvertures de portes des rames de la Ligne 2. Le POD E quant à lui est placé au niveau des 2 escalators de sortie du quai, pour remonter au niveau de la salle des billets.

L'étude des concentrations en PM2.5 avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxylon montre que les 5 POD se suivent bien, sur toute la longueur du quai, avec des données homogènes en P1 et plus hétérogènes en P2 et P3.

Les concentrations sont plus élevées en P1. Plus basses en P2 et sur la première moitié de P3, elles réaugmentent par la suite, malgré la fréquentation qui diminue en cette période estivale.

Les profils journaliers sont différents selon les périodes. On observe un pic de nuit plus marqué en P1 qu'en P2 et P3. Les pics du matin et du soir sont bien marqués sur le POD D en P2. En P3, le pic du soir est plus étiré. Les concentrations en PM2.5 restent élevées en P2 lors des pics.

Concernant les profils hebdomadaires, les données des POD se suivent sur toute la longueur du quai, avec des variations de concentration selon leur emplacement. Le POD C qui est placé en milieu du quai et proche du système Oxylon, enregistre les valeurs les plus faibles. Les POD D et B enregistrent les valeurs les plus élevées ($D > B$), le POD D étant situé face à l'ouverture des portes des rames de la Ligne 1 (l'étude métro 2021 ayant montré des concentrations sur la Ligne 1 supérieures à celles de la Ligne 2), B étant plus en retrait. Les POD A (placé au niveau des ouvertures de portes des rames de la Ligne 2) et POD E (placé au niveau des escalators de sorties, pour remonter au niveau de la salle des billets) présentent des valeurs intermédiaires.

5.2.3. Particules fines PM1

Evolution des concentrations journalières

L'évolution journalière des concentrations en PM1, au regard de la fréquentation, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent.

Première période

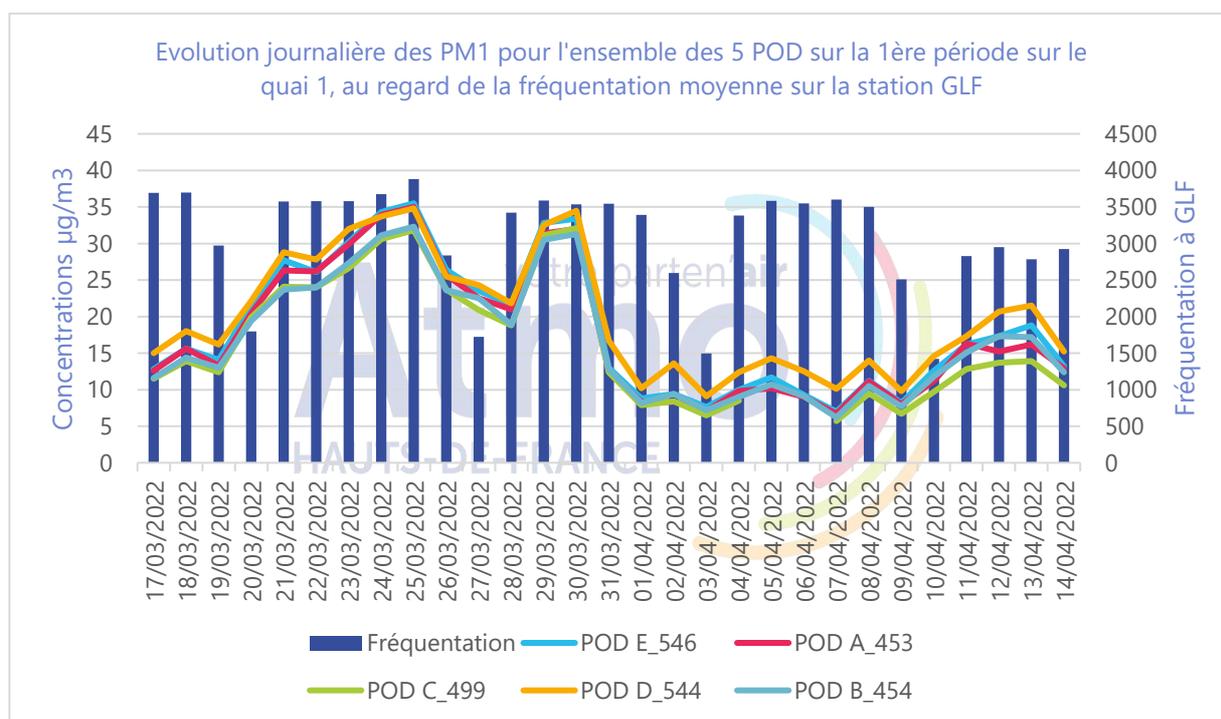


Figure 30 : Evolution des concentrations journalières en PM1 par POD pour la première période.

Les mêmes remarques que celles des PM2.5 sont faites concernant les PM1. En effet, lors de cette première période, l'évolution journalière des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation (Figure 30), montre que les concentrations ont les mêmes tendances sur les 5 POD. Les concentrations sont importantes les jours de semaine et diminuent les jours de week-end. La fréquentation des usagers n'a pas d'incidence majeure sur les niveaux des PM1.

Deuxième période

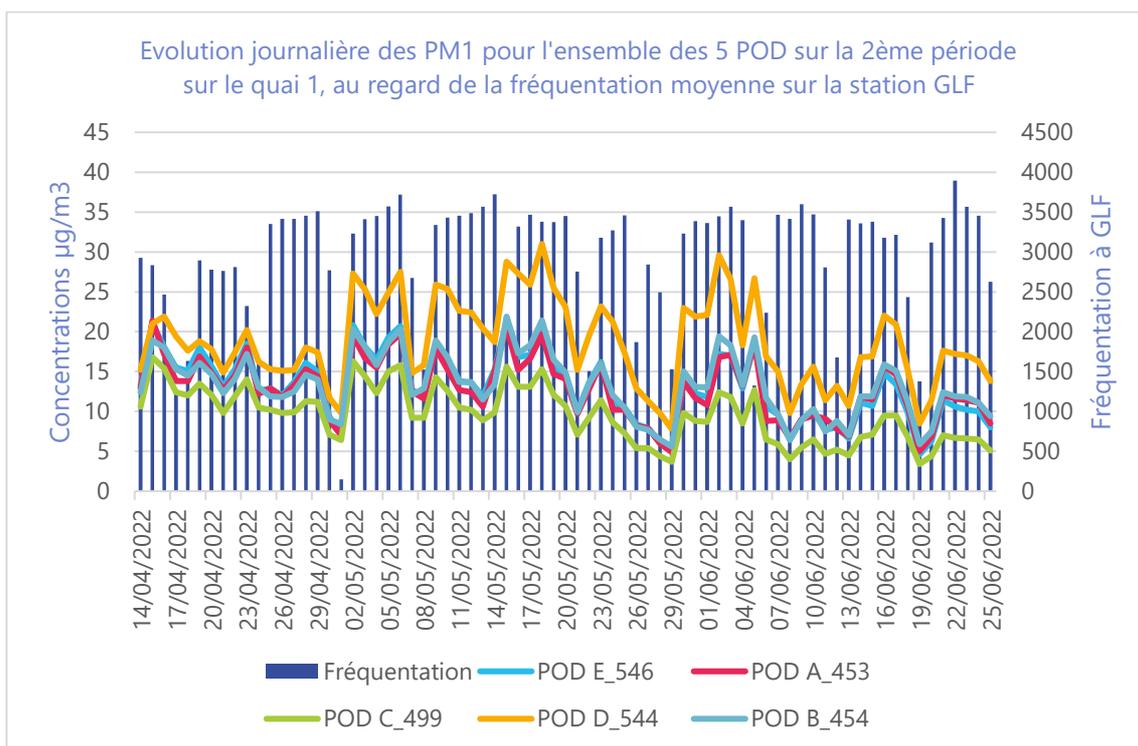


Figure 31 : Evolution des concentrations journalières en PM1 par POD pour la deuxième période.

Lors de la mise en place du système Oxylon (Figure 31), et comme pour les PM2.5, les niveaux en PM1 baissent pendant les deux premières semaines (période de vacances scolaires, du 9 au 24/04/2022 inclus). Les 5 POD varient de manière plus ou moins similaire. Comme observé en première période, les niveaux sont plus importants les jours de semaine et diminuent les jours de week-end. De même, la fréquentation des usagers ici n'a pas d'incidence majeure sur les niveaux des PM1. Globalement, les concentrations en PM1 ont baissé par rapport à la première période.

Troisième période

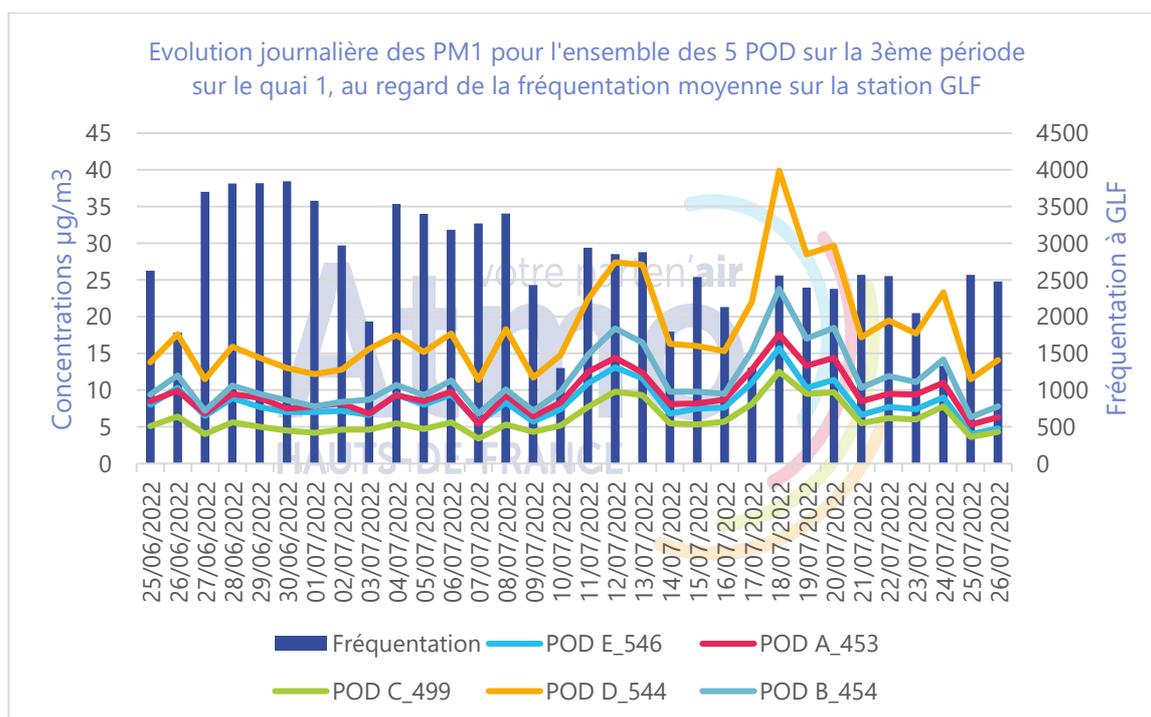


Figure 32 : Evolution des concentrations journalières en PM1 par POD pour la troisième période.

Après l'arrêt du système Oxylon (Figure 32), les niveaux en PM1 restent aussi bas pendant la première moitié de la troisième période, tout comme observé pour les PM2.5. Ils augmentent par la suite sur la deuxième moitié, avec une forte augmentation le 18/07/2022 malgré une fréquentation moindre. Le détail des concentrations horaires montre aussi une augmentation des particules entre 6 heures et 7 heures ce jour-là. Comme pour les deux premières périodes, la fréquentation des usagers ici n'a pas d'incidence majeure sur les niveaux des PM1.

Profils journaliers

La variabilité journalière (en heures locales) des concentrations en PM1 au regard de la fréquentation, pour les trois périodes de l'étude, est représentée sur les graphiques qui suivent.

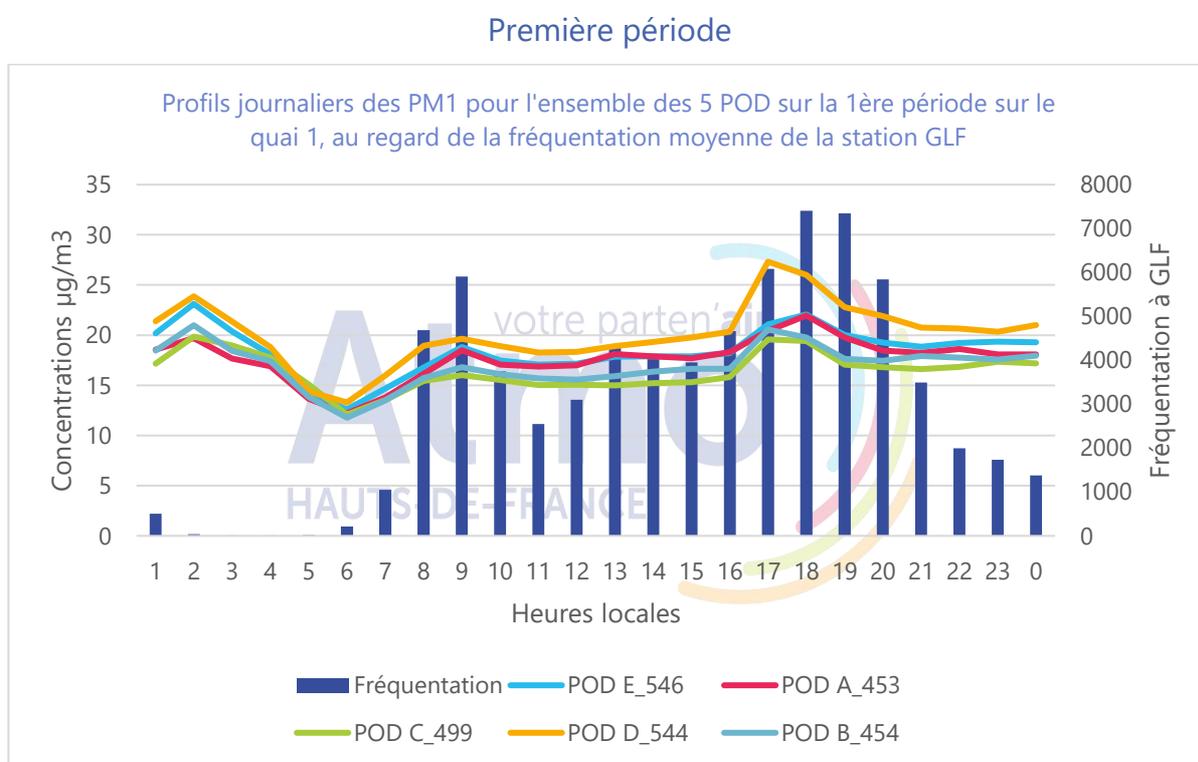


Figure 33 : Profils journaliers des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la première période.

Lors de la première phase (Figure 33), les allures des profils journaliers montrent que les 5 POD sont homogènes entre eux. Deux pics de concentrations sont visibles aux heures de forte affluence (à 9h et à 17-18h). Un pic de nuit est observé à 2 heures en lien avec les travaux de nuit. Et de manière générale, les concentrations en PM1 fluctuent en fonction de la fréquentation.

Deuxième période

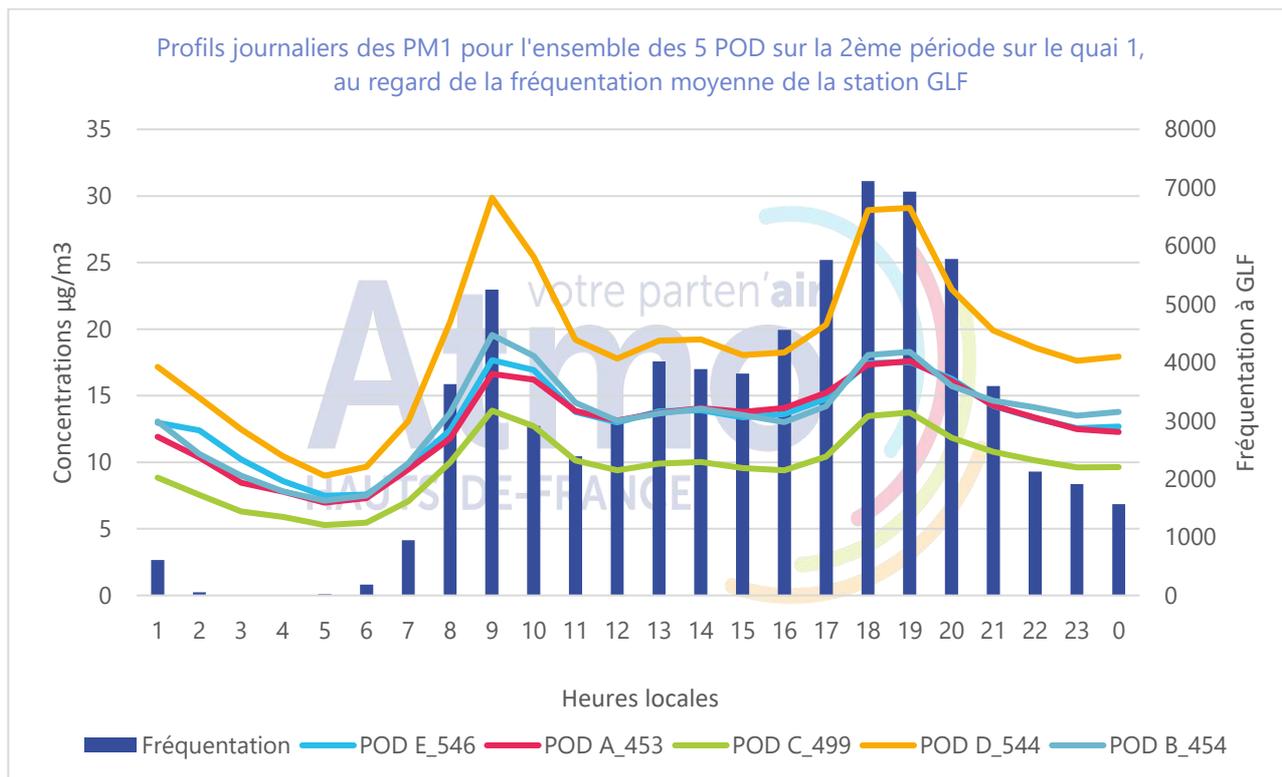


Figure 34 : Profils journaliers des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la deuxième période.

Lors de la deuxième période (Figure 34), comme pour les PM2.5, ici aussi les 5 POD sont plus hétérogènes entre eux qu'en première période. Deux pics de concentrations sont visibles aux heures de forte affluence (à 9h et entre 18h et 19h). Ils sont plus élevés par rapport à la première période (pic du matin). Ici aussi, les concentrations en PM1 fluctuent en fonction de la fréquentation à la Gare Lille Flandre. Le POD D enregistre les concentrations les plus élevées.

Troisième période

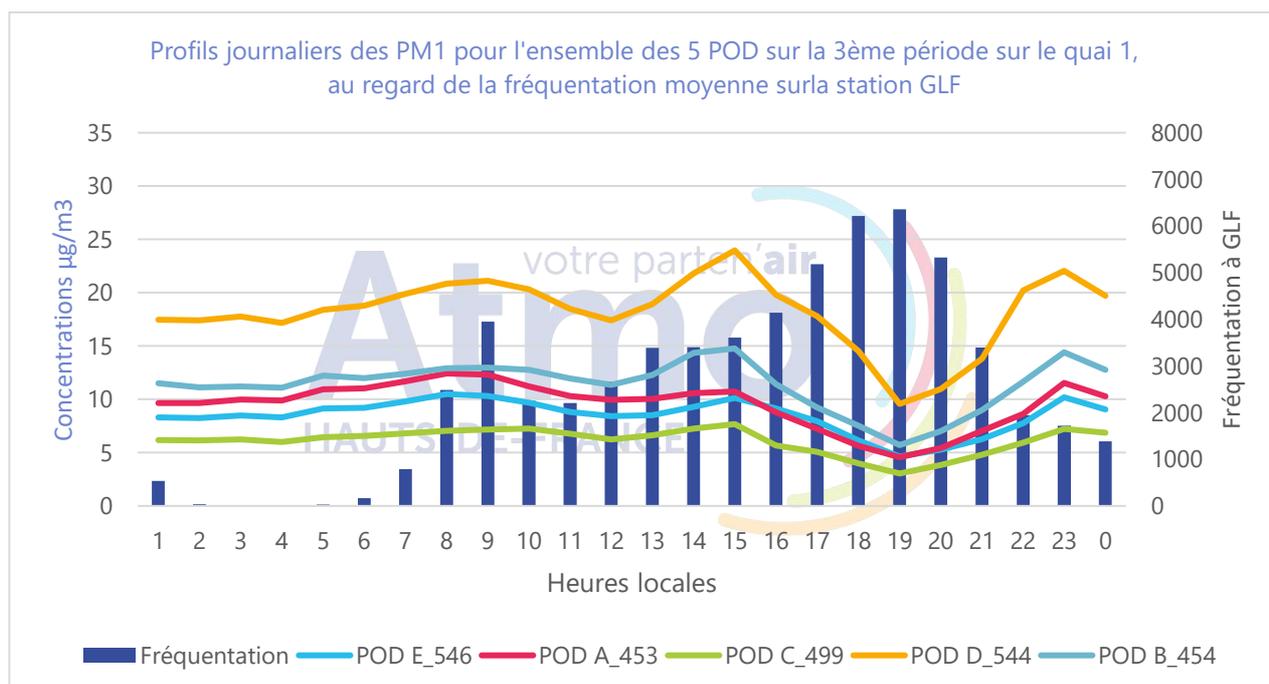


Figure 35 : Profils journaliers des concentrations en PM1, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD pour la troisième période.

Lors de la troisième période (Figure 35), l'allure des profils est similaire à celle des profils des PM2.5. Ils montrent que les concentrations en PM1 ont plus ou moins les mêmes tendances pour les 5 POD. Et comme observé en deuxième période, les POD sont plus hétérogènes entre eux. Les pics observés ici sont à 15 heures pour les 5 POD (mais plus marqué sur le POD D). Le POD D enregistre les concentrations les plus élevées.

Profils hebdomadaires

Les profils hebdomadaires des concentrations en PM1, de semaine en semaine, pour chacun des 5 POD, sont représentés sur les graphiques qui suivent.

Evolution de la moyenne de semaine en semaine

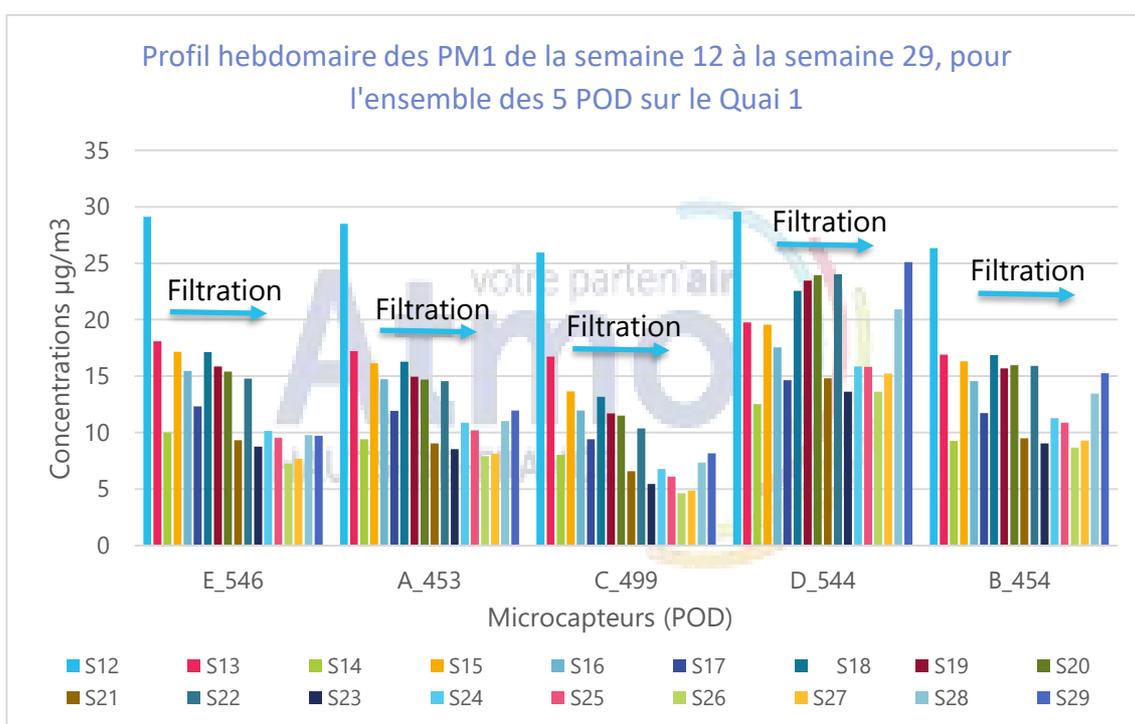


Figure 36 : Profils hebdomadaires des concentrations moyennes en PM1, par POD de la semaine 12 à 29.

Comme pour les particules PM2.5, l'évolution hebdomadaire (Figure 36) des concentrations en PM1 restituées par les POD présentent globalement les mêmes tendances. La semaine 12 présente les concentrations les plus importantes, et ces dernières diminuent par la suite au cours des semaines suivantes. Les POD D et B ont les concentrations les plus élevées, le POD A et E présentent des valeurs intermédiaires et le POD C enregistre celles les plus basses. Cela s'explique, en effet, par leur emplacement sur la longueur du quai.

L'étude des concentrations en PM1 avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxylon montre des conclusions identiques aux particules fines PM2.5, sur toute la longueur du quai.

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

Concentrations moyennes

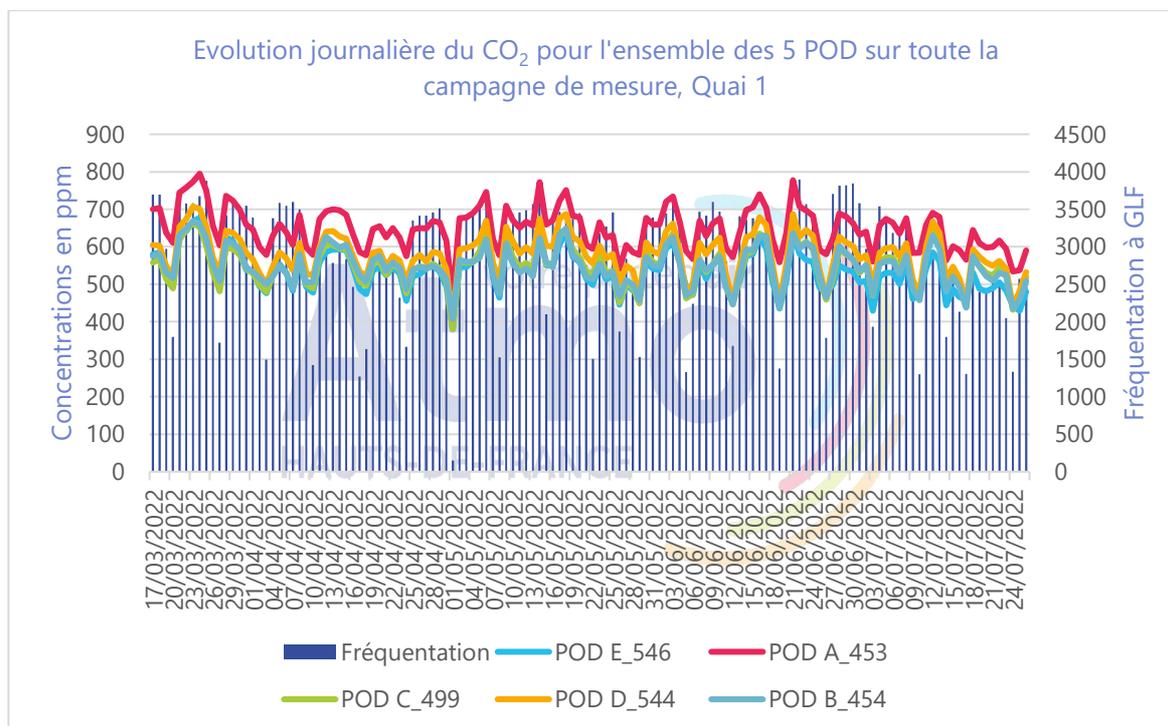


Figure 37 : Evolution des concentrations journalières du CO₂, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD sur la totalité de l'étude.

