Rapport sur les mesures de LOAC effectuées dans le métro de Paris à l'automne 2020

Jean-Baptiste Renard, LPC2E-CNRS

Orléans, le 4 janvier 2021

Conditions de mesures

Les mesures ont été conduites avec le mini-compteur d'aérosols LOAC en version portative, intégré, contrôlé et validé au Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement du CNRS à Orléans. L'instrument était à environ 1 mètre du sol. La campagne de mesure a été supervisée et les données ont été analysées par le concepteur de l'instrument.

LOAC fournit la concentration en nombre de particules pour 19 gammes de tailles entre environ 200 nm et 30 µm. Les mesures sont ensuite converties en concentrations massiques pour comparaison avec les appareils « normatifs ». Les concentrations massiques pour LOAC sont en PM1 (particules inférieures à 1 µm), PM2.5 (particules inférieures à 2,5 µm) et PM10 (particules inférieures à 10µm). LOAC fournit aussi une indication de la typologie des particules basée sur leur pouvoir d'absorption de la lumière (indice de réfraction).

Les barres d'erreur pour les mesures de concentration en nombre sont de l'ordre de ±30 %.

Les mesures sont menées continument durant une journée par station, entre environ 9h et 19h. Les données sont généralement intégrées sur un pas de temps de 10 minutes pour la lisibilité des mesures. Néanmoins, lorsqu'une forte variabilité temporelle est constatée, les données sont intégrées sur 1 minute.

Les concentrations massiques sont comparées aux mesures de référence du réseau de suivi de la qualité de l'air Airparif. Nous avons choisi les données de mesure disponibles qui sont les plus proches de la station de métro concernée, ou s'approchant des conditions de circulation routière autour des sorties de cette station. Cette démarche permet d'évaluer la contribution de la pollution liée au métro qui se superpose à la pollution particulaire extérieure dans laquelle l'air du métro est directement prélevé.

Enfin, lorsqu'elles sont disponibles, les mesures de contrôle de la qualité de l'air de la RATP sont indiquées.

Rappelons que les normes en PM 10 en air ambiant sont de 50 $\mu g/m^3$ en moyenne journalière à ne pas dépasser plus de 35 jours par an, avec un maximum de 40 $\mu g/m^3$ en moyenne annuelle. Pour les PM2.5, il ne faut pas dépasser 25 $\mu g/m^3$ en moyenne annuelle. Il n'y a hélas pas de norme pour les PM1, qui sont pourtant les plus dangereuses car elles peuvent rentrer profondément dans les différents organes du corps humain.

L'étude porte sur 10 stations, représentatives de conditions différentes en termes de fréquentation, de ventilation, de profondeur, et de quais centraux ou latéraux.

Métro :
- Abbesse (ligne 12)
- Alexandre Dumas (ligne 2)
- Chatelet (ligne 4)
- Franklin D. Roosevelt (ligne 1)
- Place d'Italie (ligne 5)
- Place d'Italie (ligne 7)
- Trocadéro (ligne 9)

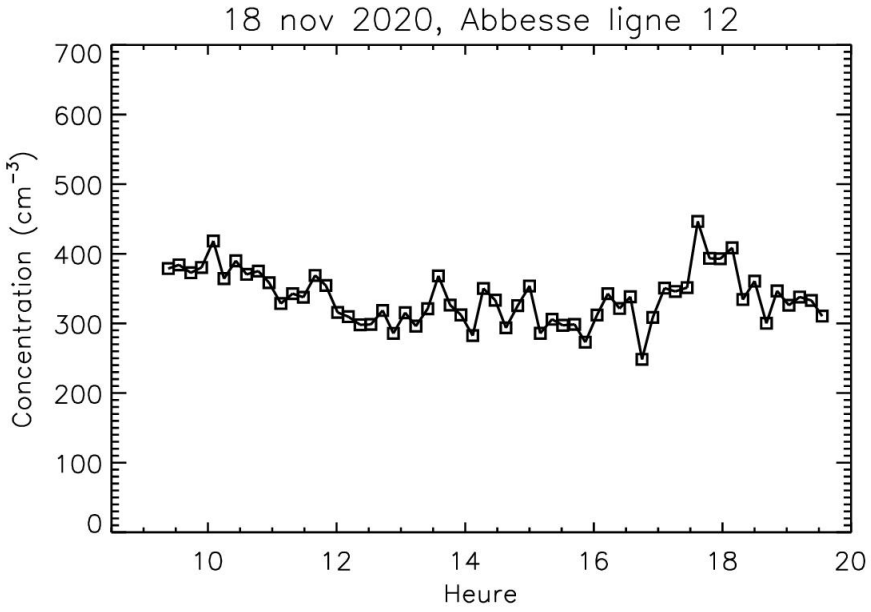
RER :
- Auber (ligne A)
- Chatelet les Halles (ligne A)
- Gare de Lyon (ligne A)