L'évolution journalière des concentrations en CO₂ (Figure 37) montre que ces concentrations fluctuent en fonction de la fréquentation. Il y a ainsi un lien entre l'augmentation des concentrations en CO₂, émis par la respiration des usagers, et l'augmentation de la fréquentation à la Gare Lille Flandres.

Le POD A enregistre les concentrations les plus élevées tout le long des mesures.

On note un lien entre l'augmentation des concentrations en CO₂ (émis par la respiration des usagers) et l'augmentation de la fréquentation à Gare Lille Flandre.

Sur la durée de l'expérimentation, les concentrations sont inférieures à 1000 ppm (seuil recommandé par le RSD) et 800 ppm (avis du HCSP dans les environnements intérieurs, avec port du masque), ne traduisant pas de problématique d'accumulation des polluants durant toute l'expérimentation.

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

Concentrations moyennes

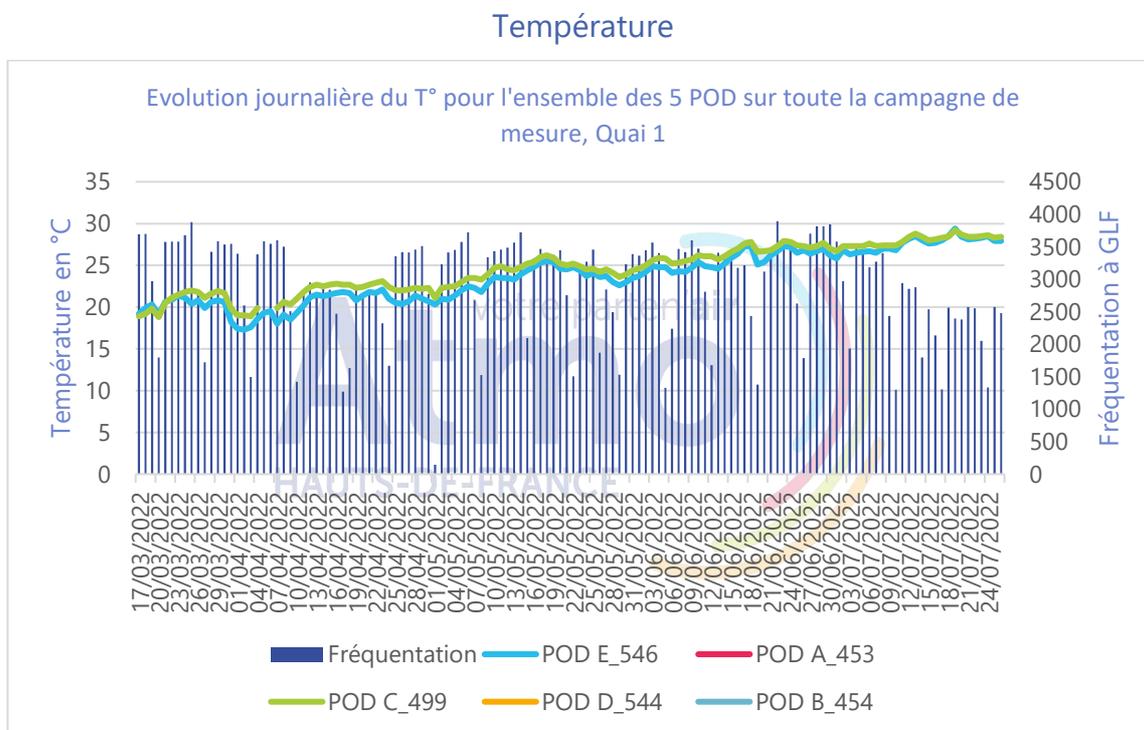


Figure 38 : Evolution des concentrations journalières de la température, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD sur la totalité de l'étude.

L'évolution journalière de la température (Figure 38) montre que les concentrations restituées par les POD C et B suivent la même allure (les POD E, A et D se sont révélés non conformes après la validation technique, leurs données ont été invalidés et par conséquent ils ne sont pas représentés). De plus ces concentrations augmentent tout au long de la durée de l'étude. Ici, il n'y a pas d'incidence observée sur les données de température qui sont reliées aux conditions climatiques extérieures.

Humidité relative

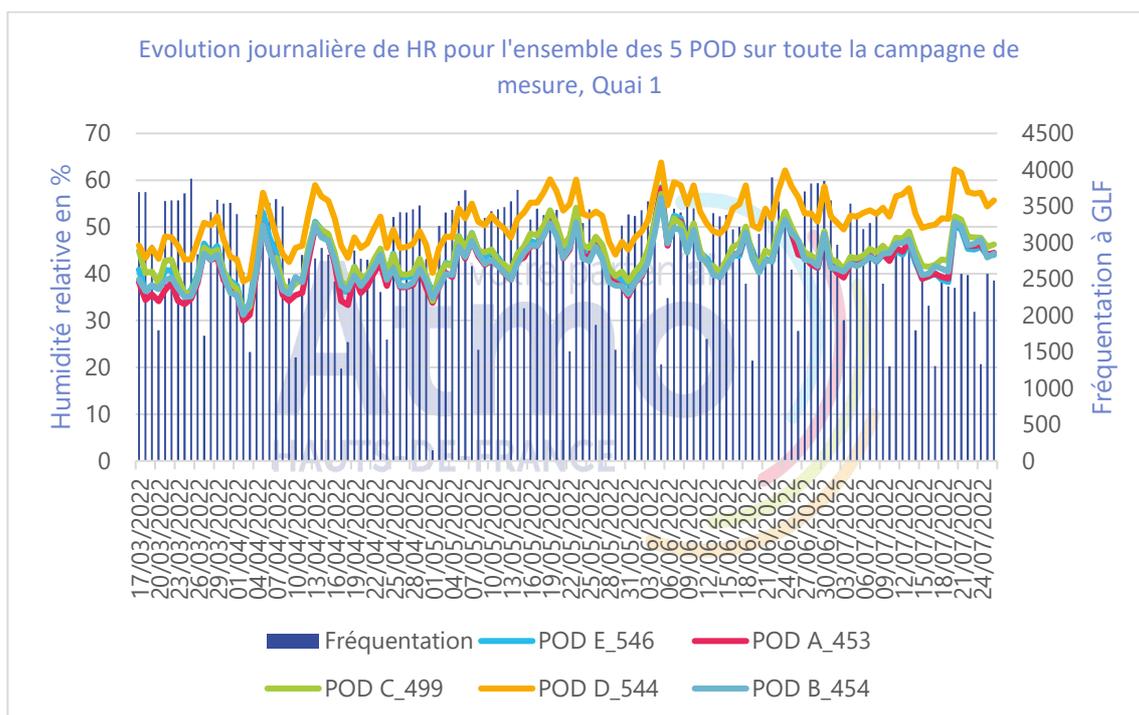


Figure 39 : Evolution des concentrations journalières de l'humidité relative, en parallèle avec la fréquentation moyenne horaire, par POD sur la totalité de l'étude.

De même, concernant l'humidité relative (Figure 39), les variations observées sur les 5 POD ne suivent pas les fluctuations de la fréquentation. Il n'y a pas de lien entre l'augmentation de l'humidité et la fréquentation à Gare Lille Flandres.

S'agissant des paramètres de confort des usagers en station Gare Lille Flandre, au cours de l'expérimentation, la température et l'humidité relative sont liées aux conditions météorologiques extérieures et non à la fréquentation des usagers.

5.3. Evaluation de la filtration, sur l'ensemble du quai

Dans cette partie, les résultats obtenus par les microcapteurs (POD) vont permettre une représentation graphique des performances spatiales du système de filtration sur la longueur du Quai 1. L'exemple des particules fines PM2.5 est retenu (résultats obtenus qui sont plus robustes que pour les particules en suspension PM10 au cours de cette expérimentation).

Ainsi, il est considéré comme point de référence le POD situé à proximité du système de filtration (POD C). Chaque semaine, l'écart des 4 POD distants du POD de référence est calculé. Les 18 valeurs obtenues sont représentées par une série d'histogrammes positionnée sur le graphique en fonction de leur position sur le quai. Cette série d'histogramme indique donc l'évolution des concentrations à distance du POD de référence (et par extension à distance du système de filtration). Plus le % est élevé, plus l'écart de concentration du POD avec le POD de référence est important.

Pour compléter l'analyse, l'évolution des concentrations hebdomadaires du POD de référence est représentée graphiquement (courbe) de manière à objectiver la valeur de l'écart calculé (un écart de quelques microgrammes sera d'autant plus élevé que la concentration du point de référence est basse).

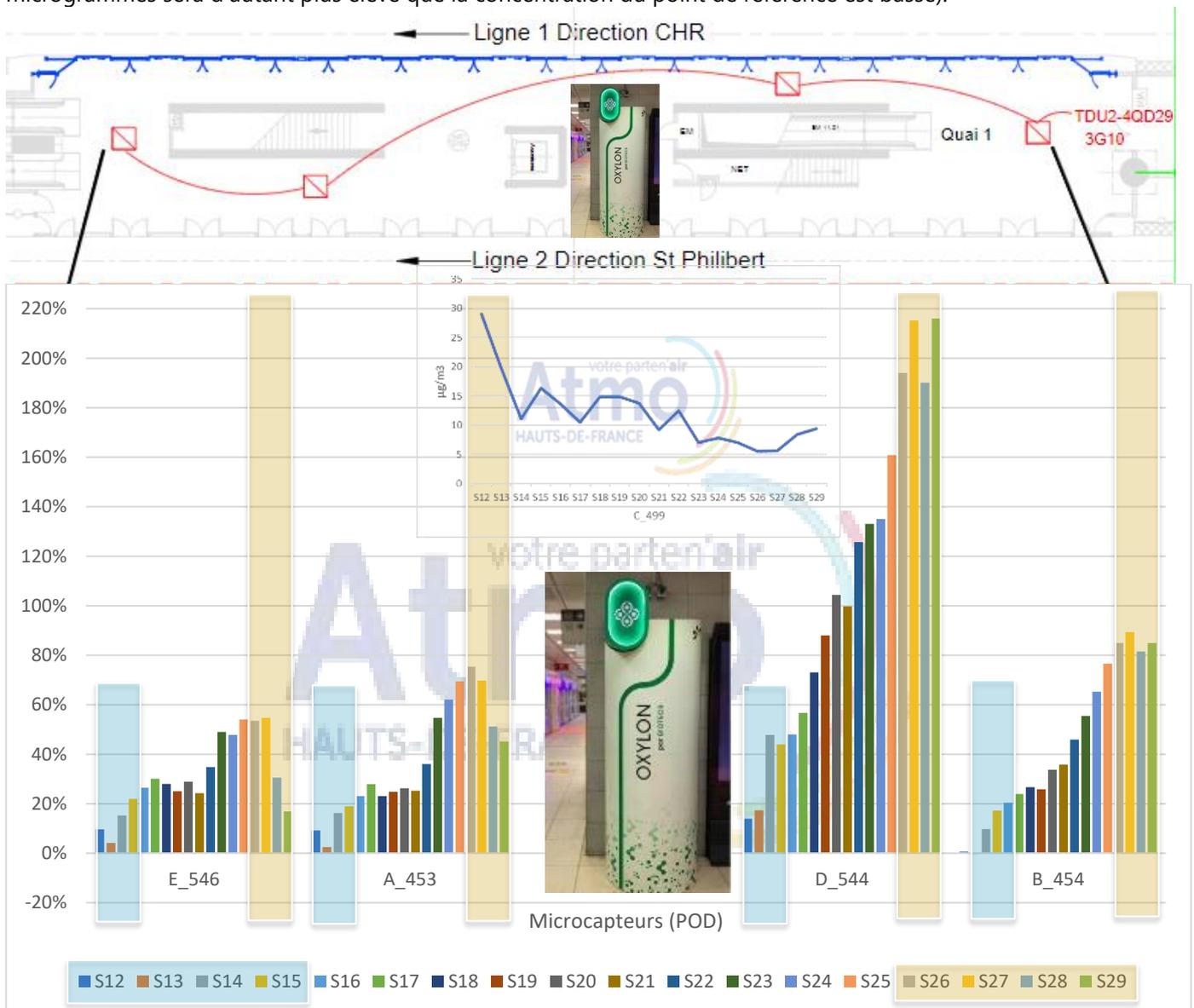


Figure 40 : Représentation graphique des performances spatiales du système de traitement de l'air Oxylon, sur la longueur du Quai 1, au regard des périodes P1 (avant filtration) et P3 (après arrêt du système de filtration)

Le système Oxylon a été mis en fonctionnement à partir du jeudi 14 avril à 10h40, en milieu de semaine 15. En comparaison des 3 semaines de mesures préalables, on note qu'un effet de la filtration commence à s'amorcer sur le quai, au niveau des POD E, A et B, mais pas du POD D. A noter que la semaine 15 est également la 1^{ère} semaine des vacances scolaires d'avril. Avant la mise en route du système de filtration, sur les POD E, A et B, on est ainsi inférieur à 20% d'écart par rapport au point central (POD C).

Au cours des 10 semaines de fonctionnement du système Oxylon (S16 à S25, avec S16 = 2^{ème} semaine des vacances scolaires d'avril) sur lesquelles le système Oxylon a fonctionné, on observe un effet entre 15% et 20 % au cours des 6 premières semaines (S16 à S21), entre le site de filtration (POD C) et les sites les plus proches. Pour ces semaines-là, on observe également une diminution des concentrations mesurées au point de référence (POD C central, au niveau du système Oxylon). Cette diminution est visible principalement sur les POD E et A (homogènes), et dans une moindre mesure sur le POD B. On n'observe pas d'incidence particulière sur le POD D, pour lequel l'écart se creuse au fil des semaines (l'écart ne fait qu'augmenter).

L'évolution des concentrations au fil des semaines (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$), au point de référence (POD C), montre bien qu'on filtre plus au plus proche du système Oxylon, qu'aux autres points de mesure situé à distance (c'est-à-dire que plus on est proche du système Oxylon et plus on filtre de particules).

A partir de la 7^{ème} semaine de filtration (S22), l'écart se creuse (augmente de nouveau). On continue donc de bien filtrer au niveau du point de référence, où se trouve le système Oxylon (les concentrations continuent de baisser jusqu'en semaine 25), mais moins en distanciel, ce qui vient confirmer les précédentes conclusions du point 5.2.

En période P3, après l'arrêt du système de filtration Oxylon, l'écart ne revient pas au niveau de P1, en lien notamment avec le début des vacances scolaires (milieu de semaine 27). On observe alors des niveaux de concentrations mesurées en particules fines PM2.5 au niveau du point de référence qui sont plus basses qu'en période de filtration (concentrations plus basses au point central de référence), qui réaugmentent ensuite au cours de la dernière quinzaine d'expérimentation (S28 et S29).

Sur l'ensemble du quai, on note un effet plus important au point de référence, en proximité directe du système Oxylon, et un effet moindre quand on s'en éloigne.

6. Conclusion

Dans le cadre d'un marché innovant lancé par la Métropole Européenne de Lille (MEL), la Société BIOTEOS a expérimenté son système « Oxyton » de traitement de l'air, sur le quai de la station de métro Gare Lille Flandres (GLF). L'enjeu de la mise en œuvre de ce dispositif est l'amélioration de la qualité de l'air sur le quai, en captant les particules présentes dans l'air, diminuant ainsi leur niveau de concentration.

Dans le cadre de cette expérimentation, BIOTEOS a fait appel à l'Observatoire de l'air en région (l'association Atmo Hauts-de-France). Les mesures ont été réalisées, sur les 3 périodes d'expérimentation définies :

- Période 1 (P1) « avant mise en route » : du jeudi 17 mars au jeudi 14 avril à 10h40 (mise en route du système Oxyton),
- Période 2 (P2) « fonctionnement du système Oxyton » : du jeudi 14 avril à 10h40 au samedi 25 juin à 16h17,
- Période 3 (P3) « après arrêt » : du samedi 25 juin à 16h17 au mardi 26 juillet à 23h.

Une campagne de mesures de plus de 4 mois a ainsi été réalisée, entre le 17 mars et le 26 juillet 2022, sur le Quai 1 de la Gare Lille Flandres (GLF1), qui dessert la Ligne 1 Direction CHR et la Ligne 2 Direction St-Philibert. En milieu de quai, des mesures de particules en suspension inférieures à 10 µm (PM10), de particules en suspension inférieures à 2.5 µm (PM2.5), de particules en suspension inférieures à 1 µm (PM1) et de particules ultrafines (PUF) 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).

Sur toute la longueur du quai, 5 microcapteurs ont été répartis au plafond, afin de suivre l'évolution de ces mêmes polluants (hormis les PUF) à distance du système Oxyton.

La surveillance des particules en suspension (PM10, PM2.5 et PM1) en milieu de quai montre une évolution de la concentration massique entre les 3 périodes (avant, pendant et après fonctionnement du système Oxyton), avec P1 > P2 > P3. Elle montre une diminution des concentrations en lien avec la diminution des émissions de particules liée au fonctionnement du métro (fréquence de passages de rames moins importante) et également en présence du système de filtration Oxyton. Ces observations sont identiques pour les particules fines PM2.5 et PM1 :

- En journée, on note 2 pics de concentrations (matin et soir) au cours des 3 périodes, le pic le plus élevé étant observé le soir en P1 et P2 (P2 > P1) et le matin en P3. Entre ces pics, les concentrations sont plus basses en P2 et P3 qu'en P1. Globalement, les profils P2 et P3 sont assez similaires. Concernant les travaux de nuit, en dehors de l'ouverture du métro aux usagers, les pics en P1 et P3 sont également visibles.
- Sur les données journalières, sur la durée de l'expérimentation, les valeurs les plus basses sont observées le week-end. En semaine, les concentrations sont plus importantes le mercredi avant et pendant l'expérimentation, puis le lundi après l'arrêt du système Oxyton.

Les variations observées des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1, durant toute la durée d'expérimentation, ne sauraient être uniquement attribuées au système de filtration, au regard des autres facteurs d'influence que sont la fréquentation du quai par les usagers et la fréquence de passage des rames.

L'étude des concentrations en PUF en milieu de quai avant (P1), pendant (P2) et après (P3) la mise en place du système Oxyton montre qu'elles réagissent différemment des autres particules. Contrairement aux particules en suspension (PM10) et aux particules fines (PM2.5 et PM1), les particules ultrafines ne montrent pas d'évolutions régulières (pics en journée aux heures de passages de rames plus importants), mais sont plus nombreuses sur certaines journées, notamment en lien avec des activités de travaux la nuit ou spécifiques en journée.

La surveillance des particules ultrafines (PUF) n'a pas mis en évidence d'incidence particulière du système de filtration Oxyton sur la taille des particules sur le Quai 1. L'évolution de la répartition granulométrique des particules ultrafines, selon les 3 périodes de mesure (mais également au fil des semaines), ne montre pas d'incidence du système sur la taille des particules. Comme lors de la campagne métro en 2021, ce sont les particules les plus petites, entre 20 et 50 nm, qui sont les plus nombreuses : 48% des particules comptées en P1 ont une taille comprise entre 20 et 50 nm, 53% en P2 et 54% en P3 (contre 52% lors de la campagne de mesure menée sur le quai GLF en 2021).

On note que les niveaux en PUF, en période d'exploitation et de fonctionnement du métro, sont équivalents sur les 3 périodes, autour de 5000 p/cm³ (cohérence avec l'étude 2021). Le système de filtration Oxyton ne semble pas avoir d'influence sur les concentrations totales en particules ultrafines.

La surveillance des particules fines (PM2.5 et PM1) sur toute la longueur du quai montre que les 5 POD se suivent bien, sur toute la longueur du quai et pendant toute la durée de l'expérimentation, avec des données homogènes en P1 et plus hétérogènes en P2 et P3.

Les concentrations sont plus élevées en P1. Plus basses en P2 et sur la première moitié de P3, elles réaugmentent par la suite.

Concernant les profils hebdomadaires, les données des POD se suivent sur toute la longueur du quai, avec des variations de concentration selon leur emplacement. Le POD C qui est placé en milieu du quai et proche du système Oxyton, enregistre les valeurs les plus faibles. Les POD D et B enregistrent les valeurs les plus élevées (D > B). On peut s'interroger sur l'emplacement du POD D face à l'ouverture des portes des rames de la Ligne 1 (l'étude métro 2021 ayant montré des concentrations sur la Ligne 1 supérieures à celles de la Ligne 2), B étant plus en retrait. Les POD A (placé au niveau des ouvertures de portes des rames de la Ligne 2) et POD E (placé au niveau des escalators de sorties, pour remonter au niveau de la salle des billets) présentent des valeurs intermédiaires. Les conclusions obtenues pour les particules fines PM2.5 et PM1 s'appliquent aussi aux **données des particules en suspension PM10 des POD**, bien que ces dernières n'aient pas été présentées dans le rapport.

On note un lien entre l'augmentation des **concentrations en CO₂ sur toute la longueur du quai** (émis par la respiration des usagers) et l'augmentation de la fréquentation à Gare Lille Flandre.

Sur la durée de l'expérimentation, les concentrations sont inférieures à 1000 ppm (seuil recommandé par le RSD) et 800 ppm (avis du HCSP dans les environnements intérieurs, avec port du masque), **ne traduisant pas de problématique d'accumulation des polluants durant toute l'expérimentation.**

La surveillance des paramètres de confort des usagers, montre que l'humidité relative est plutôt stable tout au long de la campagne de mesure et que la température (T°) évolue au regard des conditions météorologiques extérieures, avec une forte augmentation sur la fin de campagne, en lien avec les fortes chaleurs (canicule).

Au regard des données disponibles sur le fonctionnement du métro, d'un commun accord avec la MEL et BIOTEOS, l'analyse sur la base de journées types n'a pu être menée. Sans pouvoir isoler l'influence du système de filtration sur les concentrations en particules, des autres facteurs d'influence (fréquence de passage de rames et nombre de passagers), il nous est donc impossible de conclure de manière claire et non ambiguë sur l'impact du système de filtration sur les particules.

Cependant, une représentation graphique des résultats, sur toute la longueur du quai, montre des concentrations plus faibles sur le site principal, que sur les sites excentrés, dès l'instant où le système de filtration est mis en route. Pendant la phase de mise en service, on constate une diminution des concentrations. Si cette baisse est attribuée au système de filtration, il semblerait que cette filtration soit moins importante lorsque l'on s'éloigne du système Oxylon.

D'autres enseignements sont à tirer de cette expérimentation, dans la perspective d'installation de ce type de système de filtration dans le métro. Il nous paraît pertinent que la filtration soit réalisée au plus proche de la source d'émissions, c'est-à-dire au niveau de l'ouverture des portes des rames de métro au niveau du quai. D'autre part, un regard particulier pourra être porté sur la Ligne 1, cette nouvelle campagne de mesures ayant montré des niveaux plus élevés que sur la Ligne 2, comme lors de la précédente campagne de surveillance menée par Atmo en 2021.

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.

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.

CSHFP : Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France

CCTP : Cahier des Clauses Techniques Particulières

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 »

HR : humidité relative

MEL : Métropole Européenne de Lille

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

PM_{2.5} : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 2,5 µm.

PM₁ : particules en suspension de taille inférieure ou égale à 1 µm.

PUF : particules ultrafines

RSD : Règlement Sanitaire Départemental

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.fr](http://www.atmo-hdf.fr)⁵) 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 recommandations⁶ 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).*

⁵ <https://www.atmo-hdf.fr/tout-savoir-sur-l-air/mesures-de-la-qualite-de-l-air.html>

⁶ 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.



Préleveur à métaux

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 : Taux de fonctionnement

Taux de fonctionnement obtenus lors de la campagne de mesure du 17 mars au 26 juillet 2022, dans le cadre de l'expérimentation du système de traitement de l'air Oxylon sur le quai 1 de la station Gare Lille Flandre (GLF1), pour chaque période.

| | | | Taux de couverture du Quai 1 (en %) | | |
|--------------|------------------------------------|-----------------|-------------------------------------|------------------|------------------|
| | <i>Site de mesure</i> | <i>Appareil</i> | <i>Période 1</i> | <i>Période 2</i> | <i>Période 3</i> |
| PM1 | Milieu du quai GLF1 | FIDAS | 96.1 | 92 | 88.8 |
| | Sur toute la longueur du quai GLF1 | POD2 A | 100 | 99.9 | 99.5 |
| | | POD2 B | 100 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 C | 97 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 D | 100 | 99.9 | 99.5 |
| | | POD2 E | 100 | 100 | 99.5 |
| PM2.5 | Milieu du quai GLF1 | FIDAS | 96.1 | 99.4 | 99.5 |
| | Sur toute la longueur du quai GLF1 | POD2 A | 97.4 | 98.3 | 99.5 |
| | | POD2 B | 97.8 | 98.2 | 99.5 |
| | | POD2 C | 94.1 | 95.1 | 99.5 |
| | | POD2 D | 98.7 | 99 | 99.5 |
| | | POD2 E | 98.7 | 98.9 | 99.5 |
| PM10 | Milieu du quai GLF1 | FIDAS | 96 | 99.3 | 99.5 |
| | Sur toute la longueur du quai GLF1 | POD2 A | 98.4 | 98.7 | 99.5 |
| | | POD2 B | 98.4 | 98.8 | 99.5 |
| | | POD2 C | 94.7 | 96.2 | 99.3 |
| | | POD2 D | 99 | 99.1 | 99.5 |

| | | | | | |
|-----------------------|------------------------------------|----------|-------------|-------------|-------------|
| | | POD2 E | 99 | 99.1 | 99.5 |
| PUF totales | Milieu du quai GLF1 | UFP 3031 | 96.3 | 99.9 | 89.3 |
| CO₂ | Milieu du quai GLF1 | QTrak | NC* | NC | NC |
| | Sur toute la longueur du quai GLF1 | POD2 A | 100 | 99.9 | 99.5 |
| | | POD2 B | 100 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 C | 97 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 D | 100 | 99.9 | 99.5 |
| | | POD2 E | 100 | 100 | 99.5 |
| T° | Milieu du quai GLF1 | QTrak | NC | NC | NC |
| | Sur toute la longueur du quai GLF1 | POD2 A | NC | NC | NC |
| | | POD2 B | NC | NC | NC |
| | | POD2 C | 97 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 D | NC | NC | NC |
| | | POD2 E | 100 | 100 | 99.5 |
| HR | Milieu du quai GLF1 | QTrak | NC | NC | NC |
| | Sur toute la longueur du quai GLF1 | POD2 A | 100 | 99.9 | 99.5 |
| | | POD2 B | 100 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 C | 97 | 100 | 99.5 |
| | | POD2 D | 100 | 99.9 | 99.5 |
| | | POD2 E | 100 | 100 | 99.5 |

* NC : non conforme

Annexe 4 : Statistiques des données horaires

En milieu de quai

| | | PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PUF totales (p/cm^3) |
|----|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| P1 | Moyenne | 15.3 | 21.2 | 43.1 | 8274 |
| | Maximum | 114.6 | 180.8 | 575.9 | 195230 |
| | Minimum | 1.7 | 3.3 | 5.4 | 1650 |
| P2 | Moyenne | 12 | 17 | 36.3 | 5652 |
| | Maximum | 40.6 | 96.4 | 458.9 | 37080 |
| | Minimum | 1.8 | 2.9 | 4.5 | 1190 |
| P3 | Moyenne | 11.3 | 16.2 | 36 | 5577 |
| | Maximum | 133 | 285.1 | 726.6 | 48430 |
| | Minimum | 1.8 | 2.6 | 4 | 1590 |

Sur toute la longueur du quai

| | | Appareil | P1 | P2 | P3 |
|---------------------------------------|--------|----------|-------|------|-------|
| PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | POD2 A | Moyenne | 17.6 | 12.9 | 9.5 |
| | | Maximum | 121.2 | 52.8 | 55.6 |
| | | Minimum | 1.4 | 1 | 1 |
| | POD2 B | Moyenne | 16.9 | 13.4 | 11.4 |
| | | Maximum | 122.3 | 44.7 | 93.3 |
| | | Minimum | 1.2 | 0.9 | 1 |
| | POD2 C | Moyenne | 16.4 | 9.6 | 6.1 |
| | | Maximum | 119.1 | 35 | 41.4 |
| | | Minimum | 1.1 | 0.7 | 0.6 |
| | POD2 D | Moyenne | 20.1 | 18.7 | 18.3 |
| | | Maximum | 131.6 | 73.9 | 163.1 |
| | | Minimum | 1.5 | 1.1 | 1.2 |
| | POD2 E | Moyenne | 18.4 | 13.2 | 8.4 |
| | | Maximum | 127.4 | 42.7 | 57.5 |
| | | Minimum | 1.4 | 1.1 | 0.9 |
| PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | POD2 A | Moyenne | 21 | 15.2 | 11.1 |
| | | Maximum | 133.5 | 89.8 | 83.5 |
| | | Minimum | 3.3 | 1.8 | 1.1 |
| | POD2 B | Moyenne | 19.9 | 15.4 | 13 |
| | | Maximum | 135.9 | 51.9 | 143.5 |
| | | Minimum | 3.3 | 1.8 | 1 |
| | POD2 C | Moyenne | 19.5 | 11.5 | 7.1 |
| | | Maximum | 133.5 | 47.5 | 65.3 |
| | | Minimum | 3.1 | 1.1 | 0.6 |
| | POD2 D | Moyenne | 23.7 | 21.9 | 21.4 |
| | | Maximum | 146.1 | 89.4 | 314.6 |
| | | Minimum | 3.2 | 2.2 | 1.2 |
| | POD2 E | Moyenne | 21.2 | 15.1 | 9.5 |
| | | Maximum | 139.8 | 47.7 | 82 |
| | | Minimum | 3.2 | 1.9 | 1 |

Annexe 5 : Statistiques des données journalières

En milieu de quai

| | | PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PM10 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | PUF totales (p/cm^3) |
|----|---------|-------------------------------------|---------------------------------------|--------------------------------------|---|
| P1 | Moyenne | 14.4 | 21.4 | 43.5 | 8368 |
| | Maximum | 30.4 | 46.2 | 102.6 | 30820 |
| | Minimum | 5.8 | 9.3 | 19.7 | 4390 |
| P2 | Moyenne | 12.1 | 17 | 36.2 | 5664 |
| | Maximum | 20 | 26.4 | 57.1 | 9150 |
| | Minimum | 5.1 | 7.6 | 15.1 | 2240 |
| P3 | Moyenne | 11 | 16 | 36 | 5488 |
| | Maximum | 23 | 38.2 | 86.9 | 9490 |
| | Minimum | 6.9 | 10.3 | 22.2 | 3000 |

Sur toute la longueur du quai

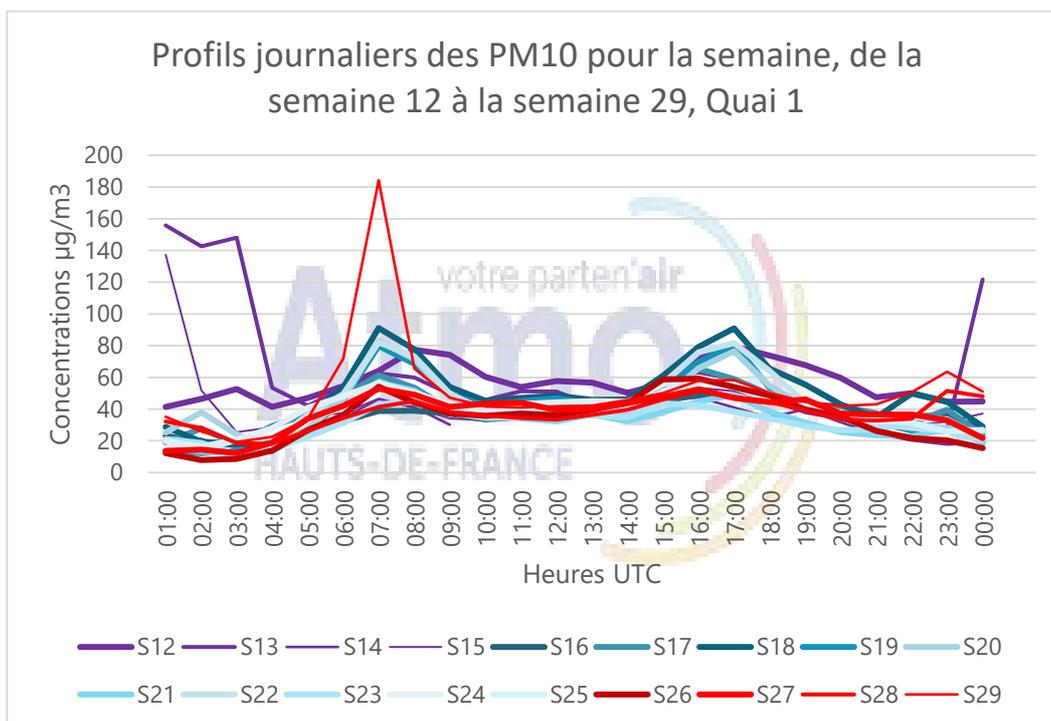
| | | Appareil | P1 | P2 | P3 |
|---------------------------------------|--------|----------|------|------|------|
| PM1 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | POD2 A | Moyenne | 17.5 | 12.8 | 9.5 |
| | | Maximum | 35 | 21.4 | 17.6 |
| | | Minimum | 6.7 | 4.9 | 5.3 |
| | POD2 B | Moyenne | 16.8 | 13.3 | 11.3 |
| | | Maximum | 32.3 | 21.9 | 23.8 |
| | | Minimum | 6.2 | 5.6 | 6.3 |
| | POD2 C | Moyenne | 16.6 | 9.6 | 6.1 |
| | | Maximum | 32.1 | 16.8 | 12.5 |
| | | Minimum | 5.7 | 3.4 | 3.4 |
| | POD2 D | Moyenne | 20 | 18.7 | 18.2 |
| | | Maximum | 34.8 | 31 | 39.9 |
| | | Minimum | 9.1 | 7.8 | 11.4 |
| | POD2 E | Moyenne | 18.3 | 13.1 | 8.4 |
| | | Maximum | 35.5 | 21.3 | 15.7 |
| | | Minimum | 7 | 4.6 | 4 |
| PM2.5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) | POD2 A | Moyenne | 20.7 | 15.1 | 11.1 |
| | | Maximum | 38.6 | 25.3 | 22.1 |
| | | Minimum | 8.4 | 5.9 | 6.4 |
| | POD2 B | Moyenne | 19.6 | 15.5 | 13 |
| | | Maximum | 35.5 | 24.8 | 30.5 |
| | | Minimum | 8.3 | 6.9 | 7.4 |
| | POD2 C | Moyenne | 19.5 | 11.5 | 7 |
| | | Maximum | 36.9 | 19.5 | 16.3 |
| | | Minimum | 7.5 | 4 | 4 |
| | POD2 D | Moyenne | 23.6 | 21.9 | 21.3 |
| | | Maximum | 39 | 36.7 | 55.8 |
| | | Minimum | 10.7 | 10 | 13.1 |
| | POD2 E | Moyenne | 20.9 | 15 | 9.5 |
| | | Maximum | 38.7 | 24 | 19.4 |
| | | Minimum | 8.7 | 5.4 | 4.6 |

Annexe 6 : Evolution du profil d'une journée moyenne, par semaine, pendant la durée de l'expérimentation

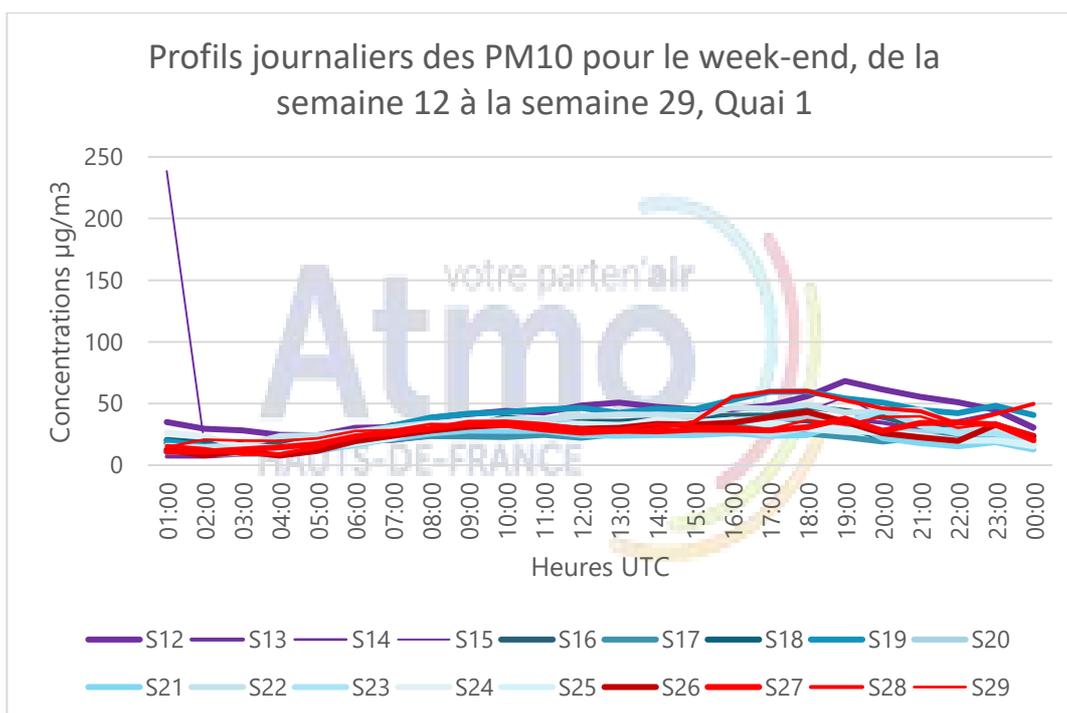
Les profils journaliers, jours ouvrés et week-end, des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 de la semaine 12 à la semaine 29, sont présentés sur les graphiques qui suivent.