Station Abbesse, ligne 12

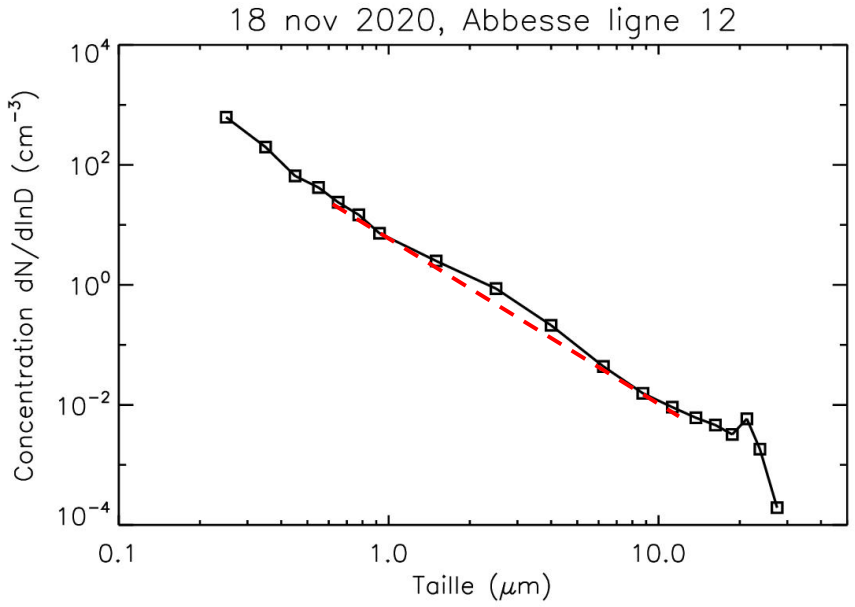
Cette station est la plus profonde du métro.

Les mesures ont été effectuées le 18 novembre 2020.

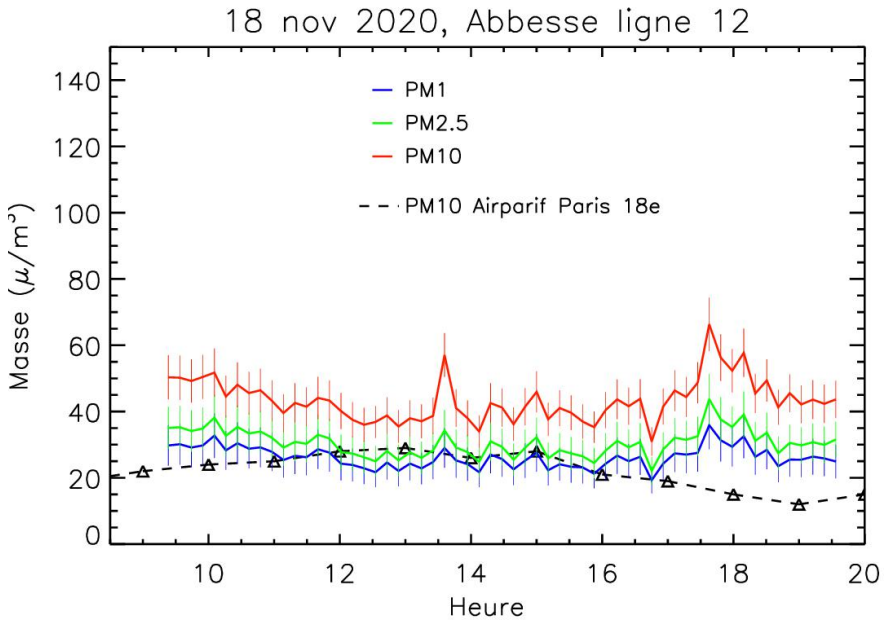
Les mesures sont assez stables, avec des concentrations moyenne en nombre de particules supérieures à 200 nm entre 250 et 450 par cm^3. Ces valeurs sont presque deux fois plus élevées que les mesures de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën).



L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille montre un léger épaulement entre 2 et 5 µm qui peut indiquer la présence d'une famille de particules différente de celle des plus petites tailles. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont assez stables, de l'ordre de 50 µg/m^3, avec des valeurs un peu plus élevées en matin et en début de soirée. Ces valeurs sont 2 à 3 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur, ce qui permet d'estimer à environ 30 µg/m^3 en moyenne la contribution liée à l'activité du métro. Les valeurs en PM2.5 et PM1 sont relativement élevées, entre 20 et 30 µg/m^3, à noter que quasiment toute la masse des PM2.5 provient des PM1.