Particules PM10

Jours ouvrés

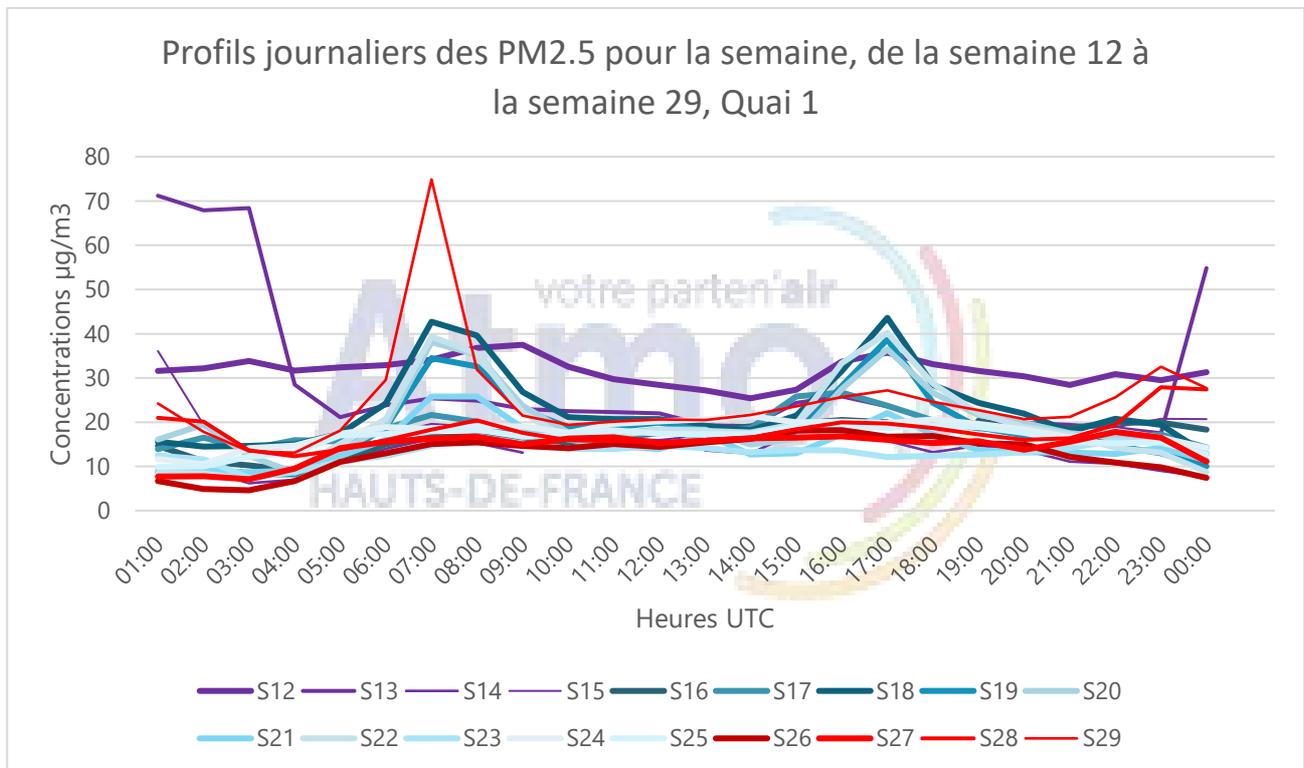


Week-end

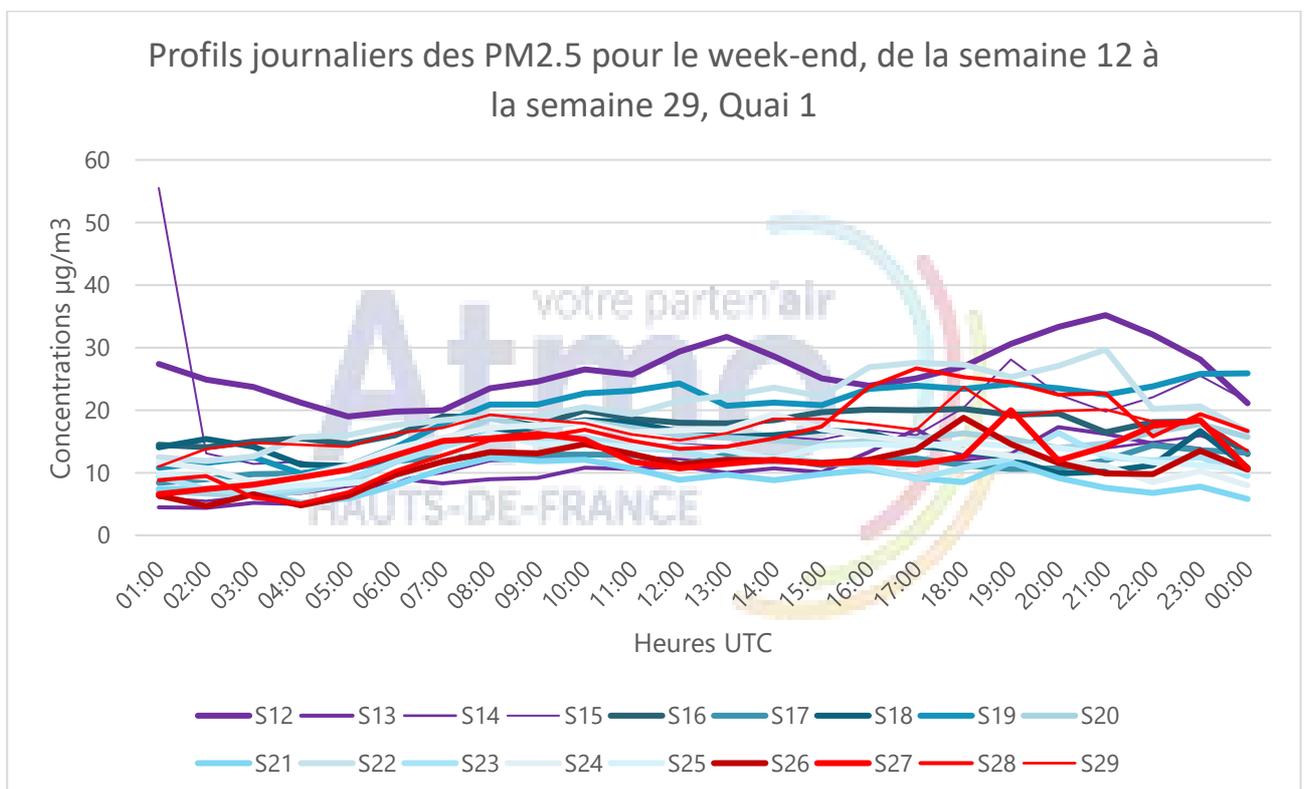


Particules PM2.5

Jours ouvrés

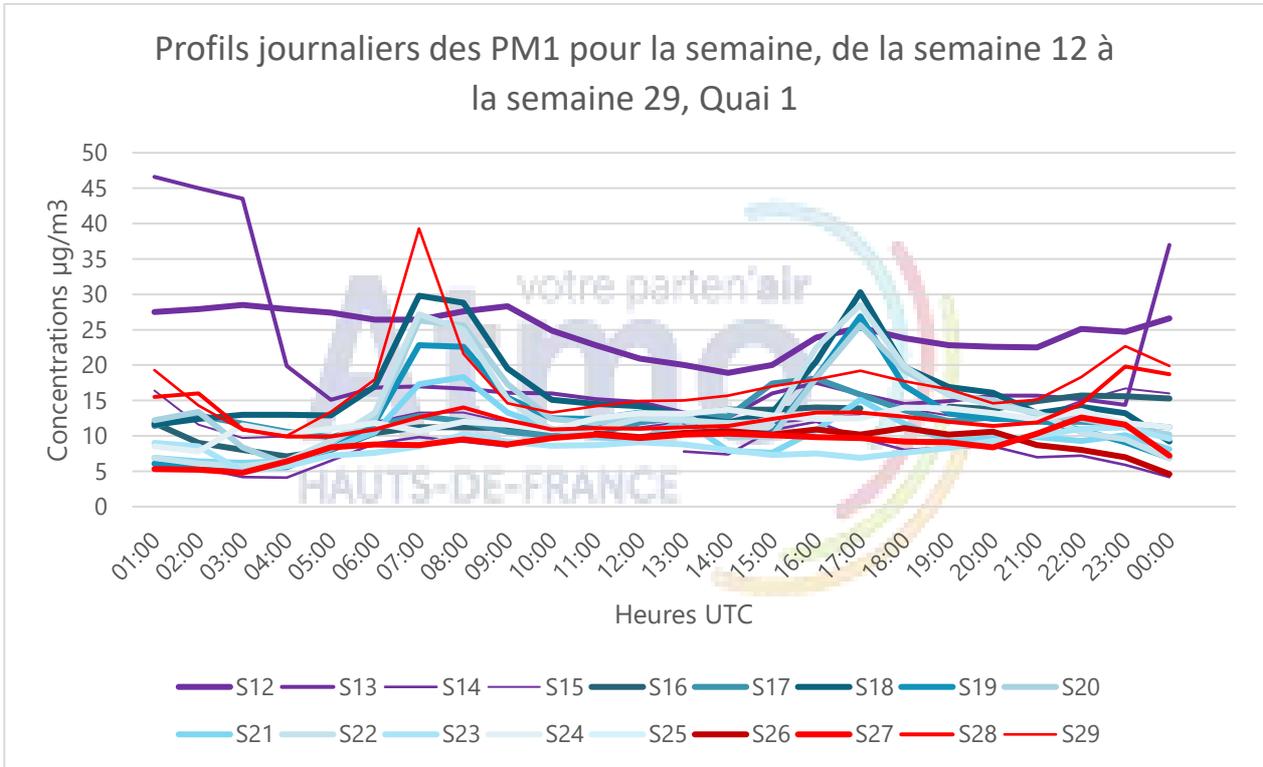


Week-end

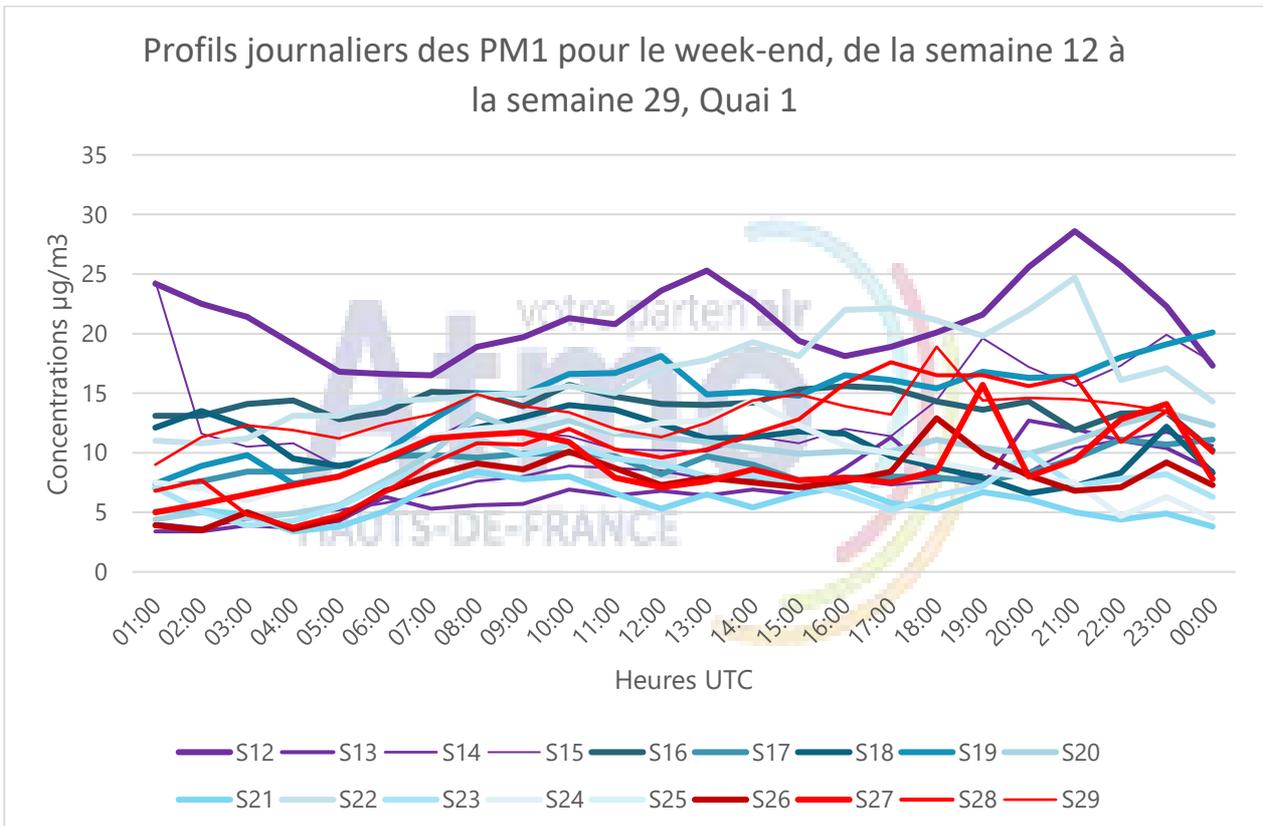


Particules PM1

Jours ouvrés

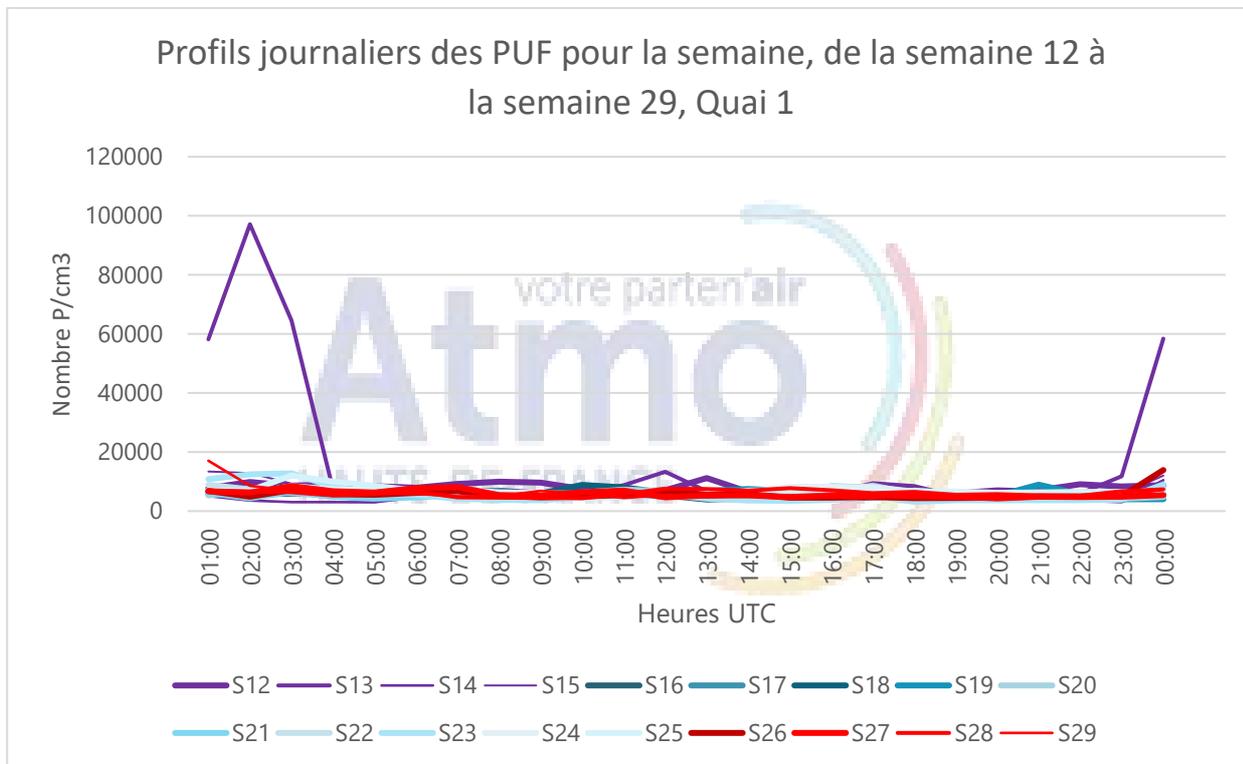


Week-end

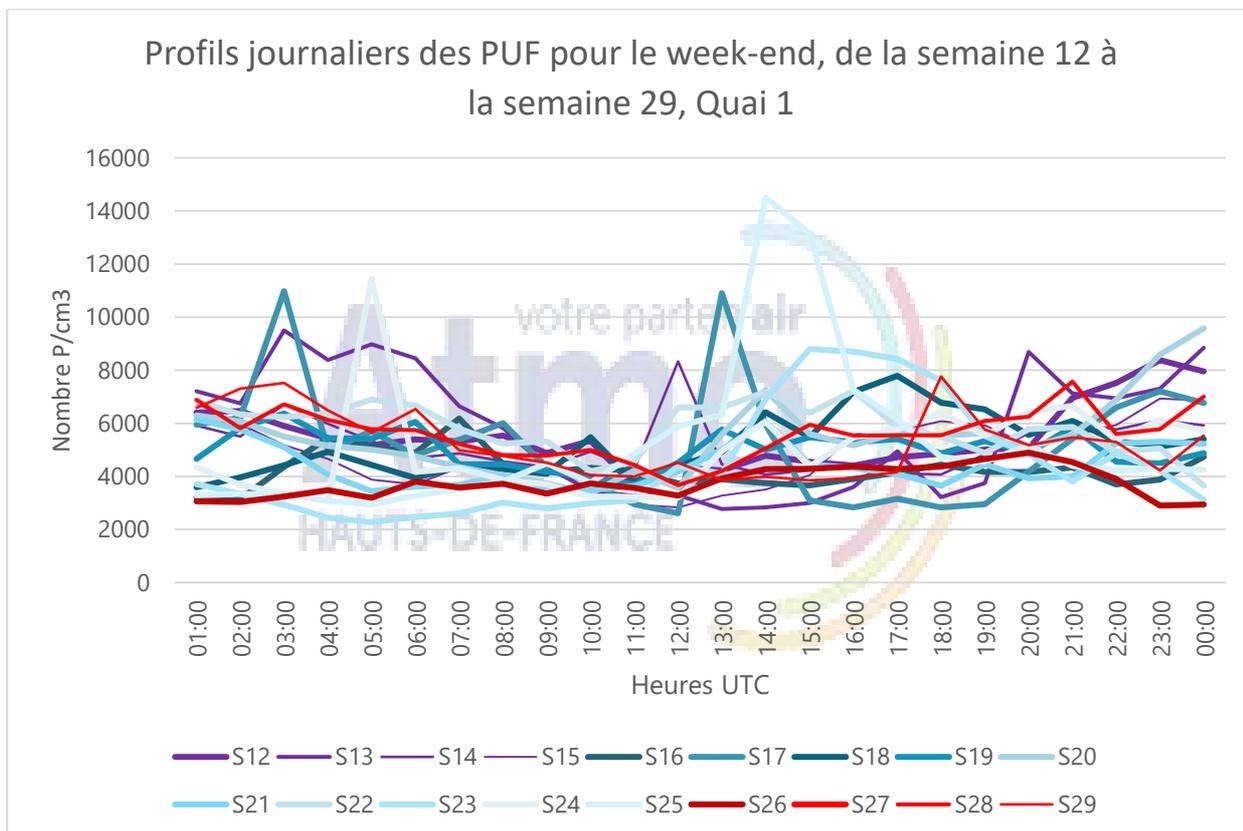


Particules ultrafines PUF

Jours ouvrés



Week-end

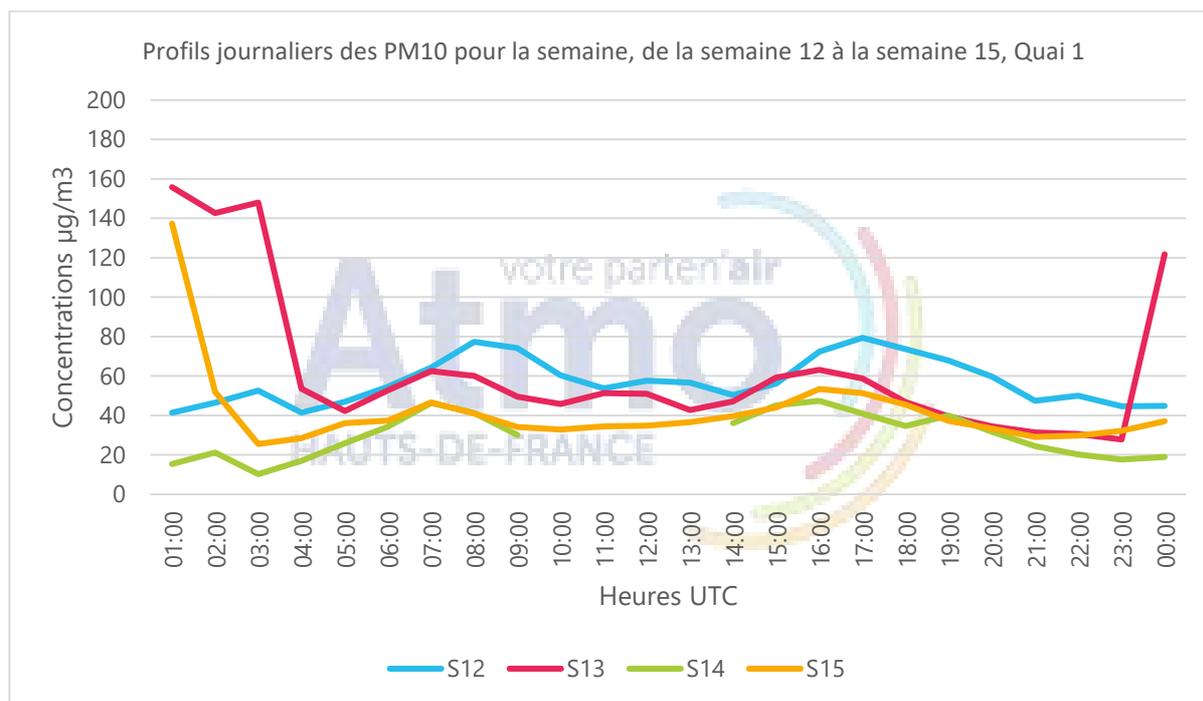


Annexe 7 : Evolution du profil d'une journée moyenne, par semaine, pendant chaque période d'expérimentation

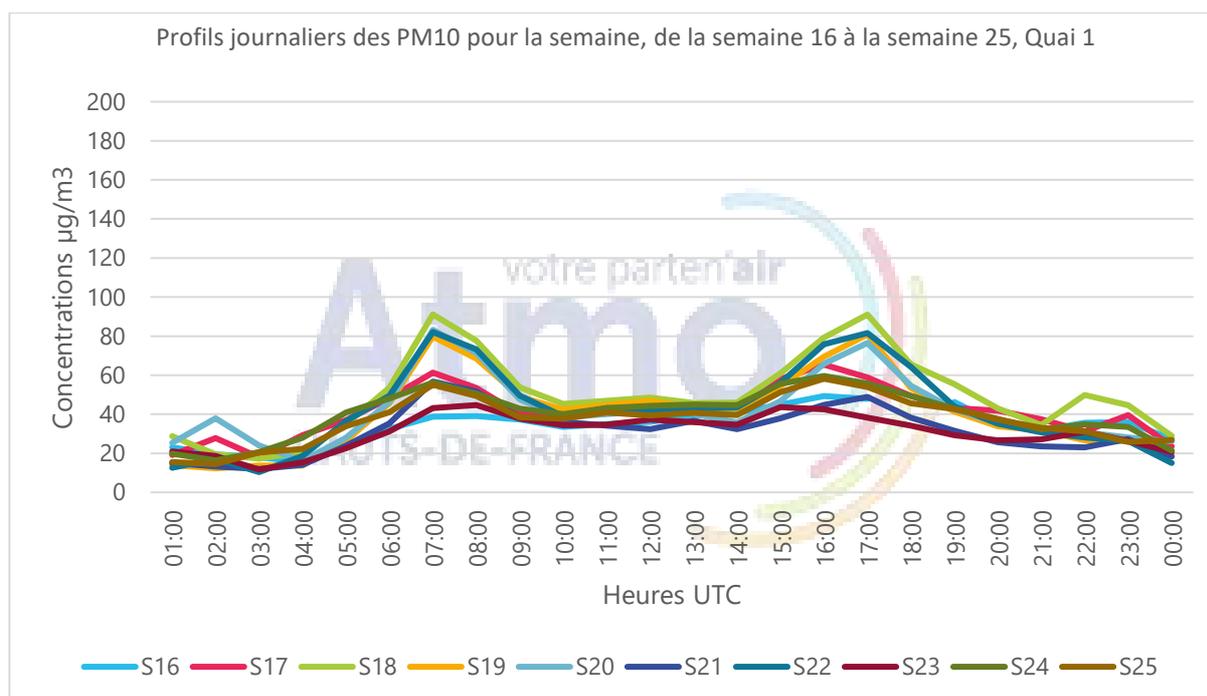
Les profils journaliers, jours ouvrés et week-end, des concentrations en PM10, PM2.5 et PM1 de la semaine 12 à la semaine 29, sont présentés sur les graphiques qui suivent.

Particules PM10

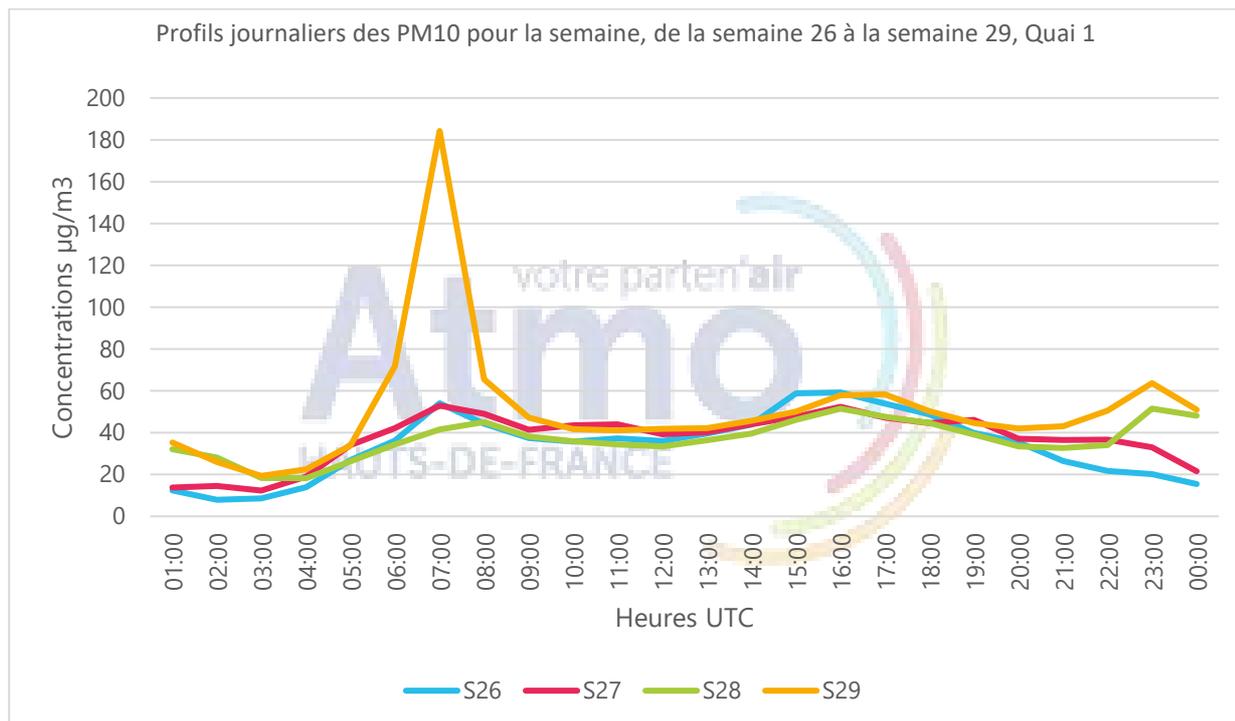
Jours ouvrés Première période (P1)



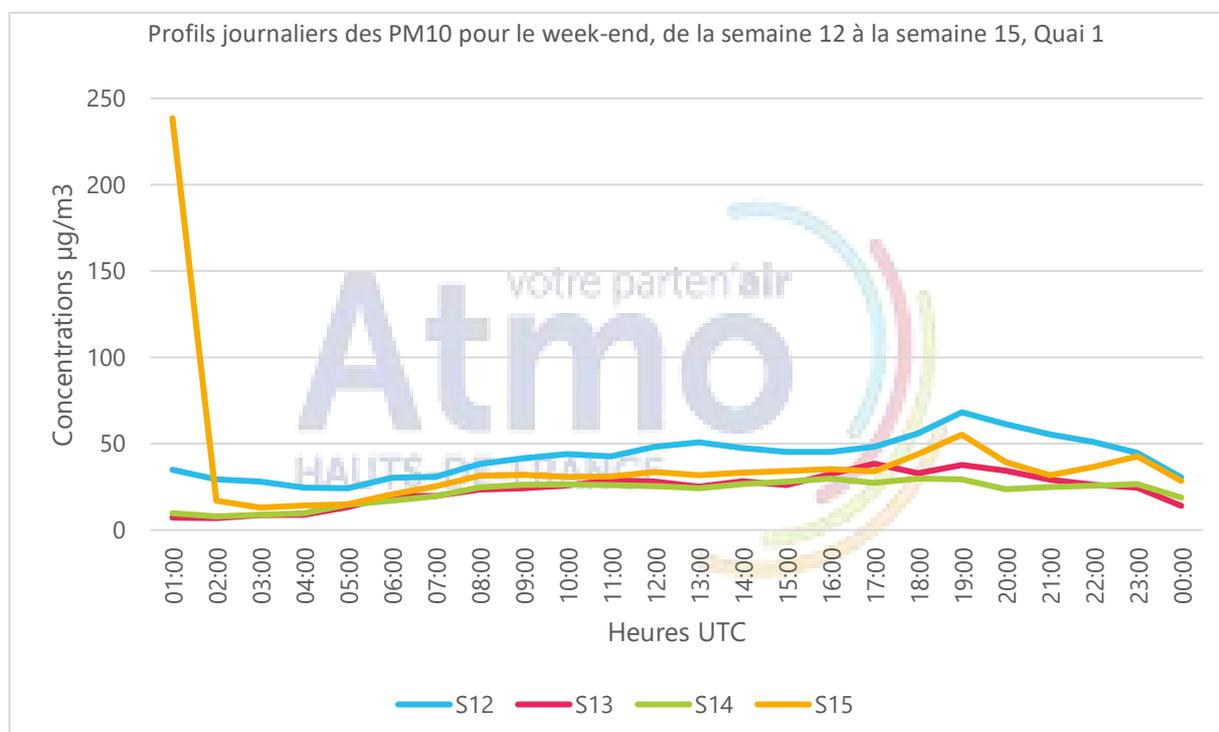
Deuxième période (P2)



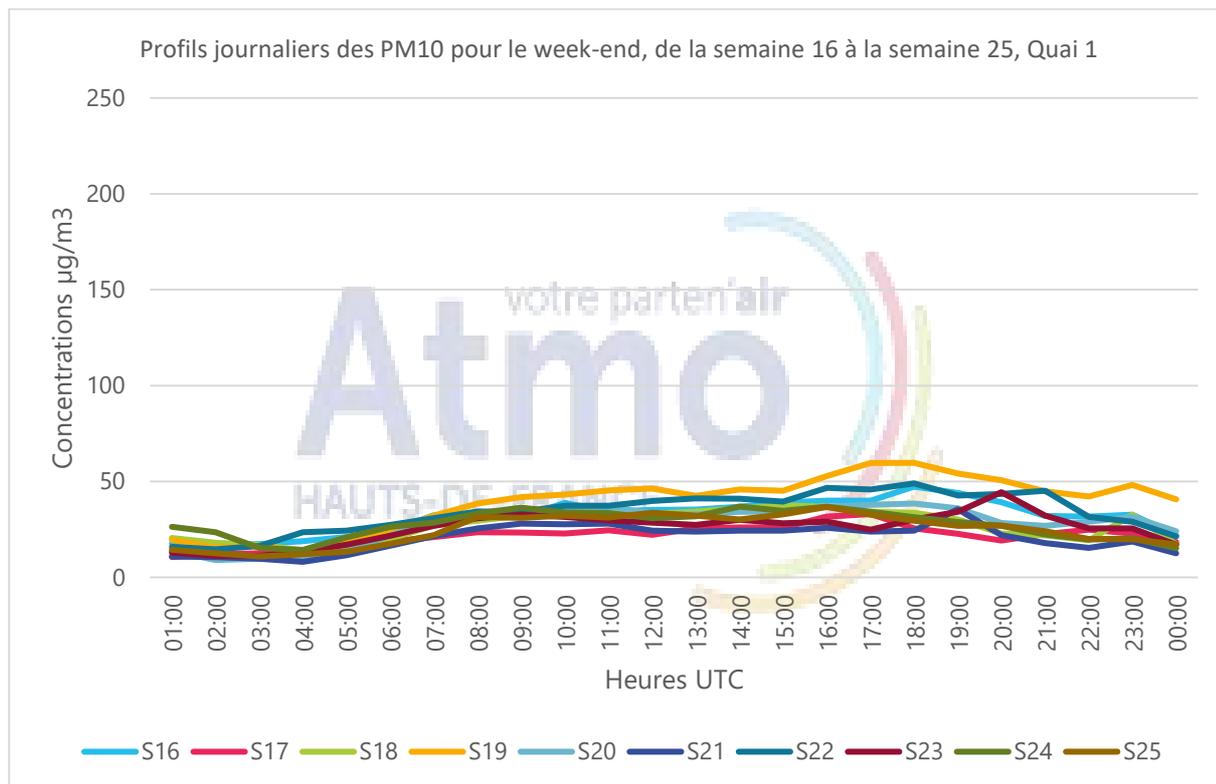
Troisième période (P3)



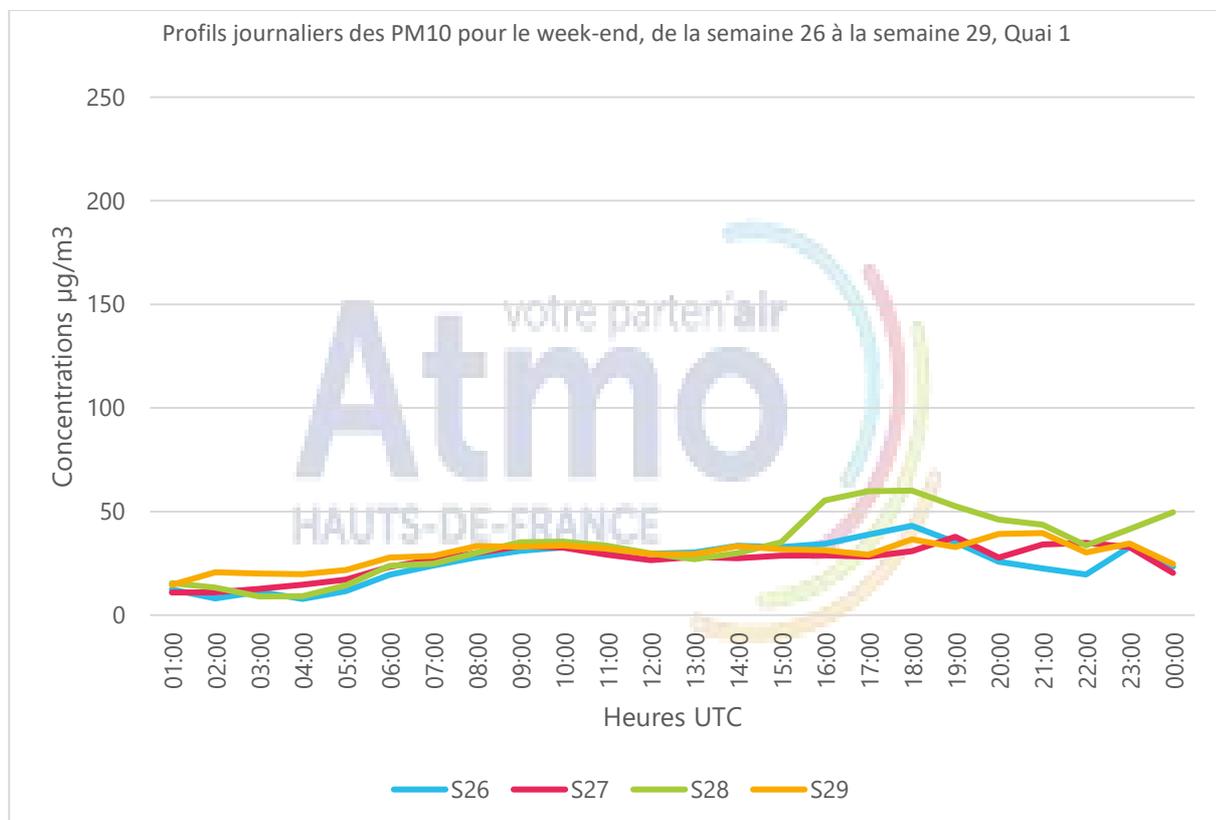
Week-ends Première période (P1)



Deuxième période (P2)

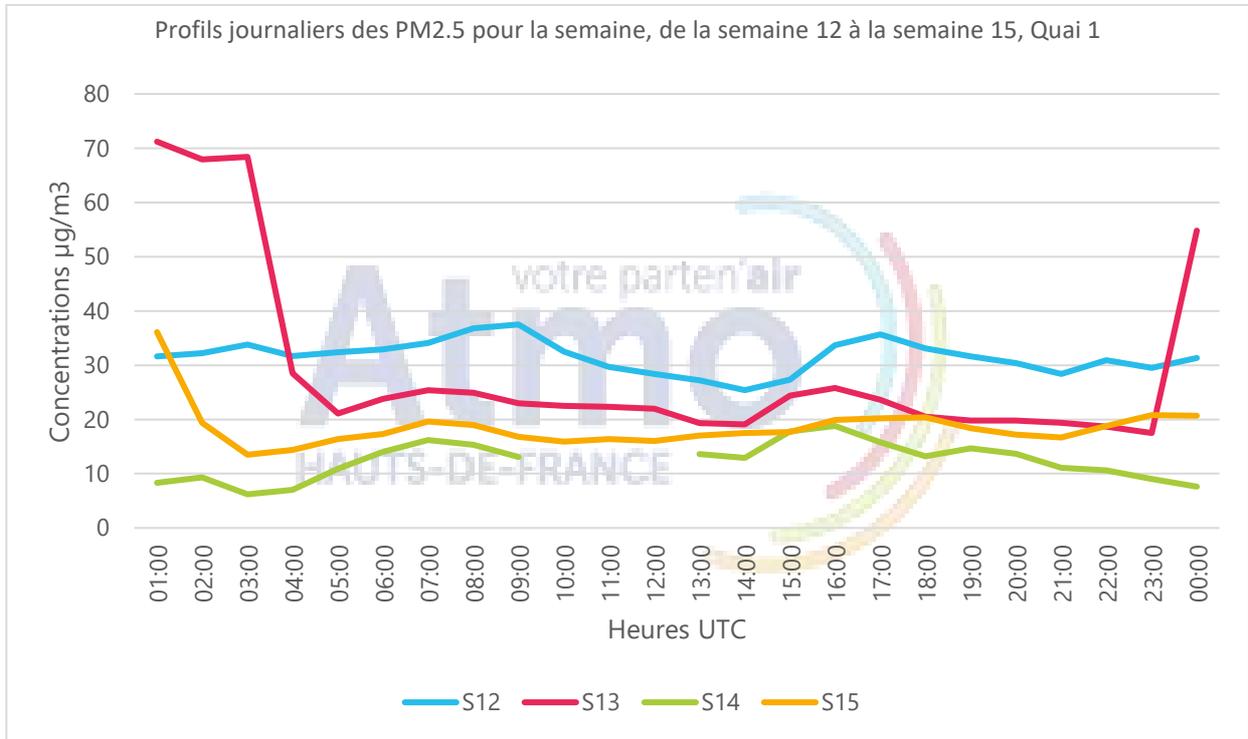


Troisième période (P3)

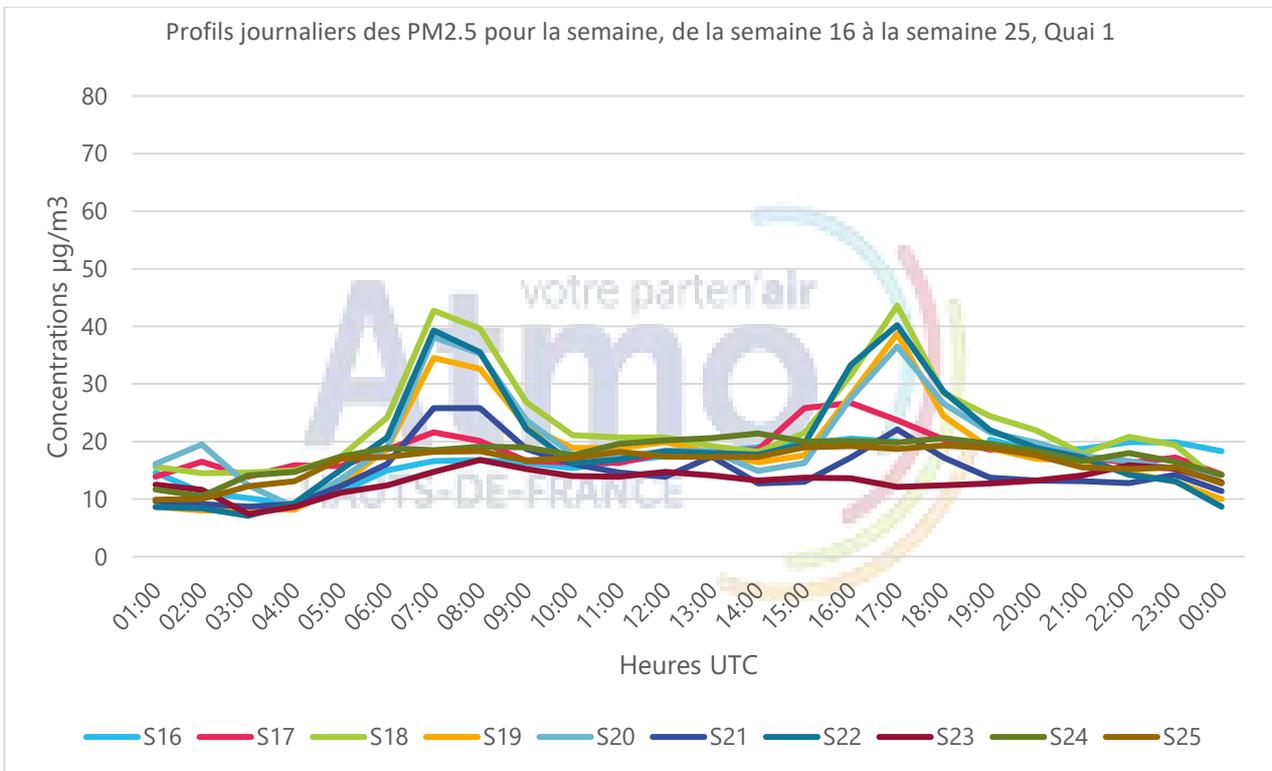


Particules PM2.5

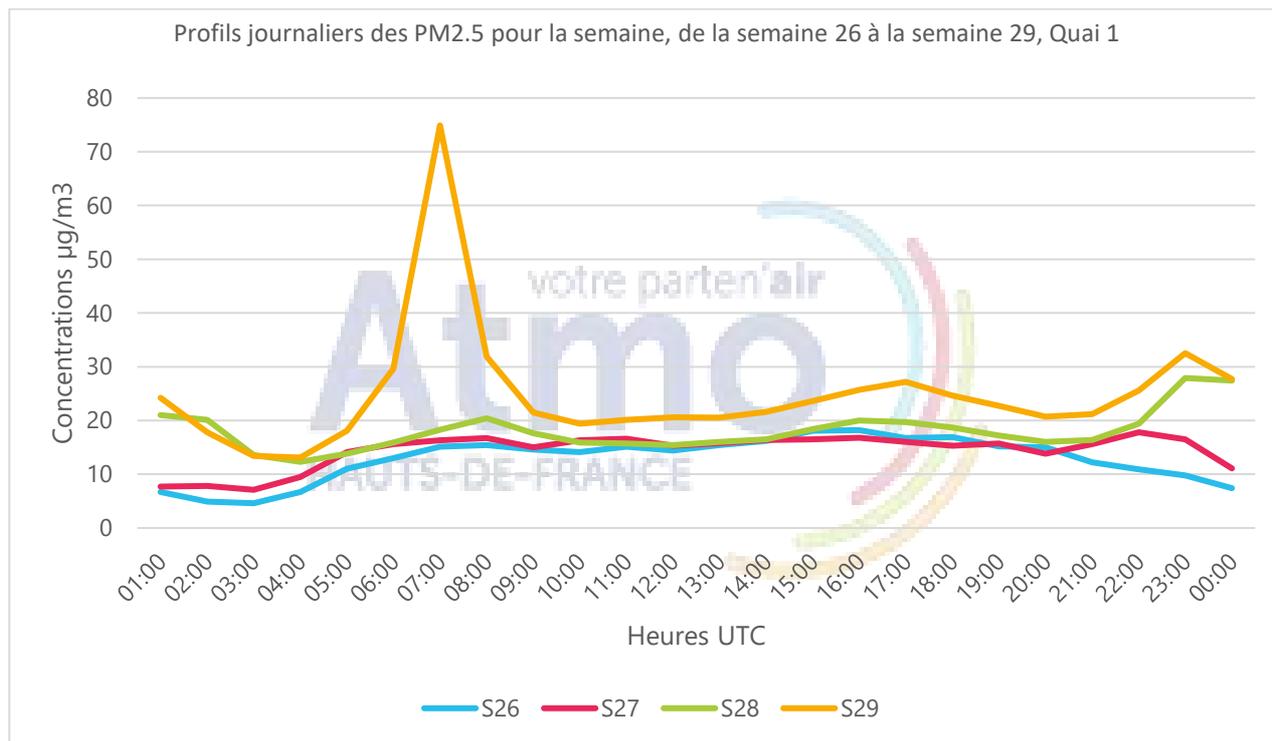
Jours ouvrés Première période (P1)



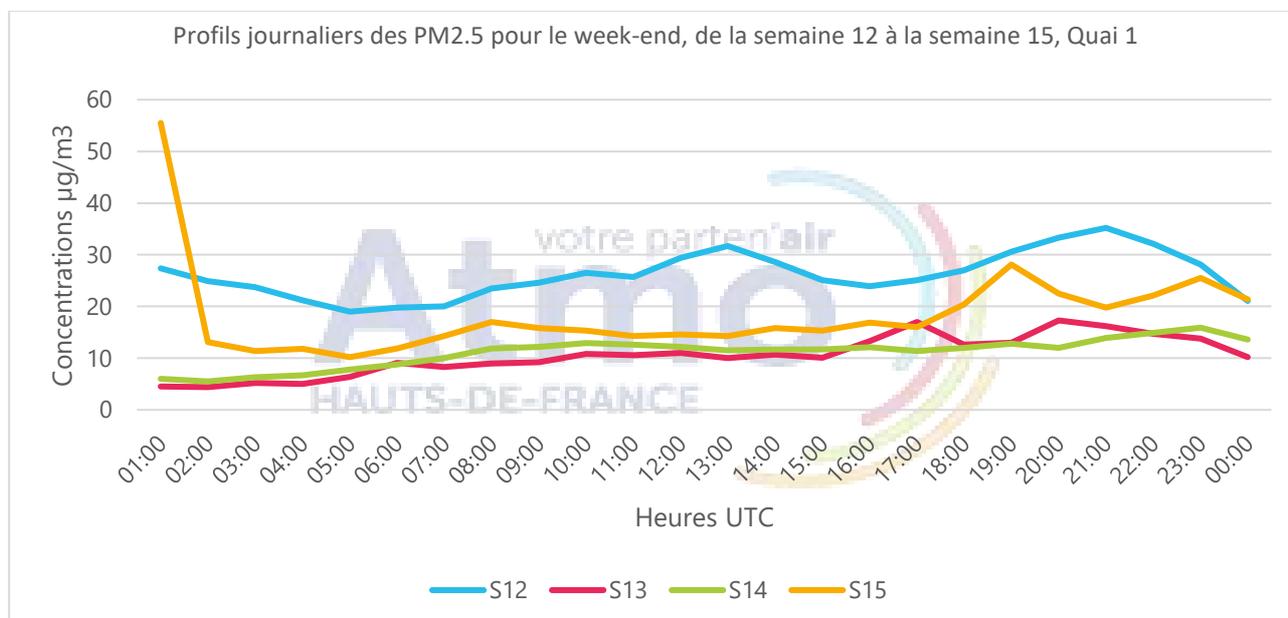
Deuxième période (P2)



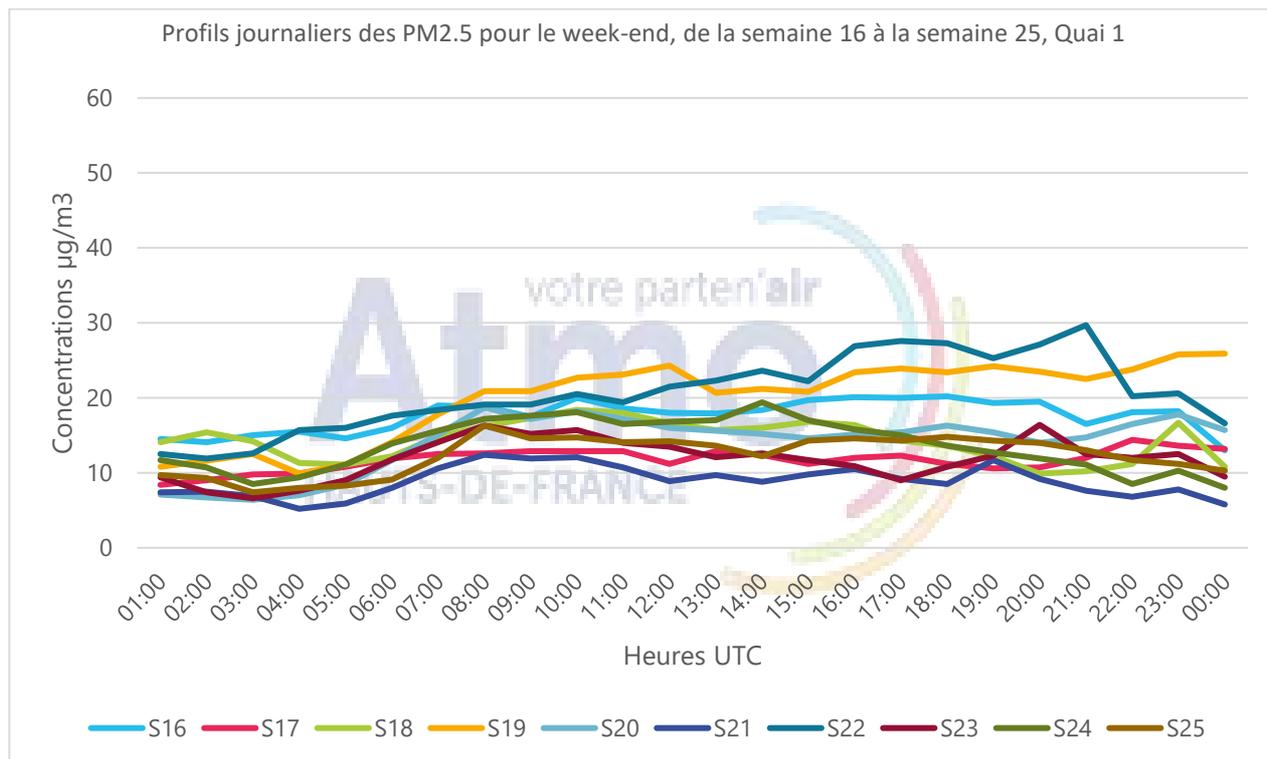
Troisième période (P3)



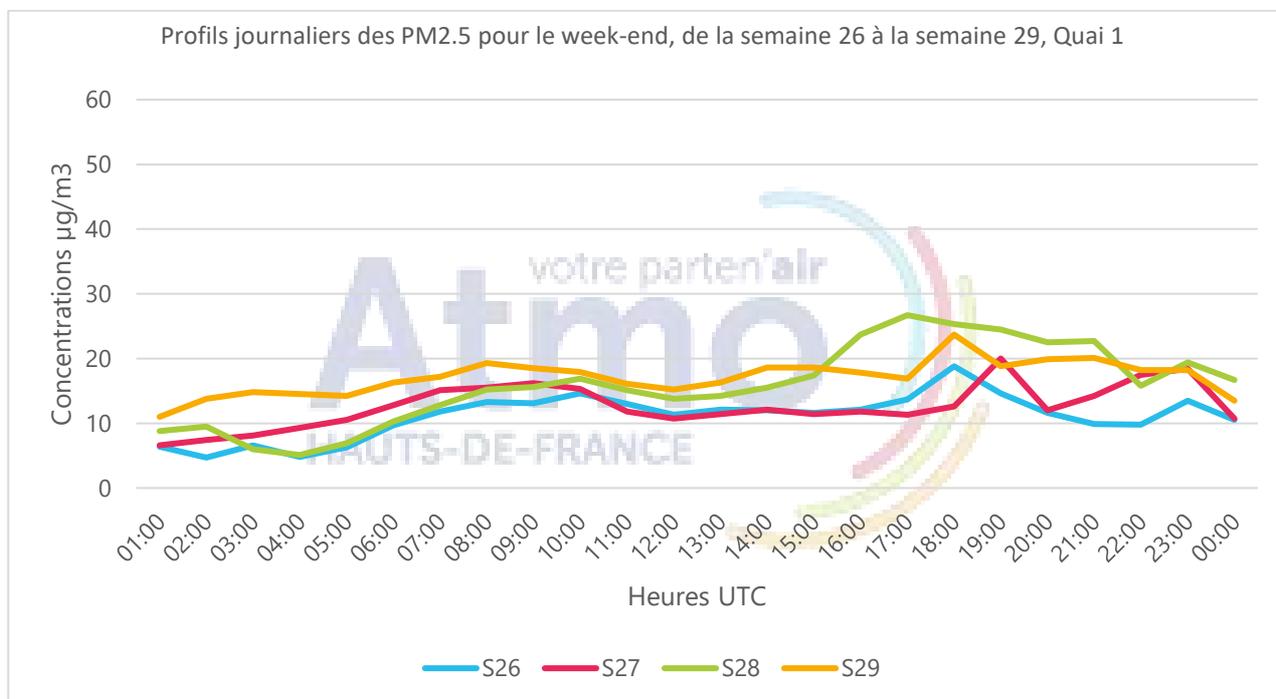
Week-ends Première période (P1)



Deuxième période (P2)

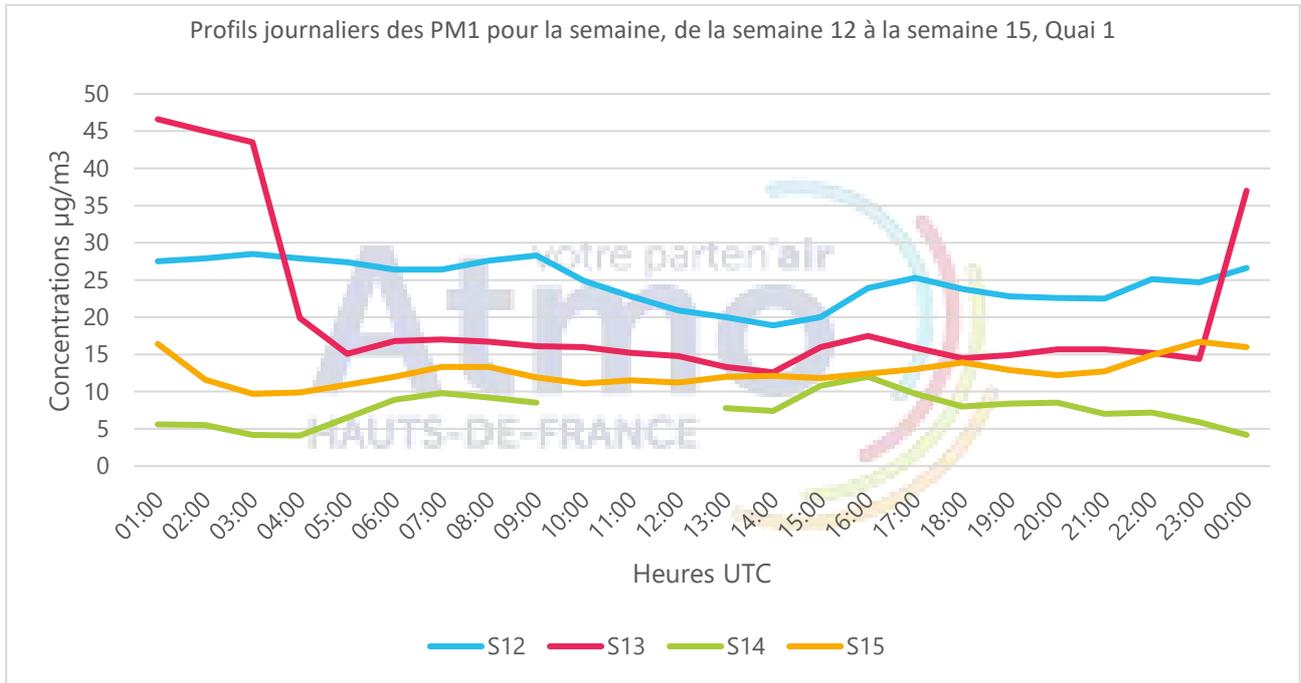


Troisième période (P3)

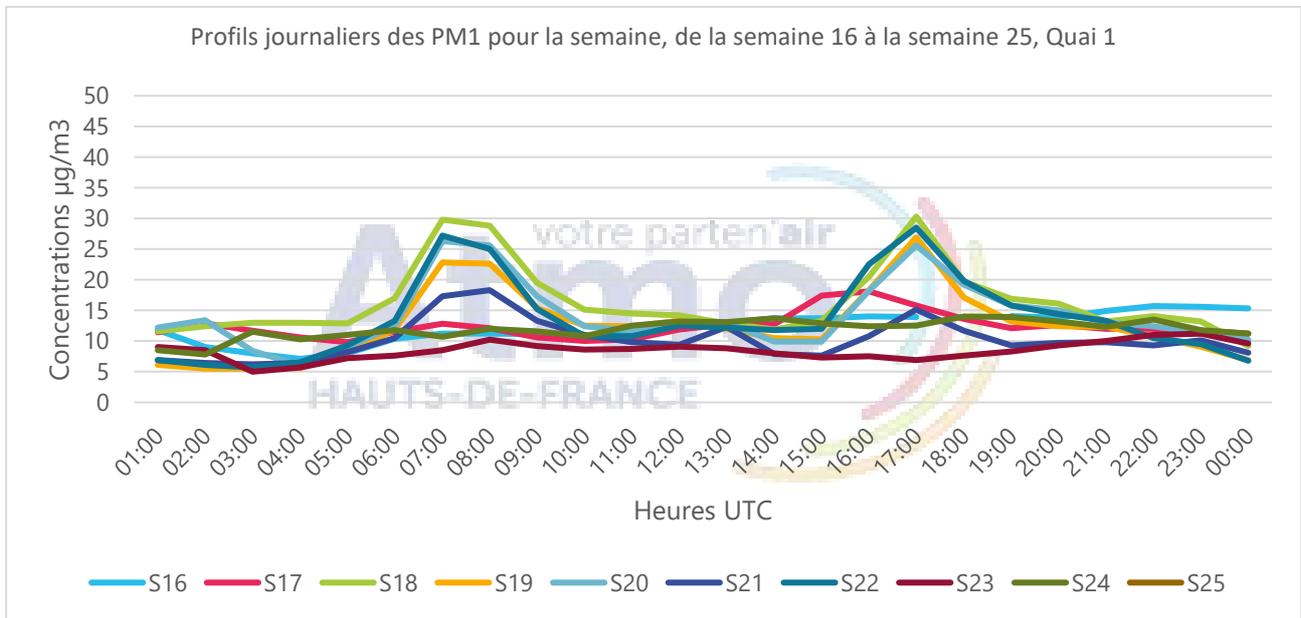


Particules PM1

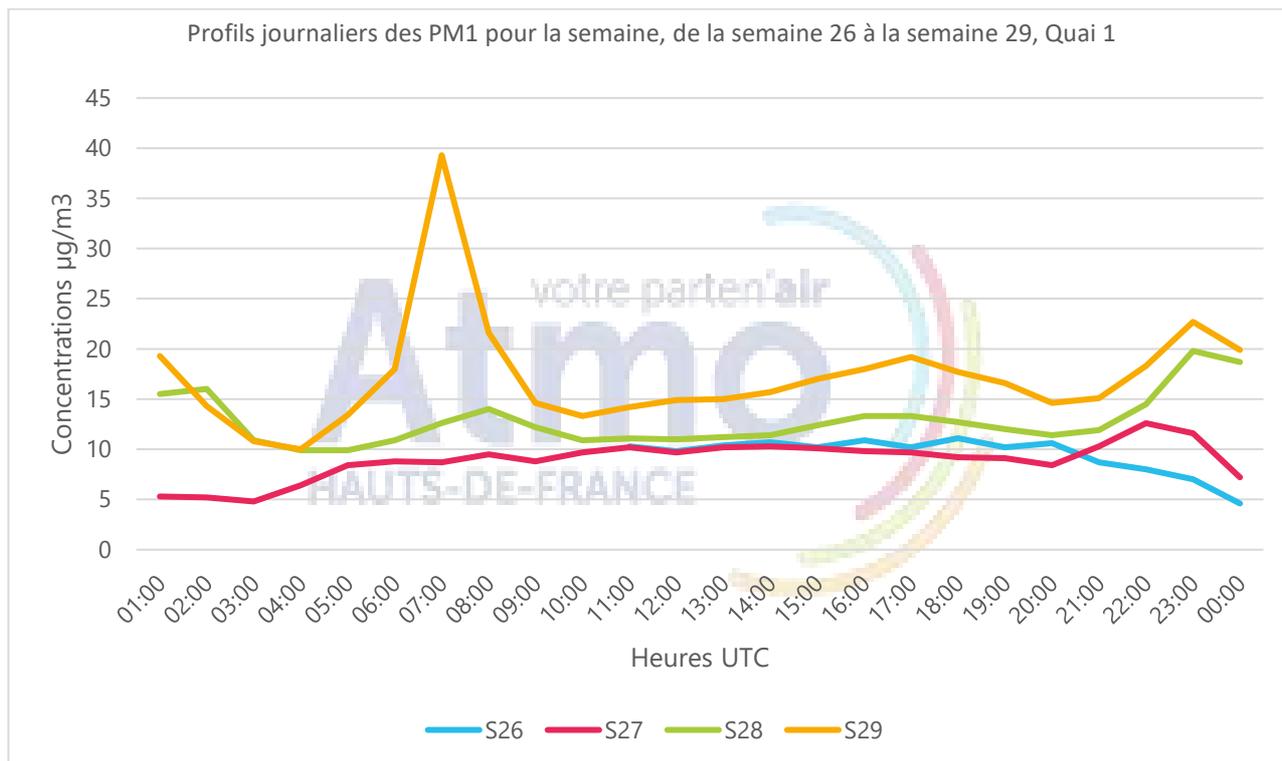
Jours ouvrés Première période (P1)



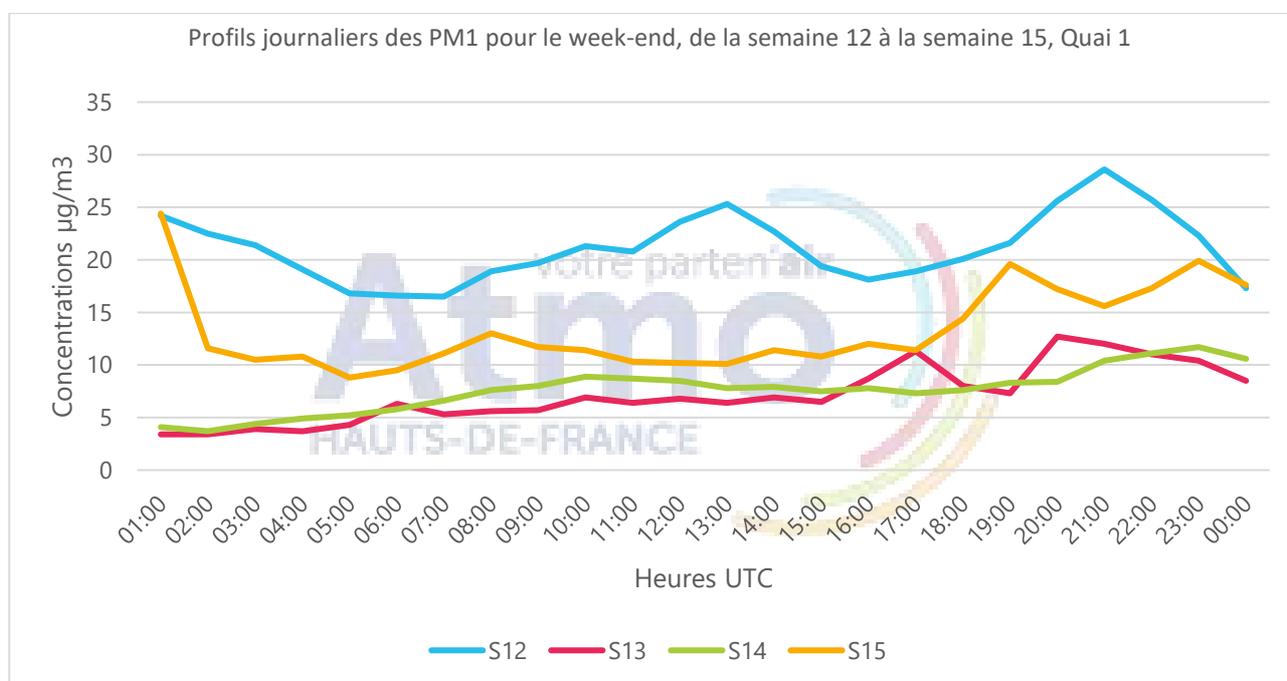
Deuxième période (P2)



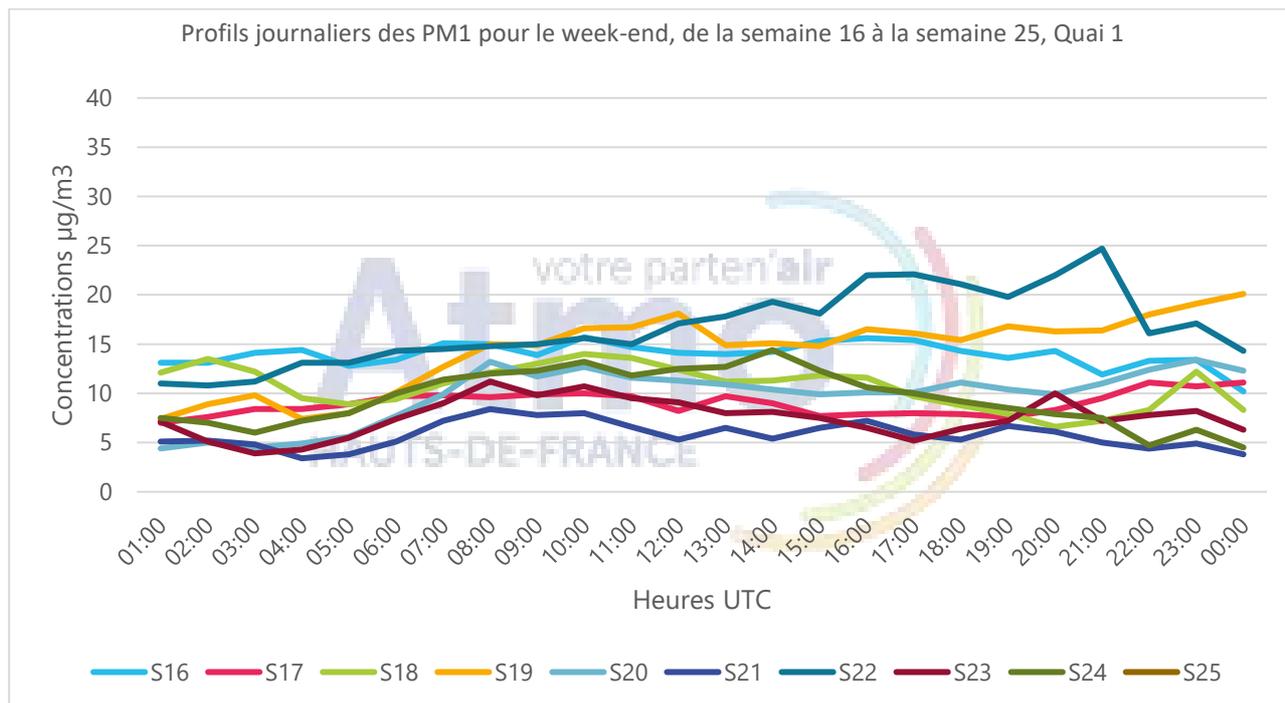
Troisième période (P3)



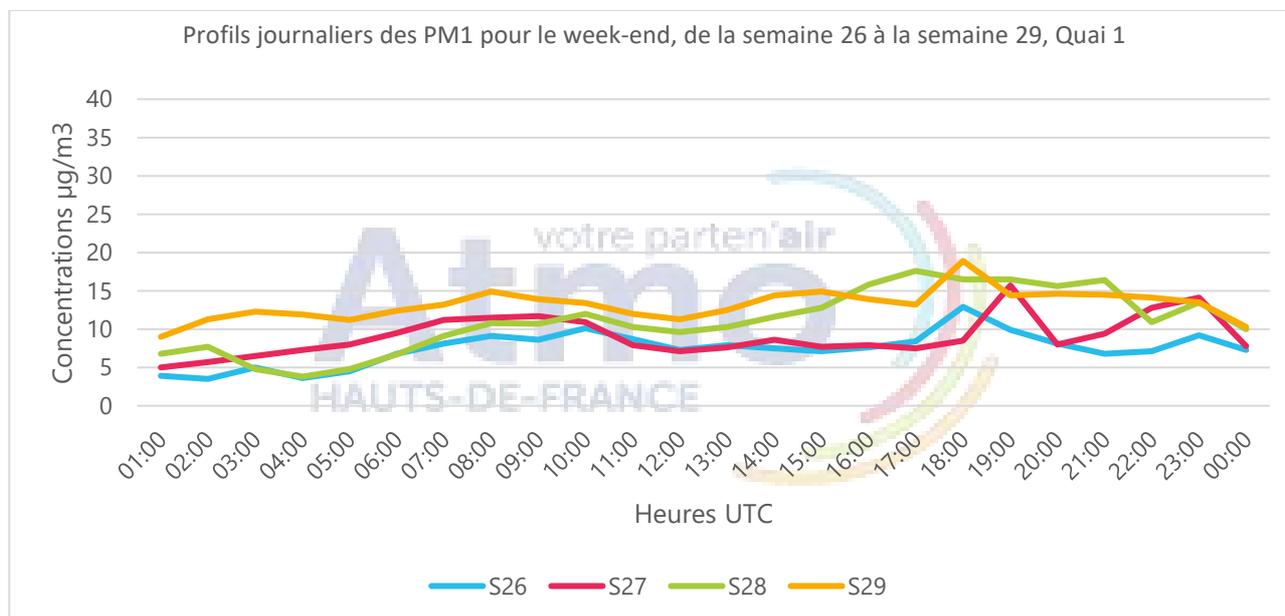
Week-ends Première période (P1)



Deuxième période (P2)

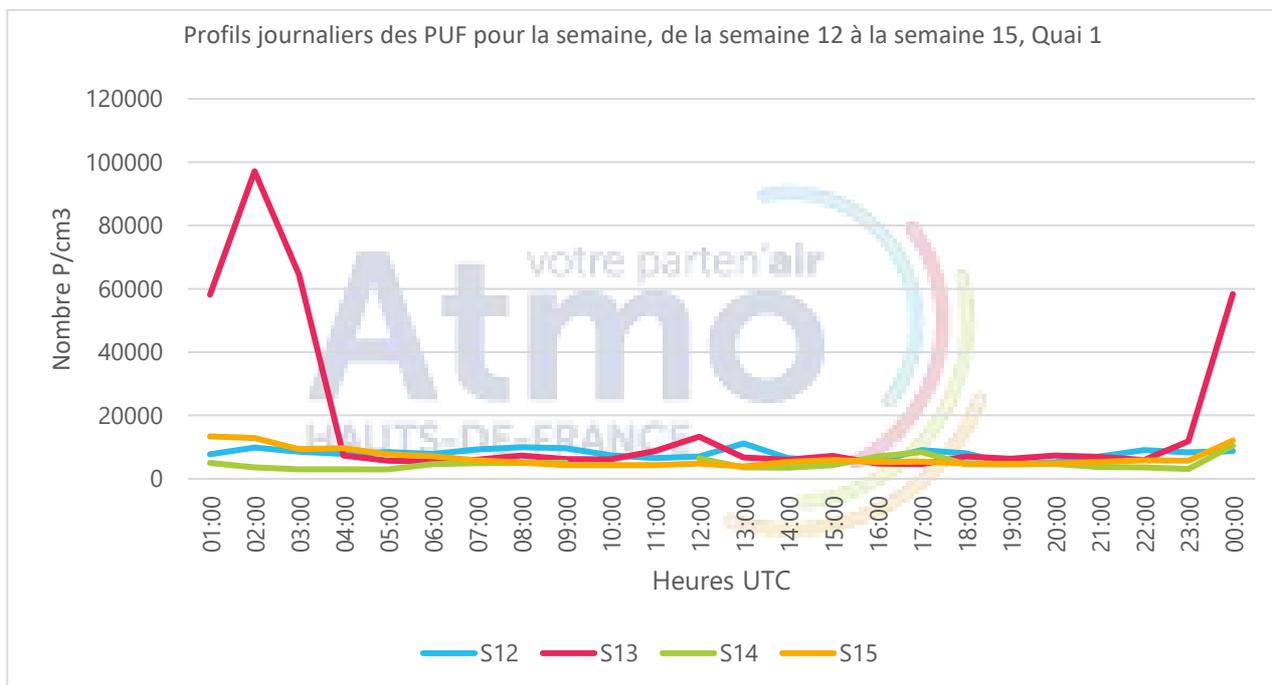


Troisième période (P3)

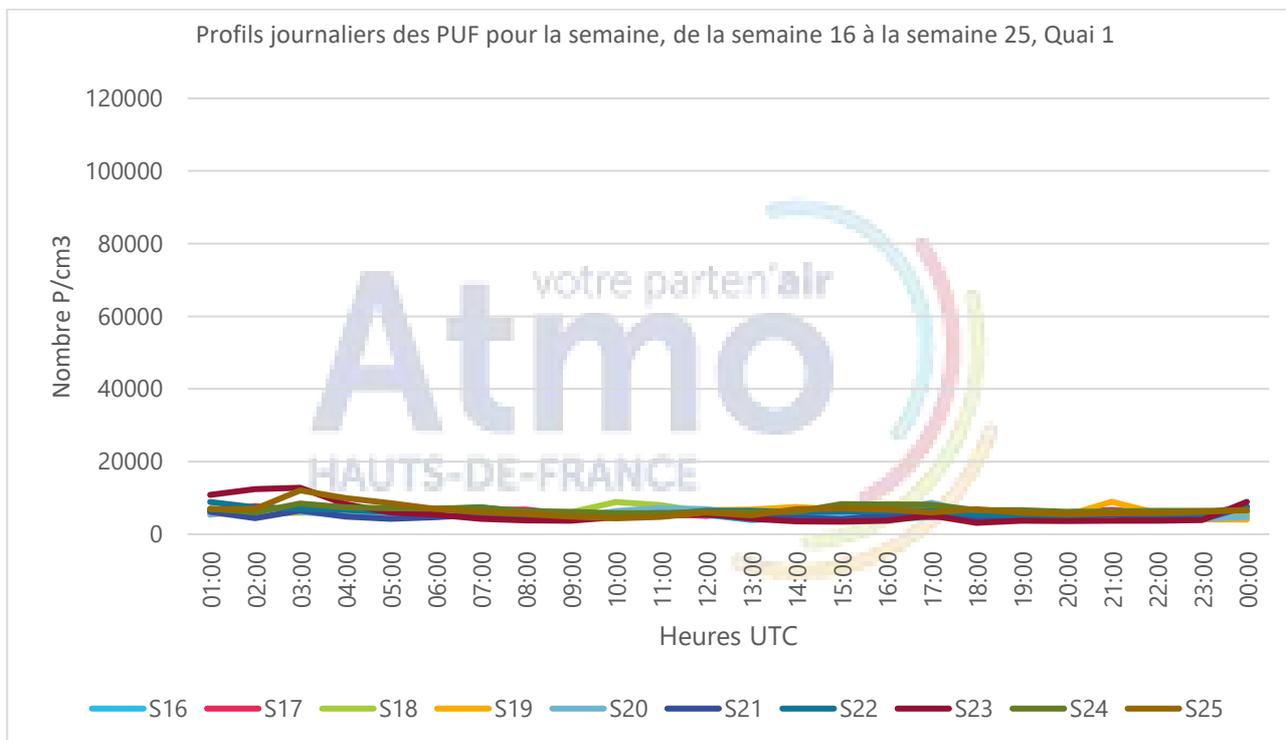


Particules ultrafines PUF

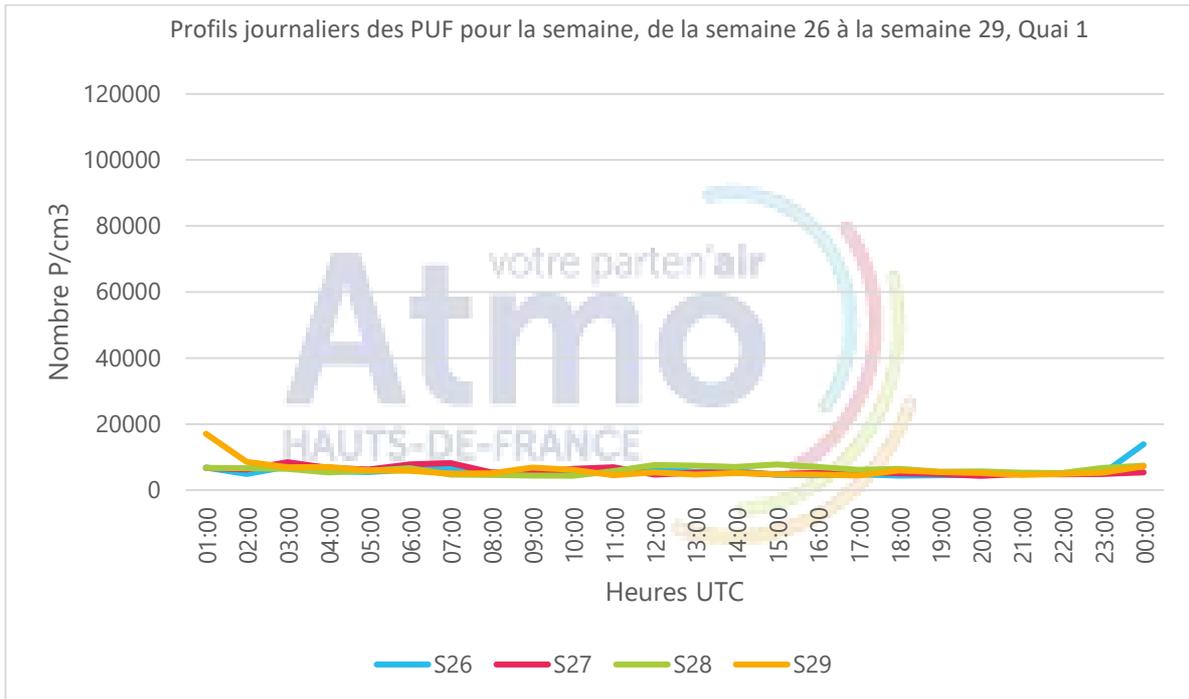
Jours ouvrés Première période (P1)



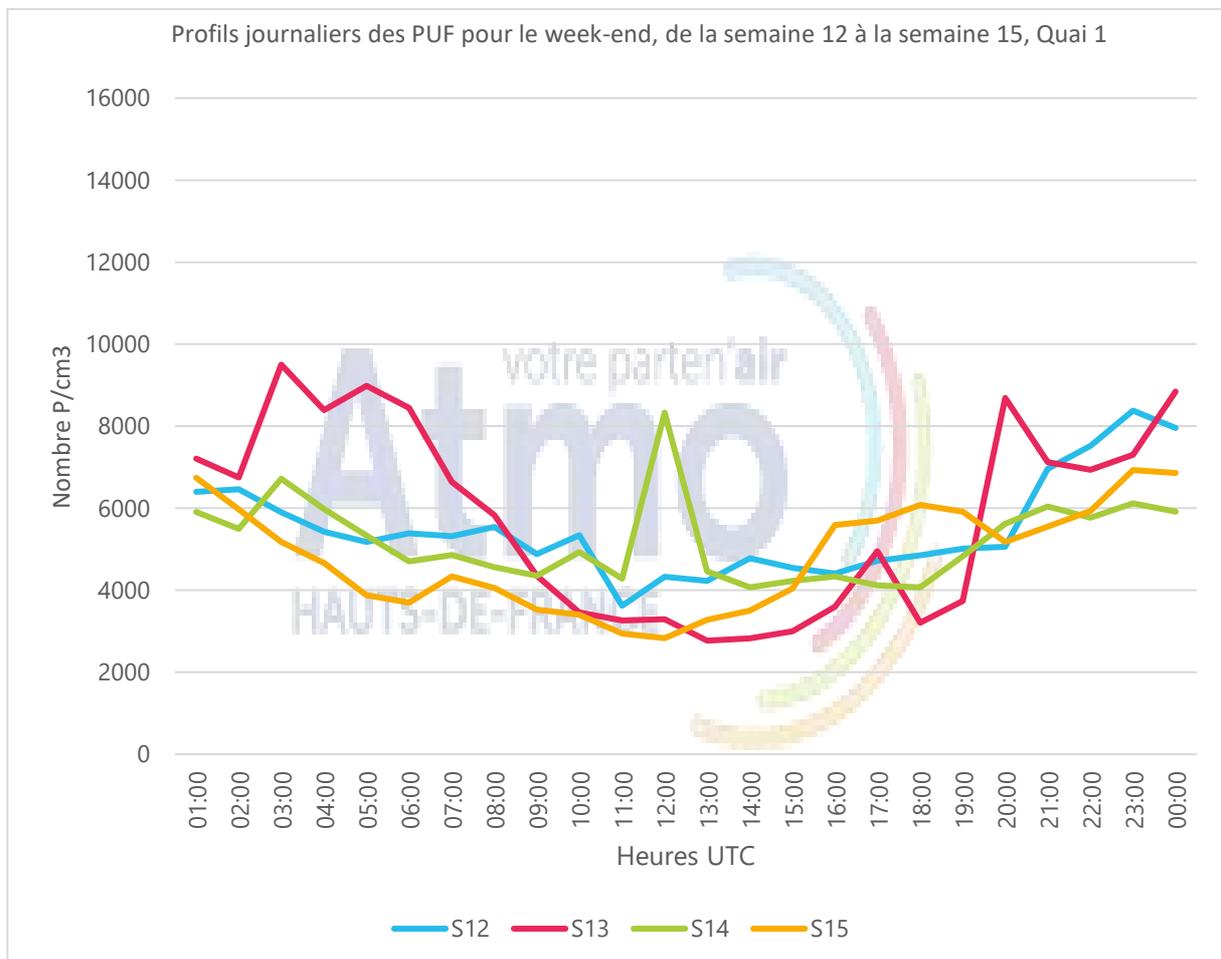
Deuxième période (P2)



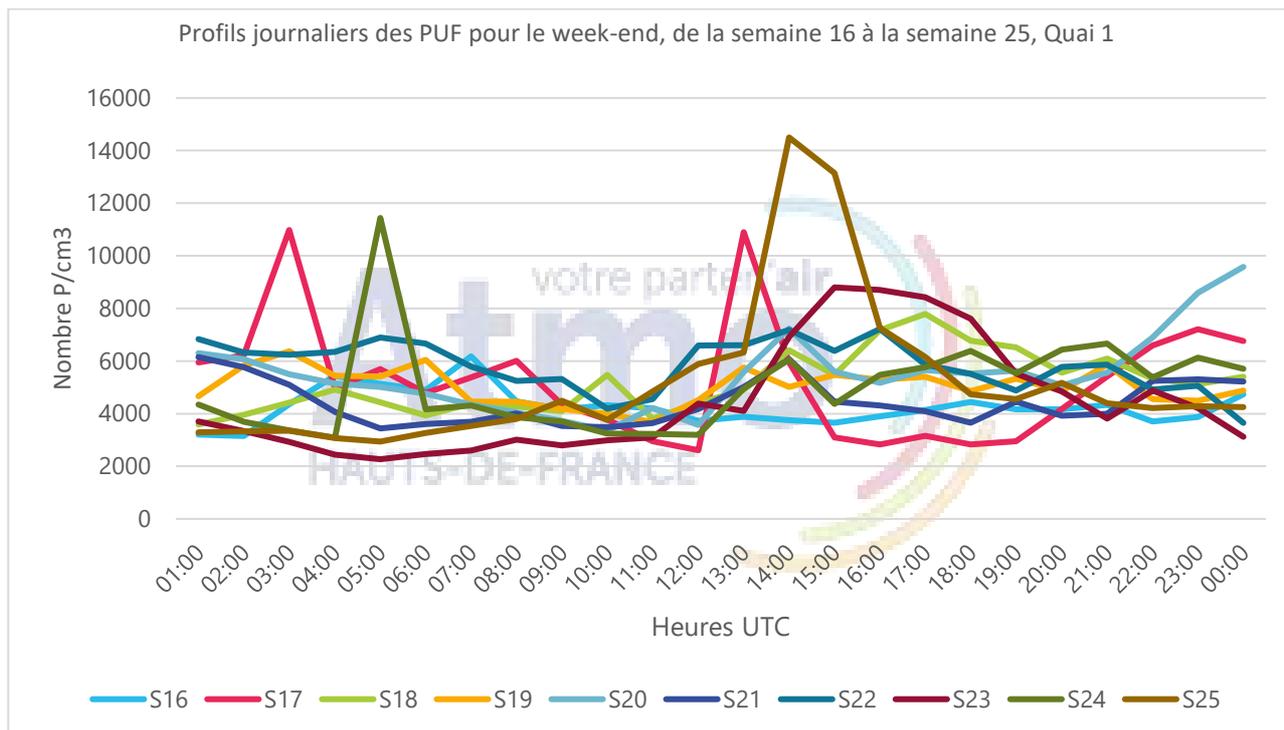
Troisième période (P3)



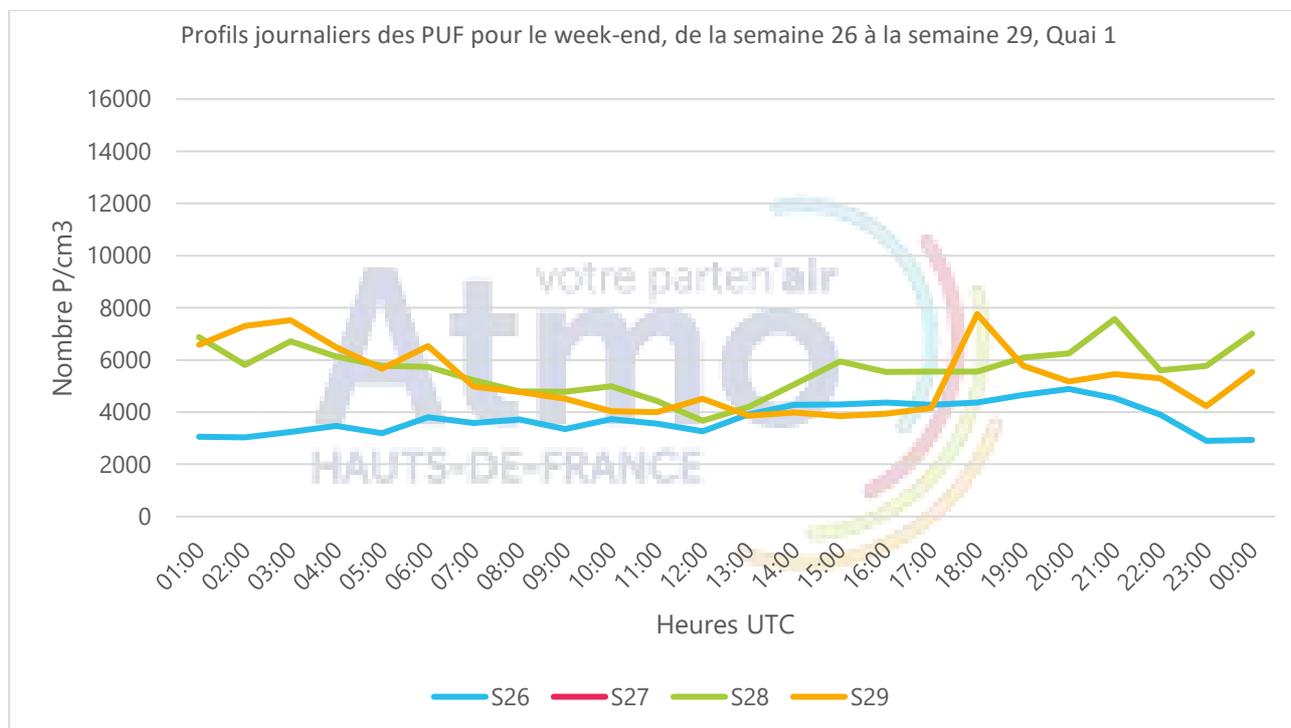
Week-ends Première période (P1)



Deuxième période (P2)

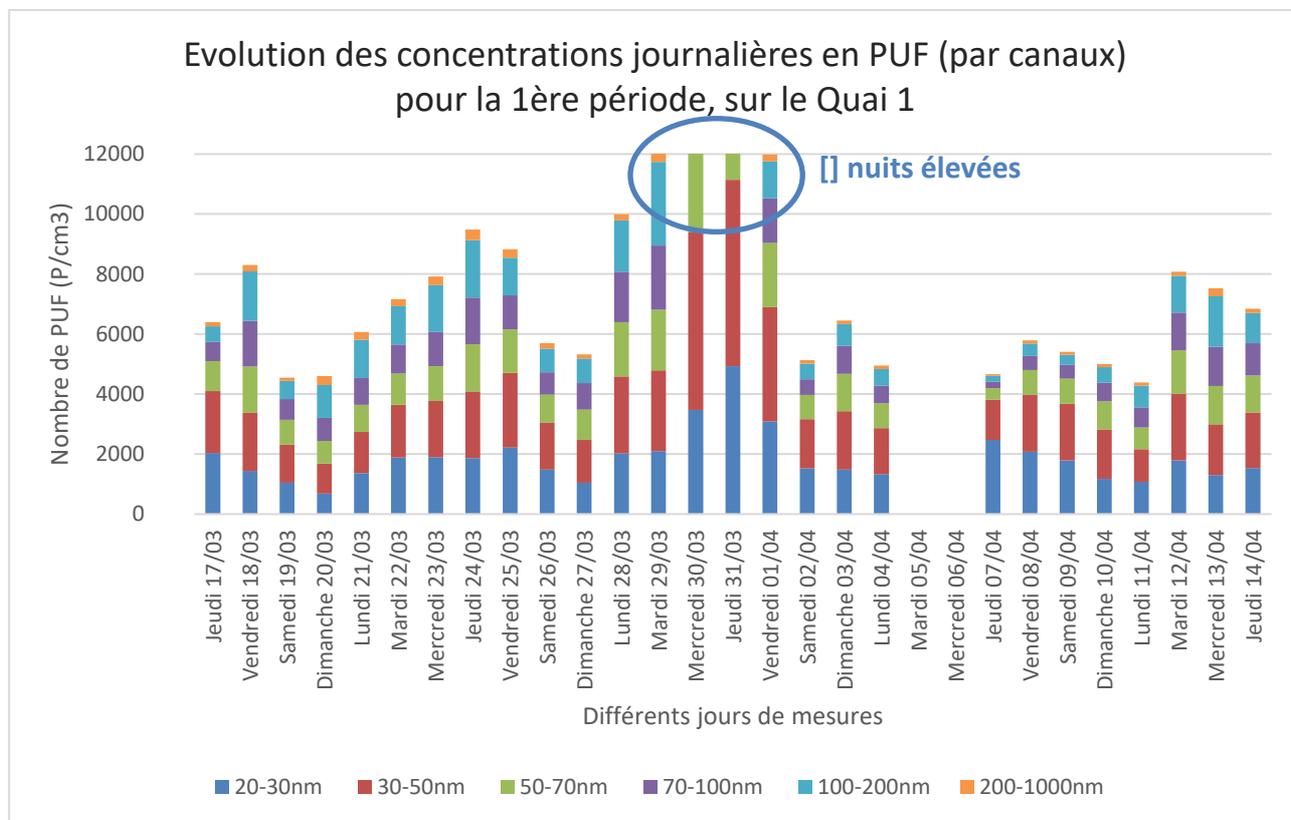


Troisième période (P3)

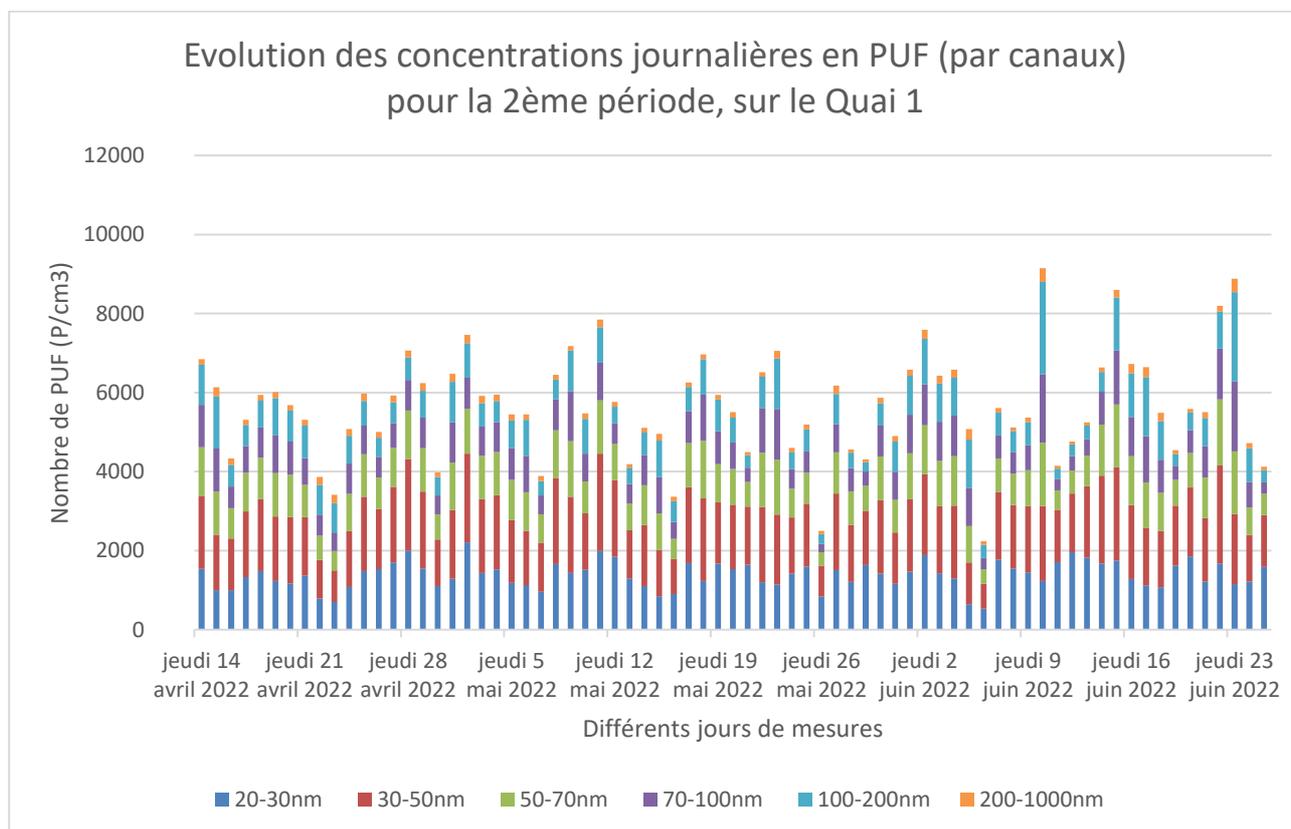


Annexe 8 : Evolution journalière des concentrations des particules ultrafines

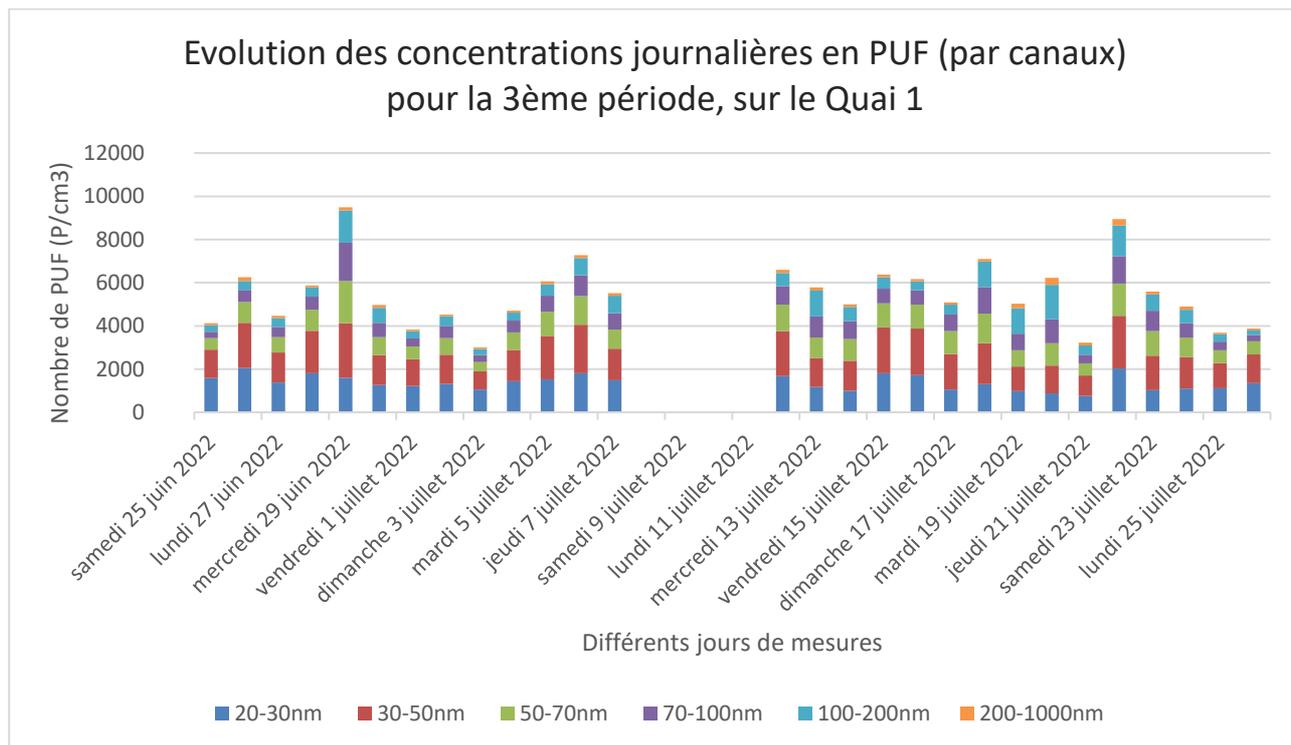
Première phase (P1)



Deuxième phase (P2)



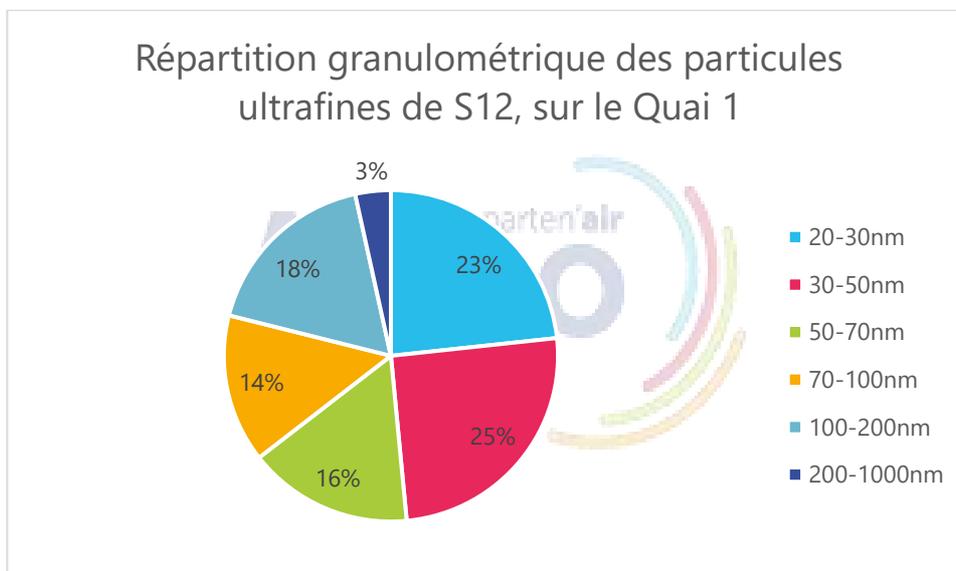
Troisième phase (P3)



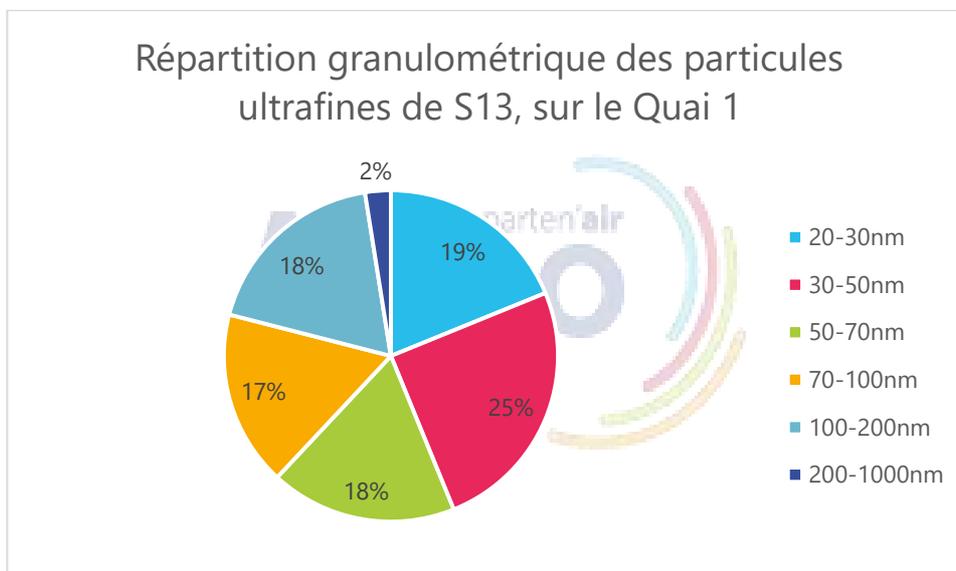
Annexe 9 : Répartition granulométrique

Les particules ultrafines ont été mesurées par fraction de 20 nm à 1000 nm. Leurs répartitions granulométriques sont présentées sur les graphiques suivants, de semaine en semaine (S12 à S29).

S12

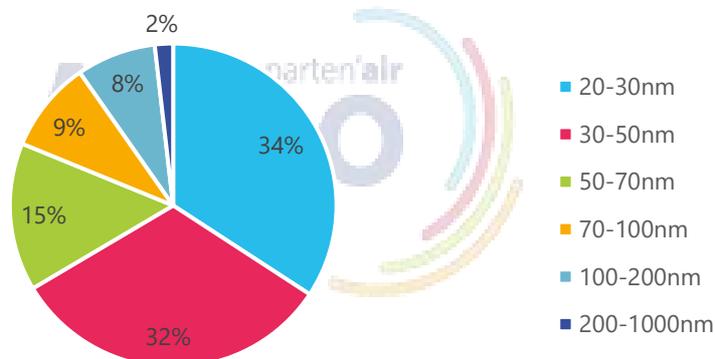


S13



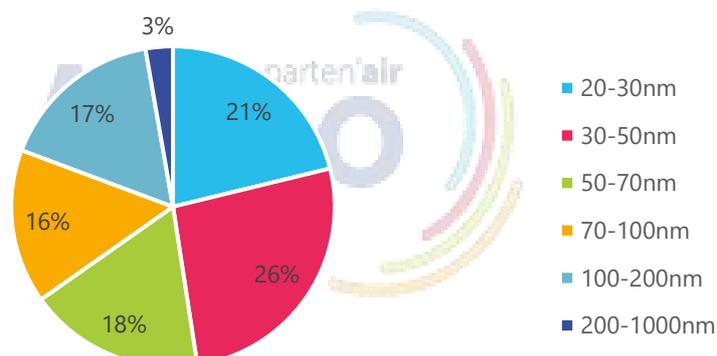
S14

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S14, sur le Quai 1



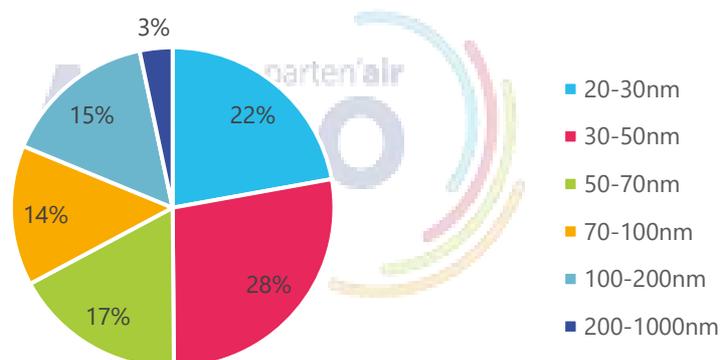
S15

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S15, sur le Quai 1



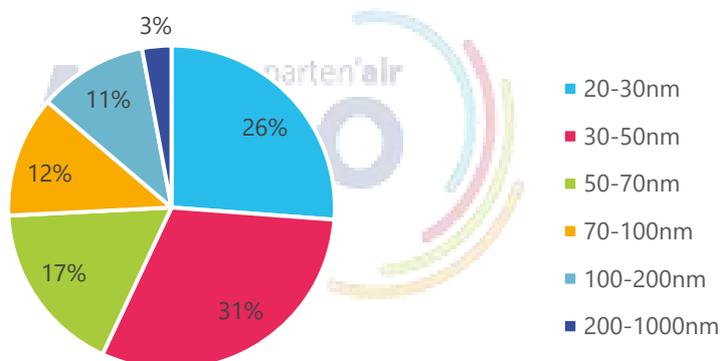
S16

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S16, sur le Quai 1



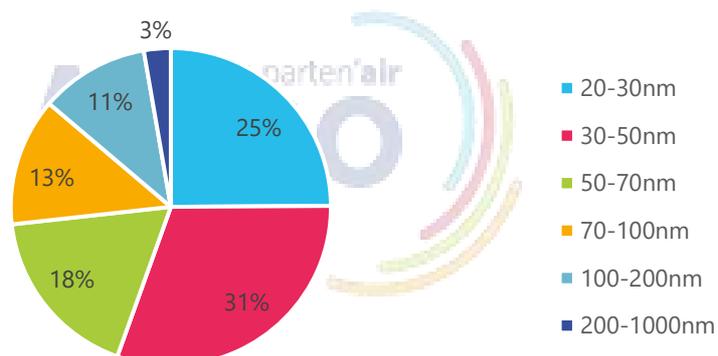
S17

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S17, sur le Quai 1



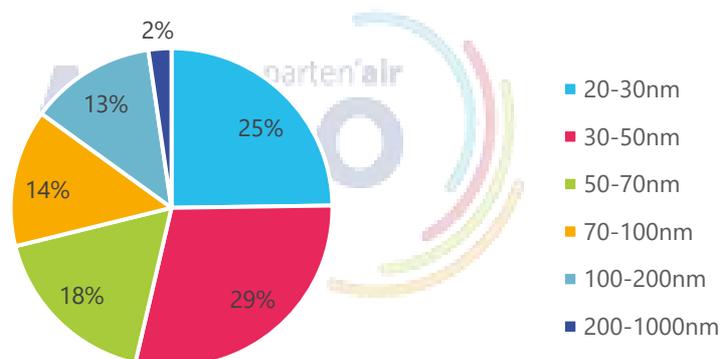
S18

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S18, sur le Quai 1



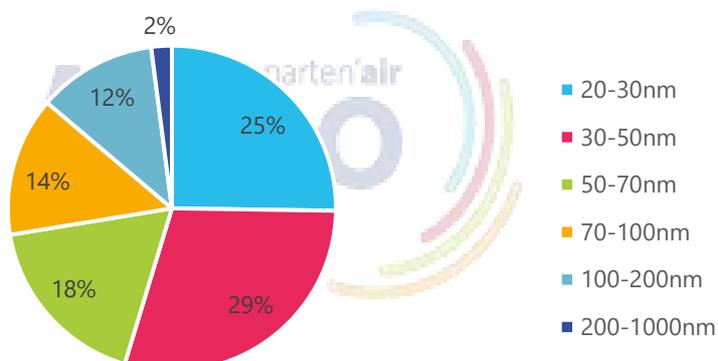
S19

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S19, sur le Quai 1



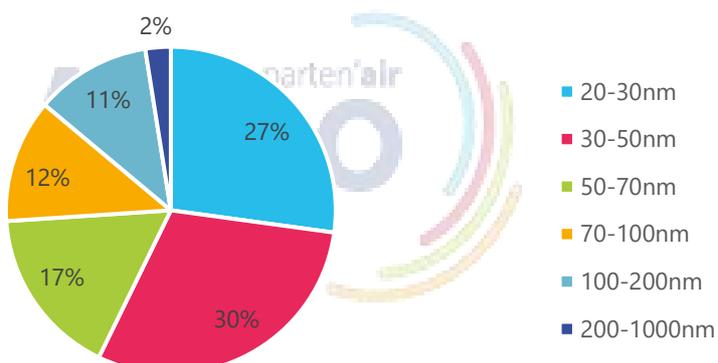
S20

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S20, sur le Quai 1



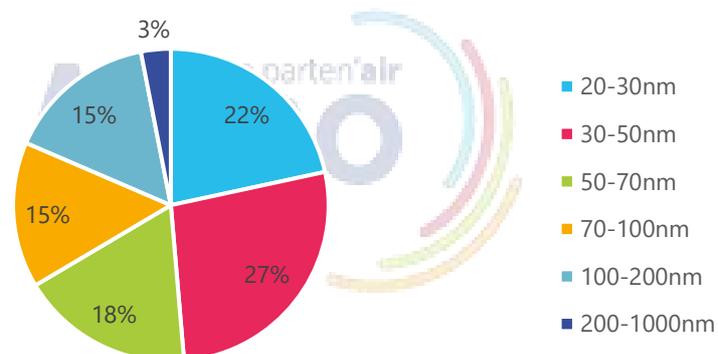
S21

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S21, sur le Quai 1



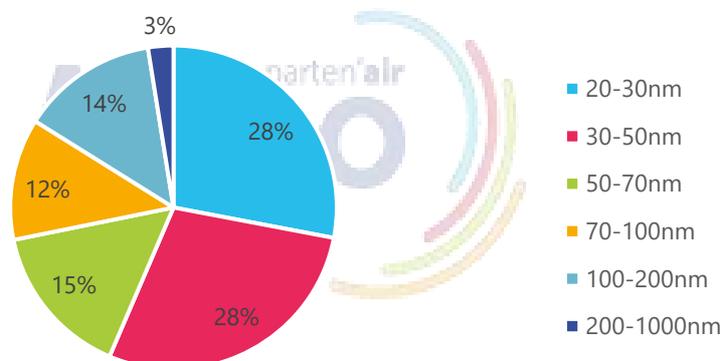
S22

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S22, sur le Quai 1



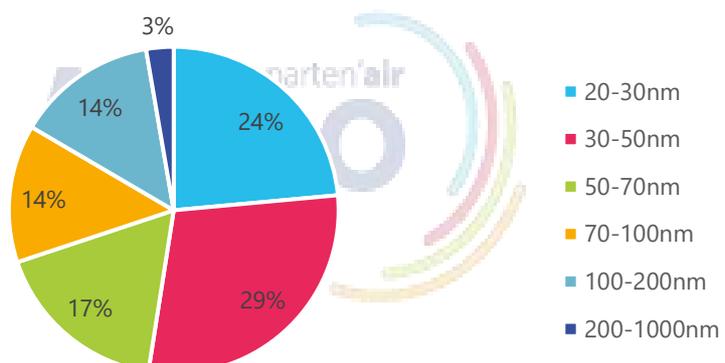
S23

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S23, sur le Quai 1



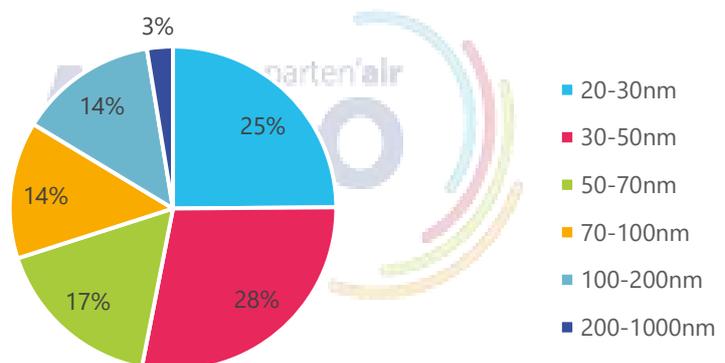
S24

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S24, sur le Quai 1



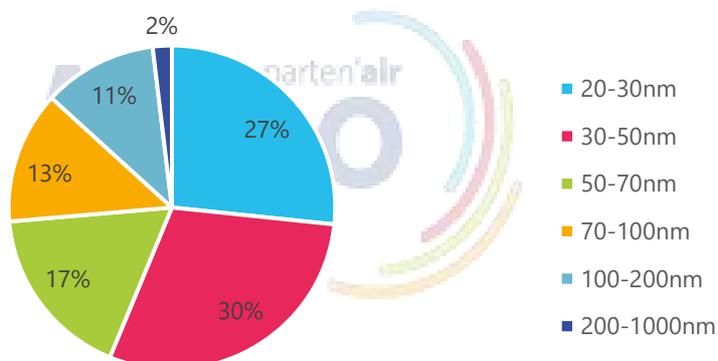
S25

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S25, sur le Quai 1



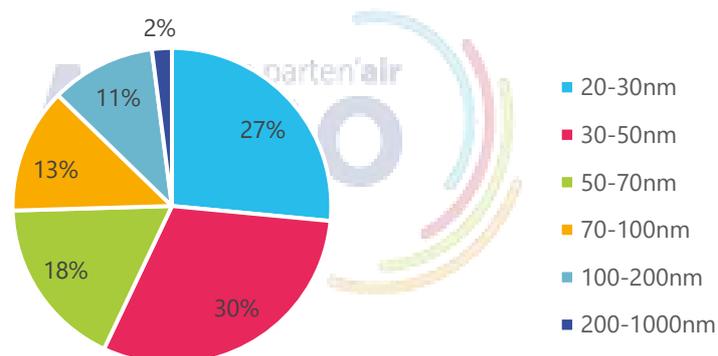
S26

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S26, sur le Quai 1



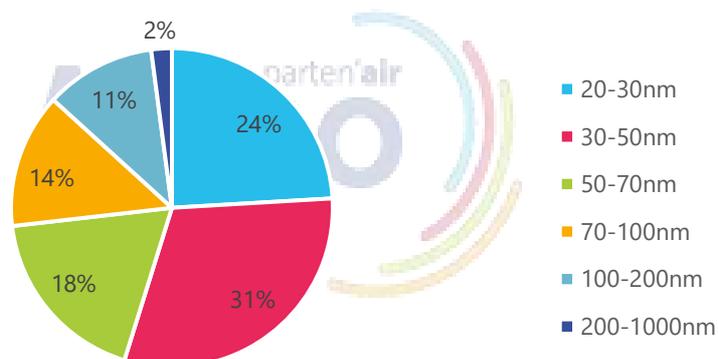
S27

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S27, sur le Quai 1

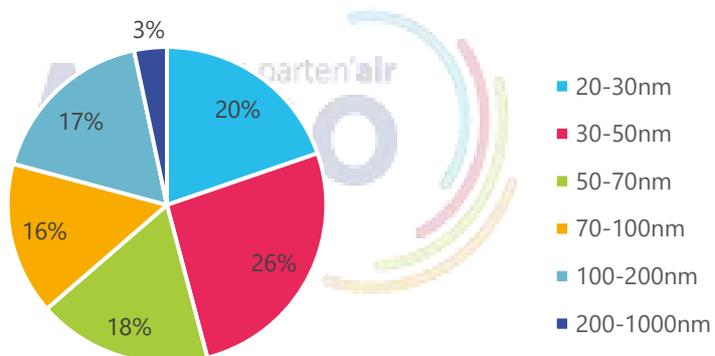


S28

Répartition granulométrique des particules ultrafines de S28, sur le Quai 1

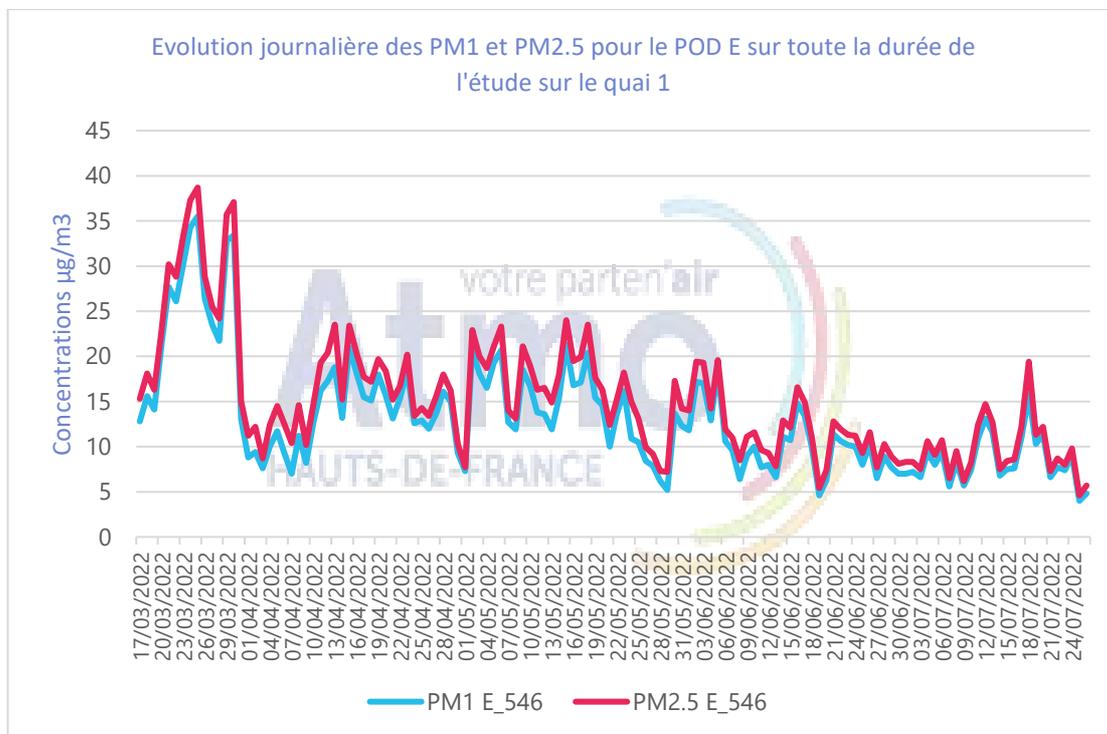


Répartition granulométrique des particules ultrafines de S29, sur le Quai 1

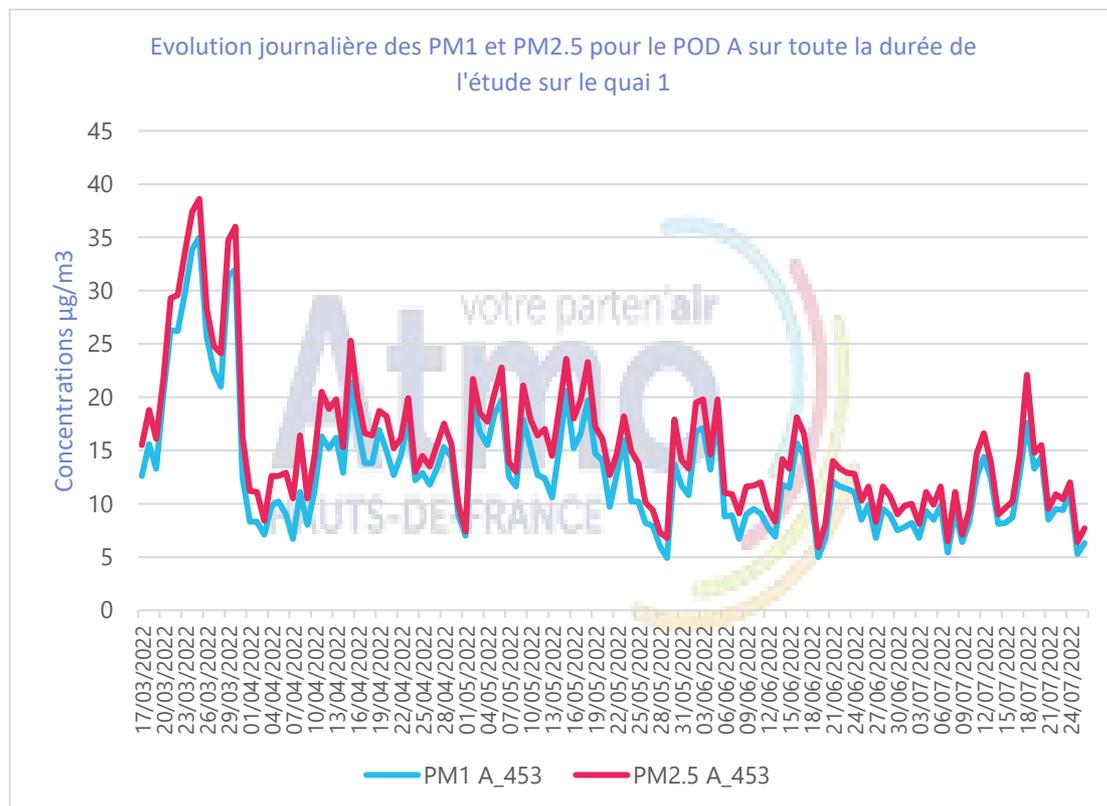


Annexe 10 : Evolution journalière des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD sur toute la campagne

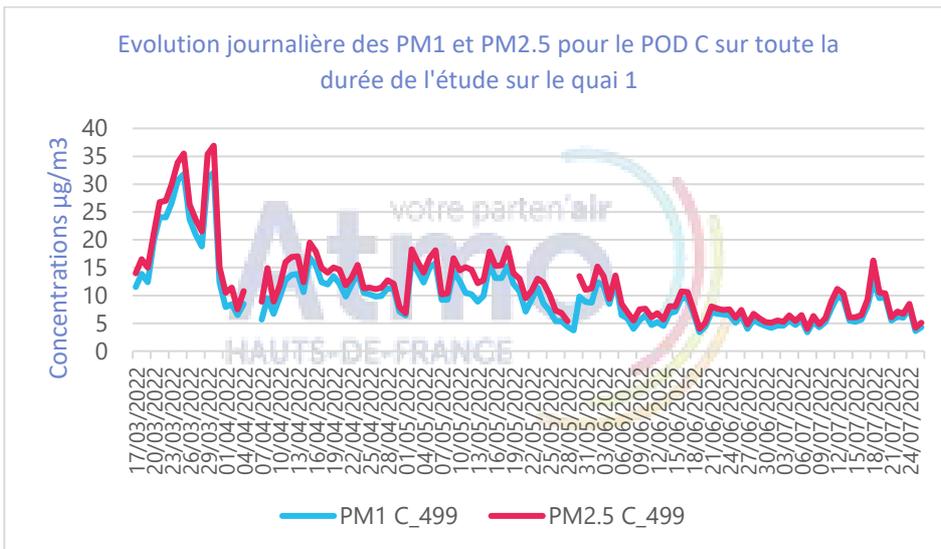
POD E



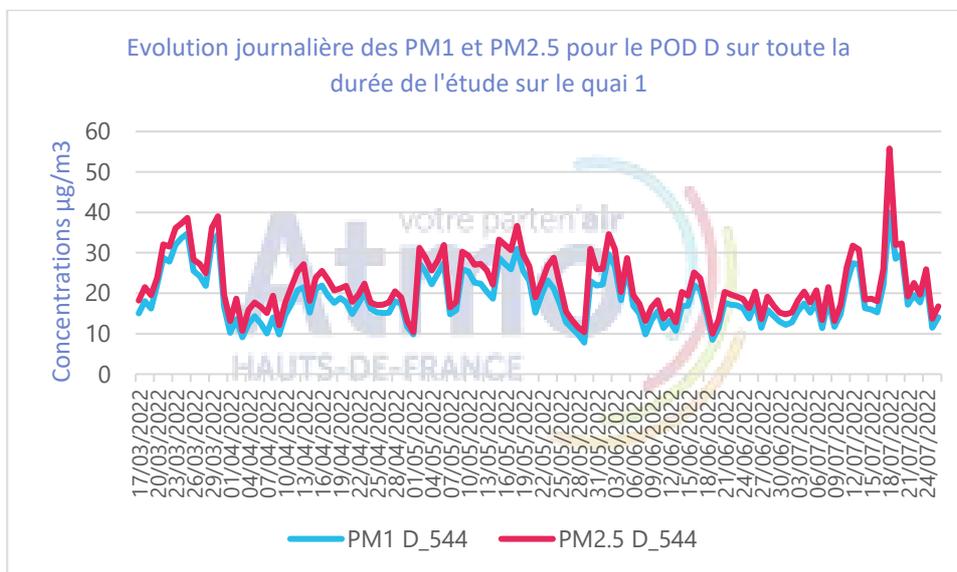
POD A



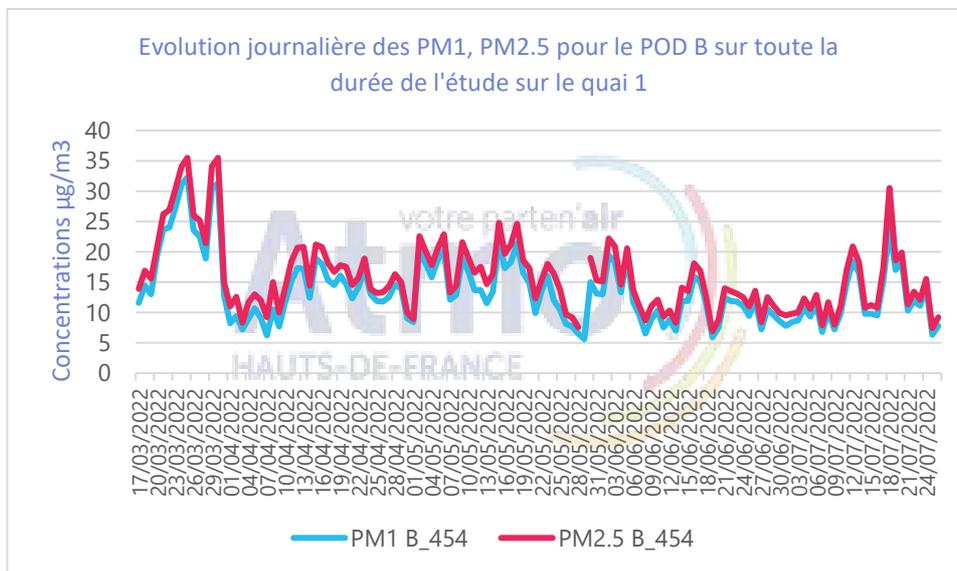
POD C



POD D

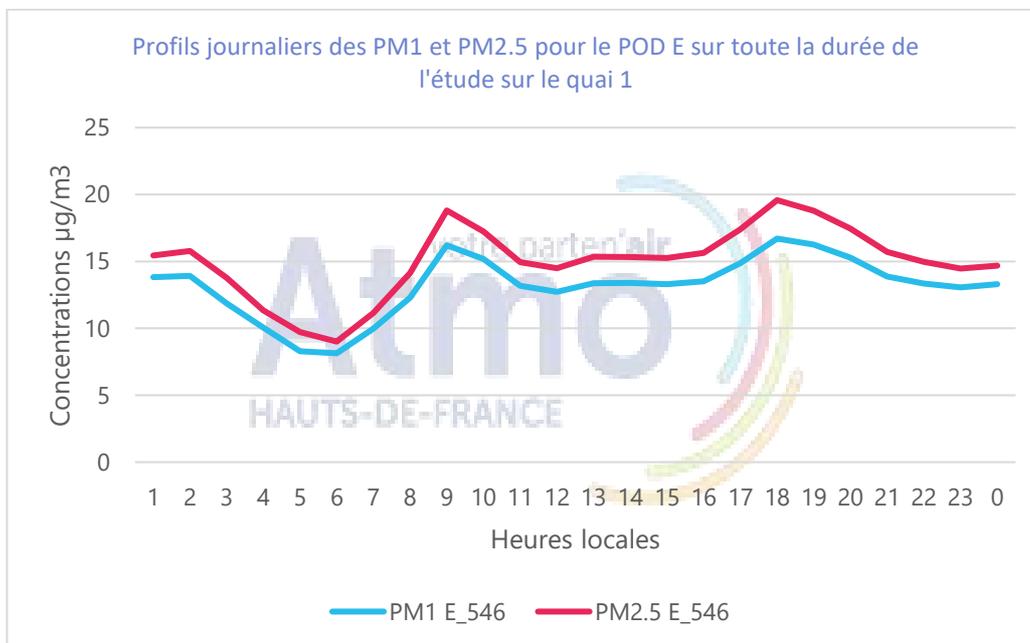


POD B

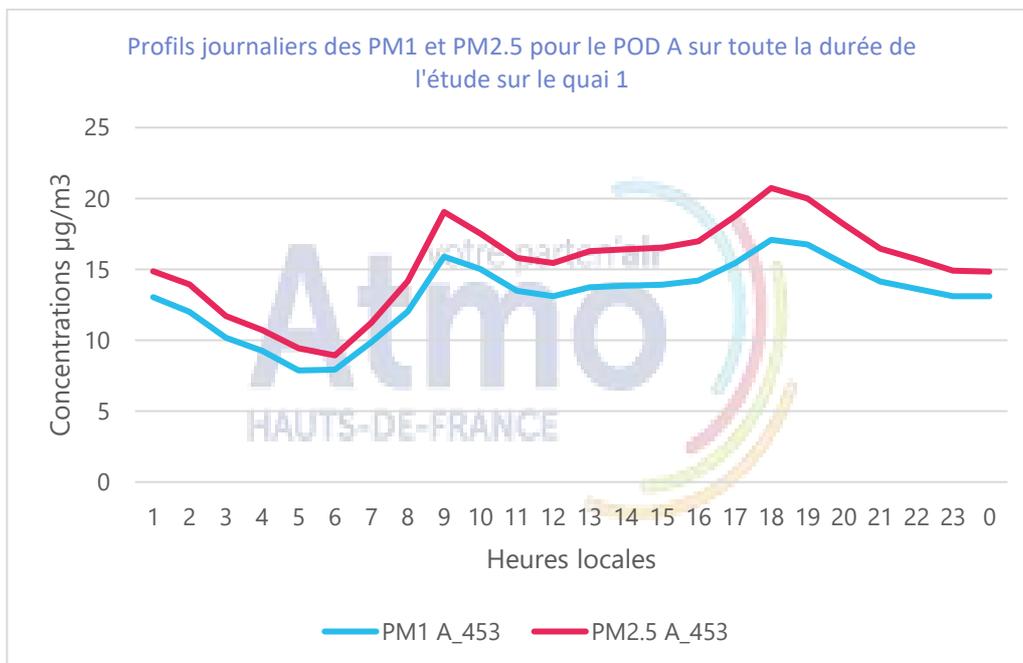


Annexe 11 : Profils journaliers des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD sur toute la campagne

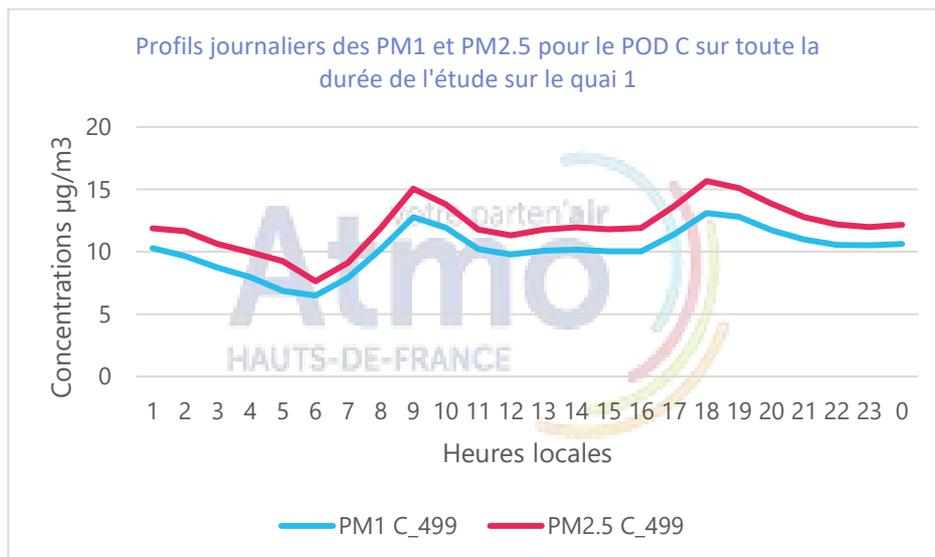
POD E



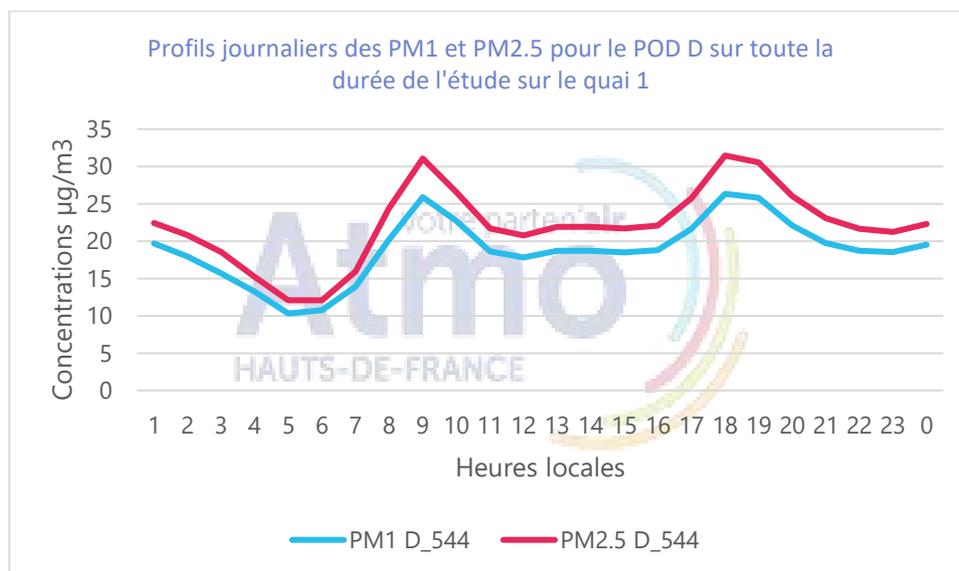
POD A



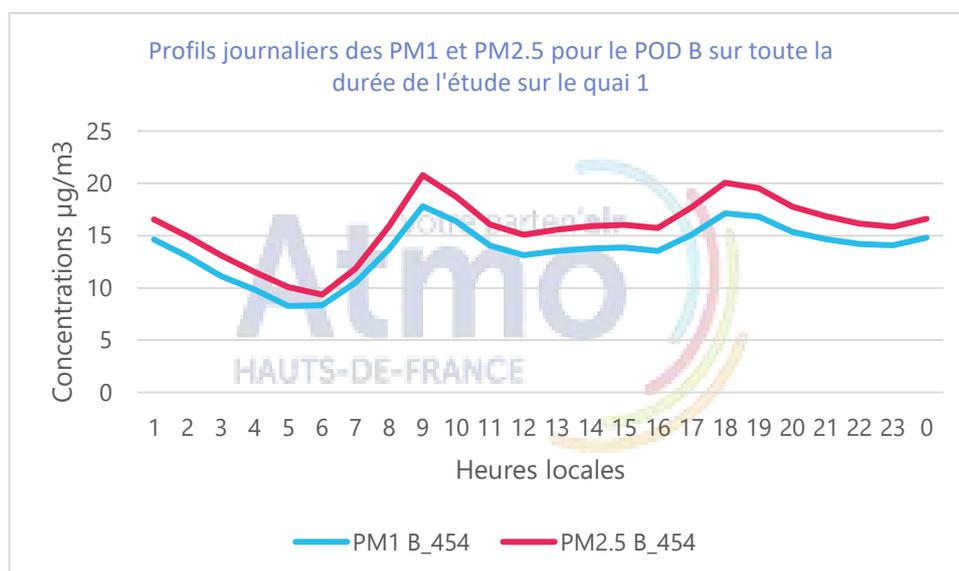
POD C



POD D

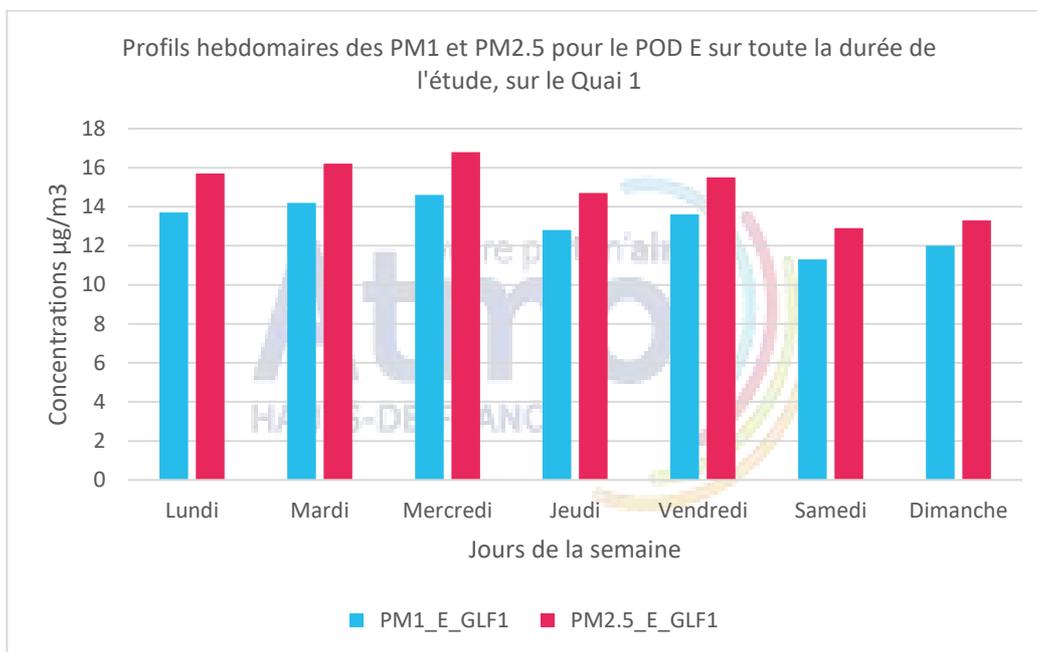


POD B

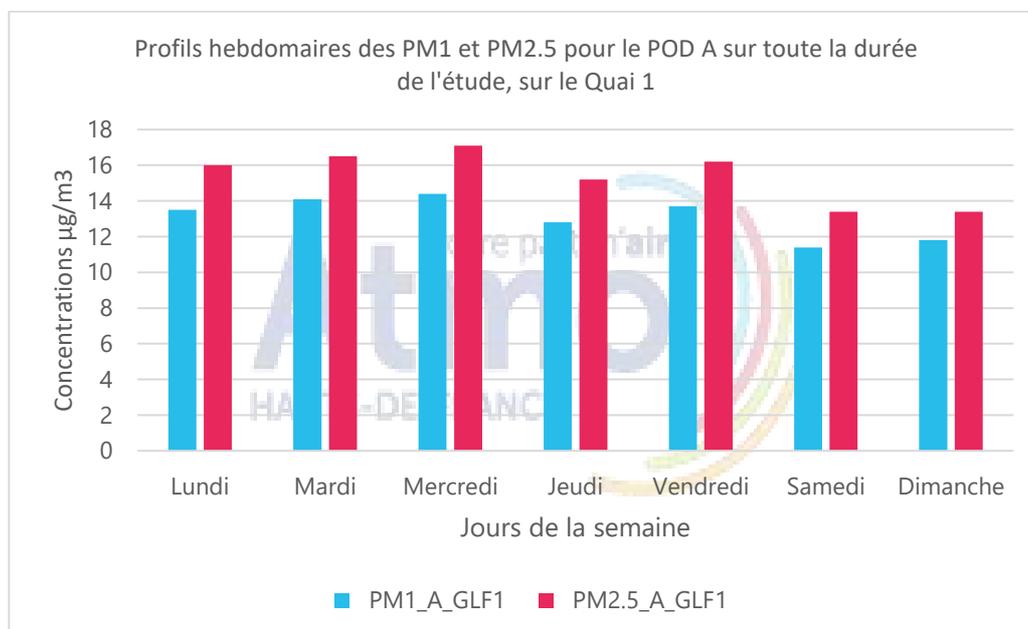


Annexe 12 : Profils hebdomadaires des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD sur toute la campagne

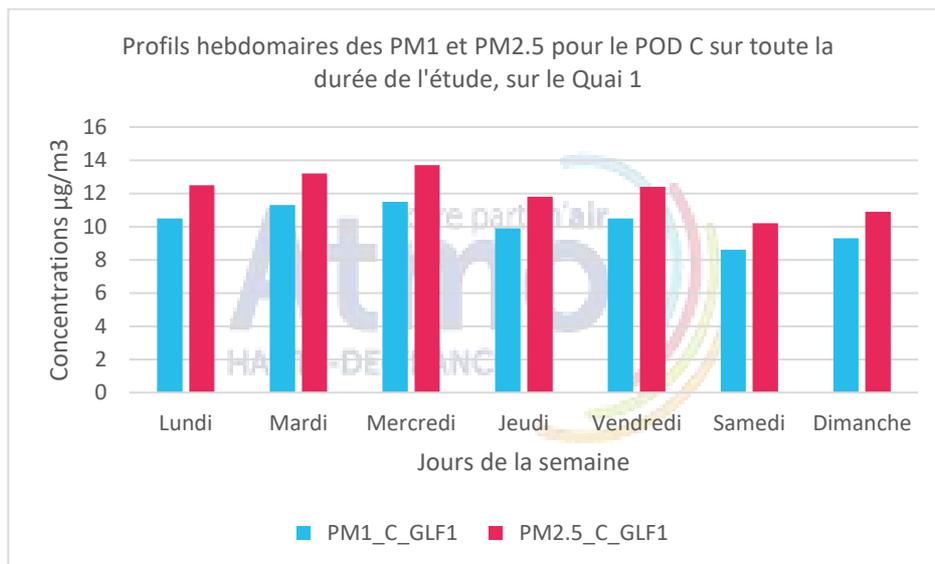
POD E



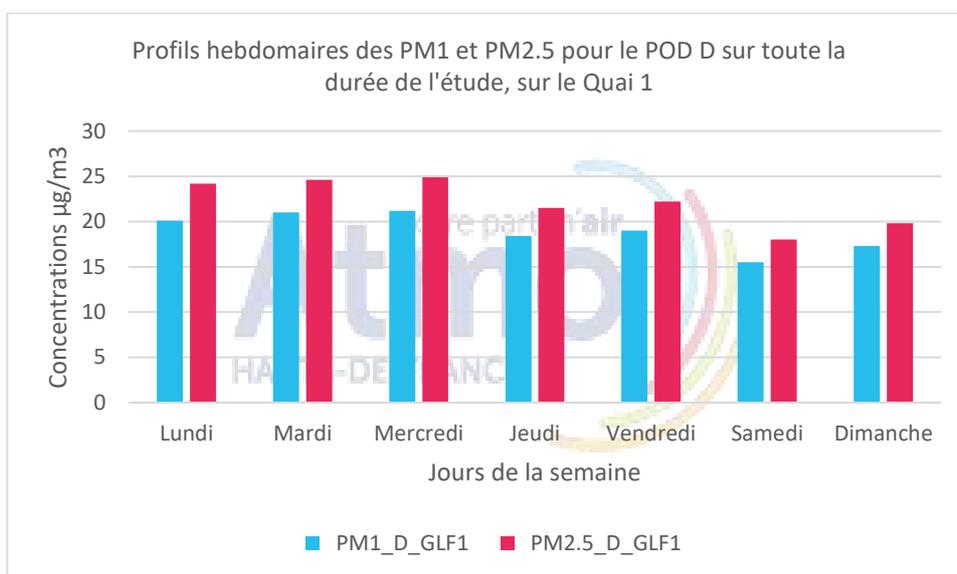
POD A



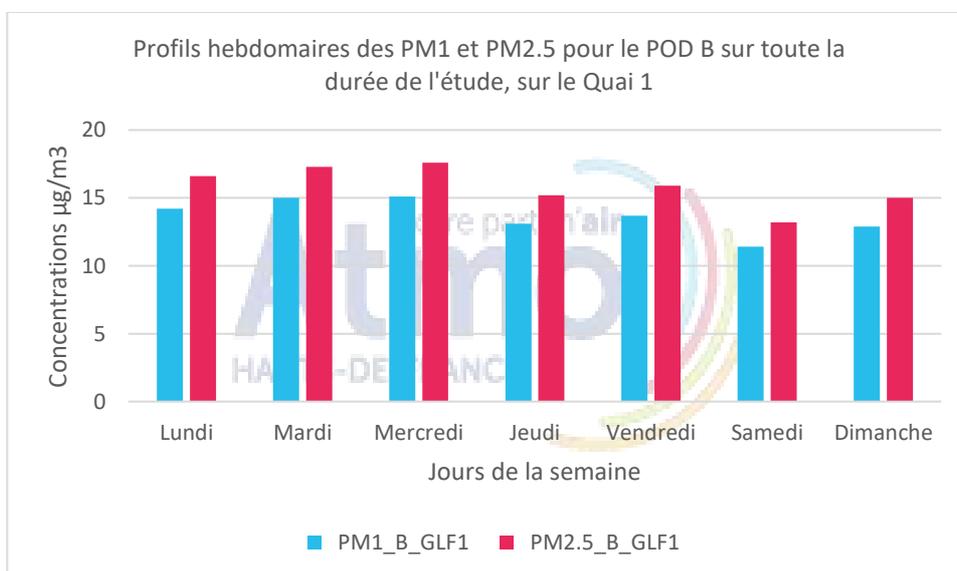
POD C



POD D

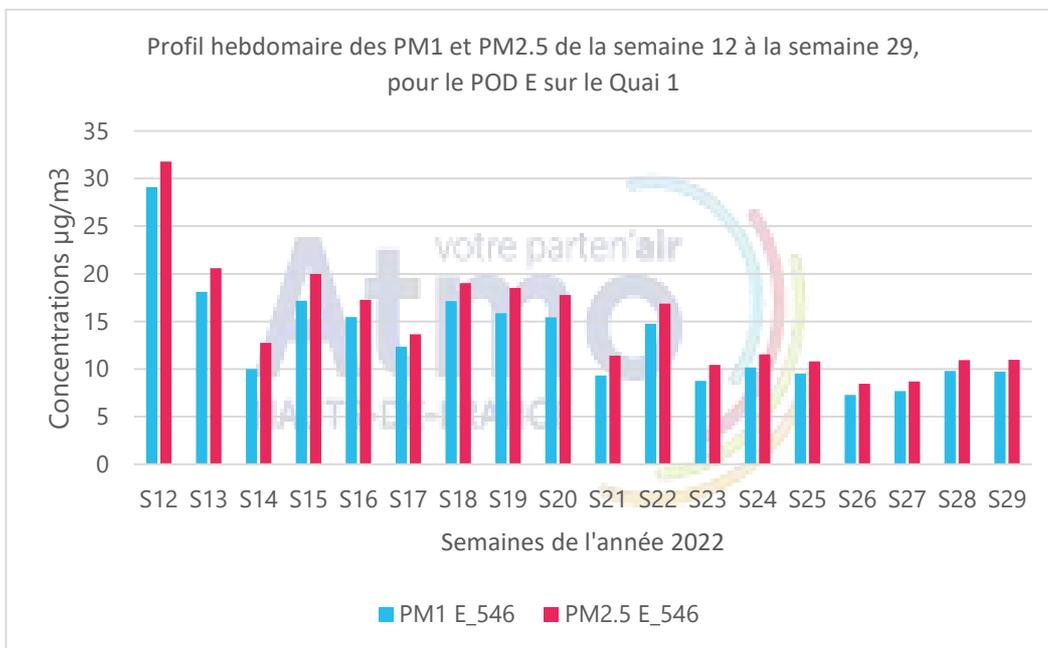


POD B

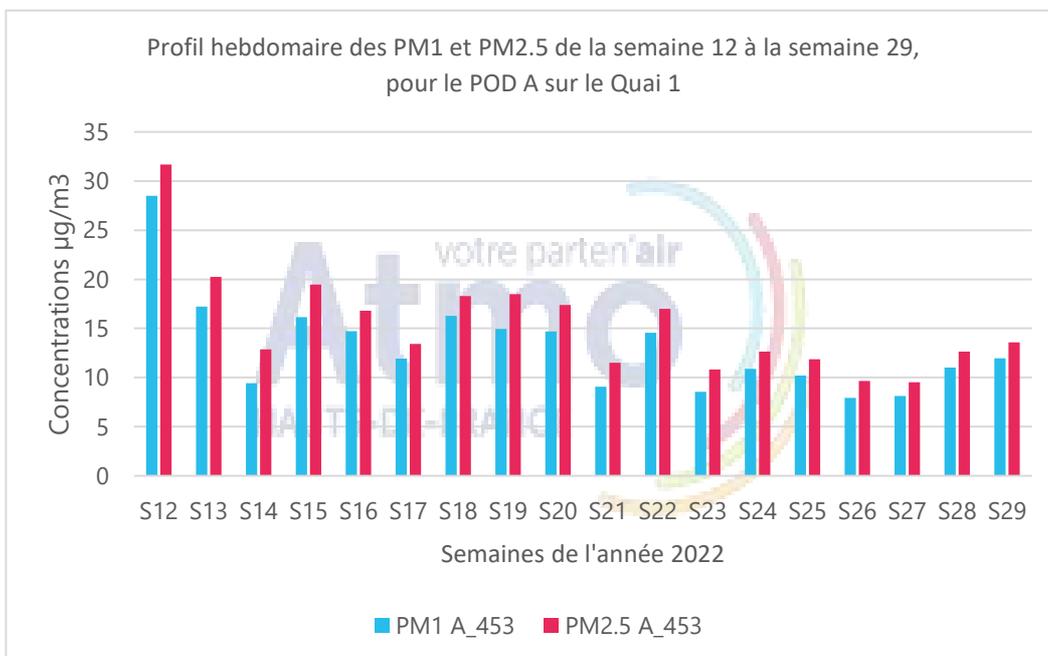


Annexe 13 : Evolutions hebdomadaires (moyennes) des paramètres étudiés (PM2.5 et PM1) pour chacun des POD de la semaine 12 à la semaine 29

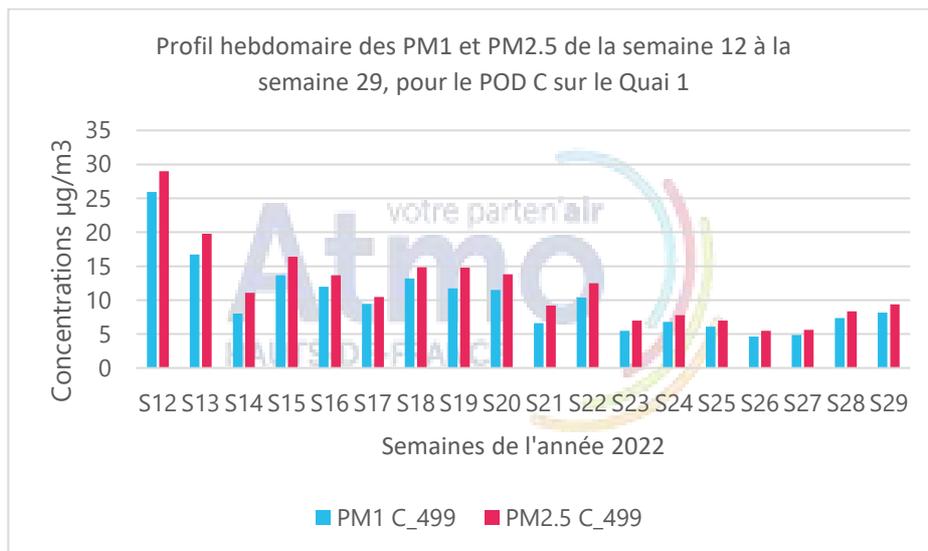
POD E



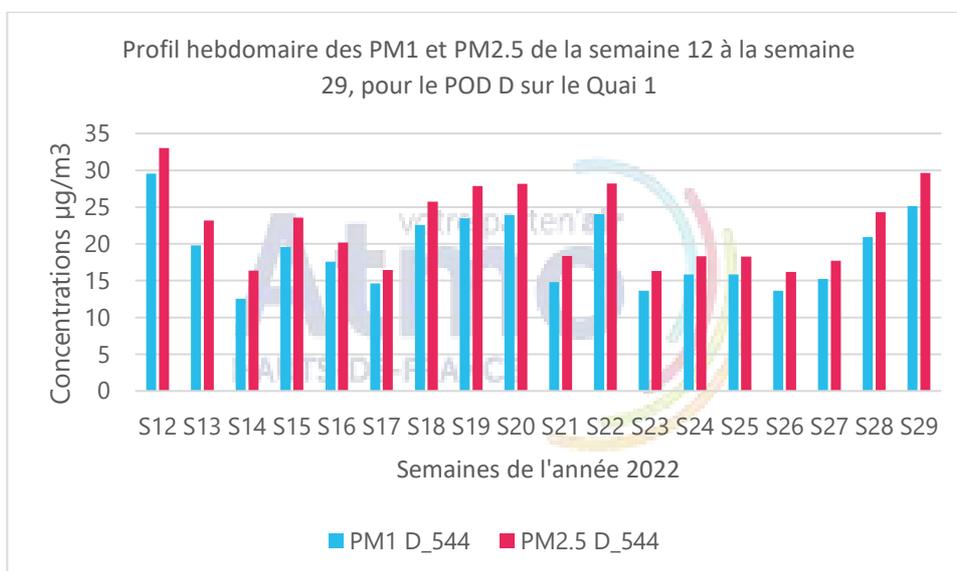
POD A



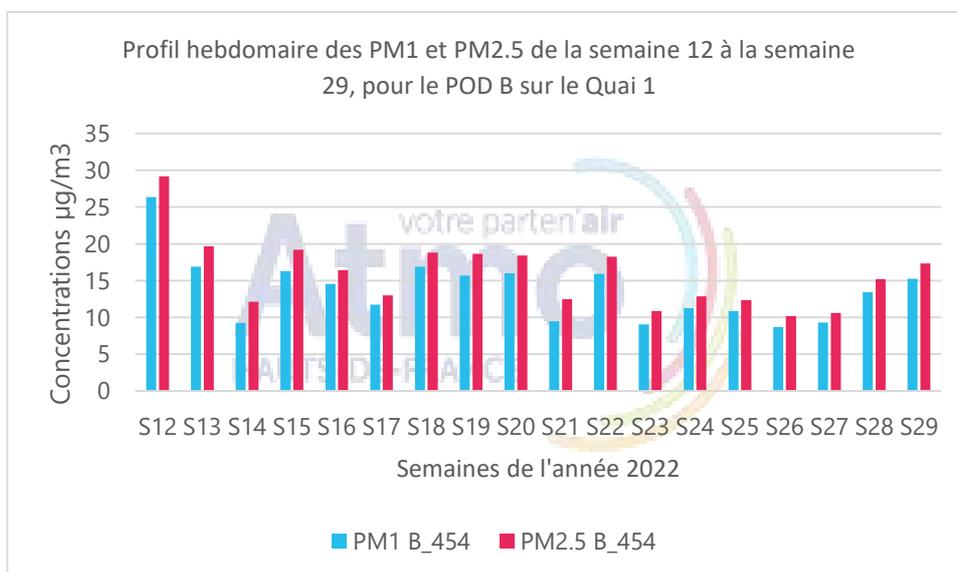
POD C



POD D



POD B



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

Atmo Hauts-de-France

Observatoire de l'Air

199, rue Colbert – Bâtiment Douai

59000 Lille