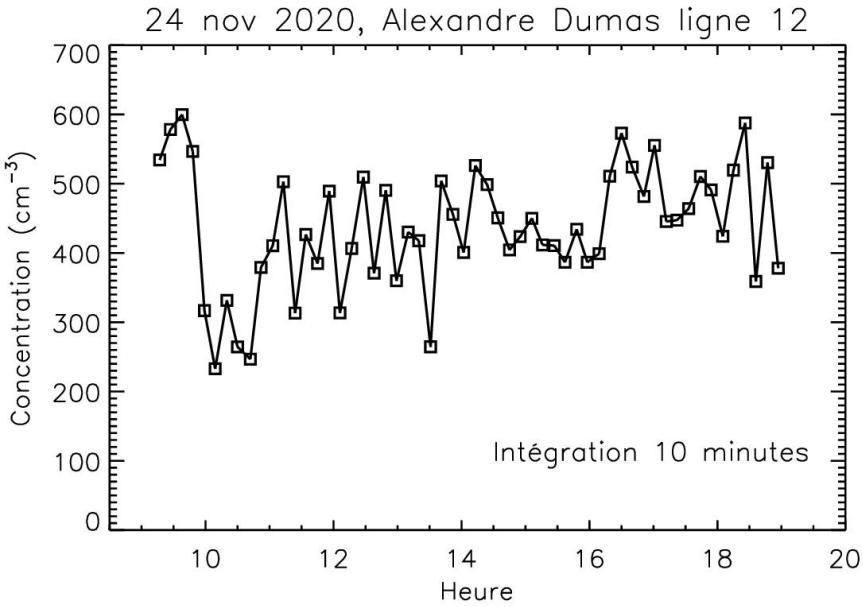


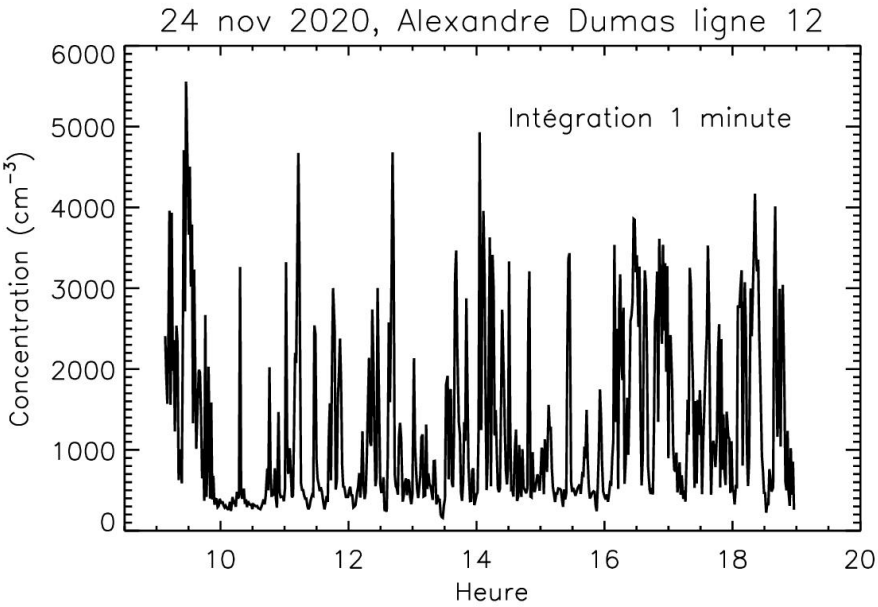
Station Alexandre Dumas, ligne 2

Cette station est équipée de dispositifs de tests de purification de l'air.

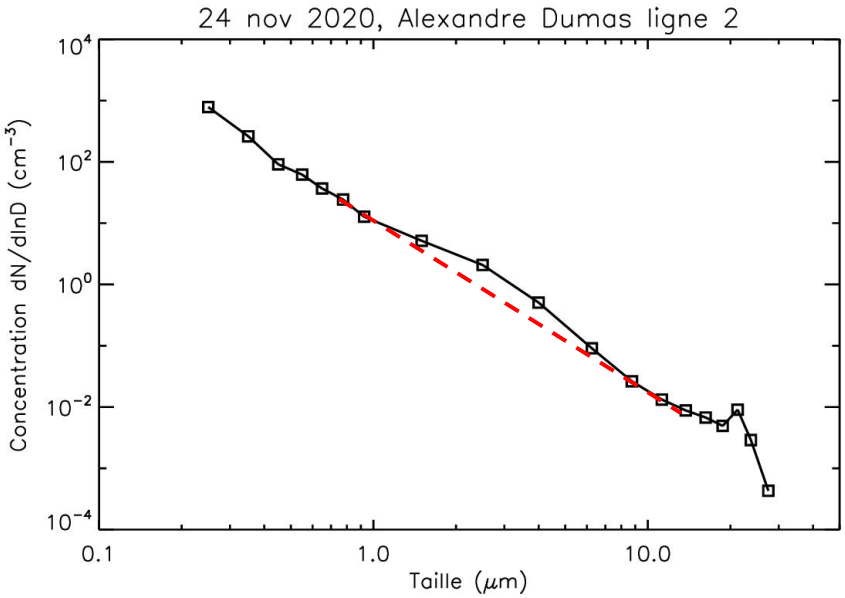
Les mesures ont été effectuées le 24 novembre 2020.

Les mesures présentent une forte variabilité. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont en moyenne entre 200 et 600 par cm^3 (intégration 10 minutes). Ces valeurs sont 1,5 fois plus élevées que les mesures de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën). De forts sursauts jusqu'à plusieurs milliers de particules par cm^3 sont observés pendant quelques minutes (intégration 1 minute).

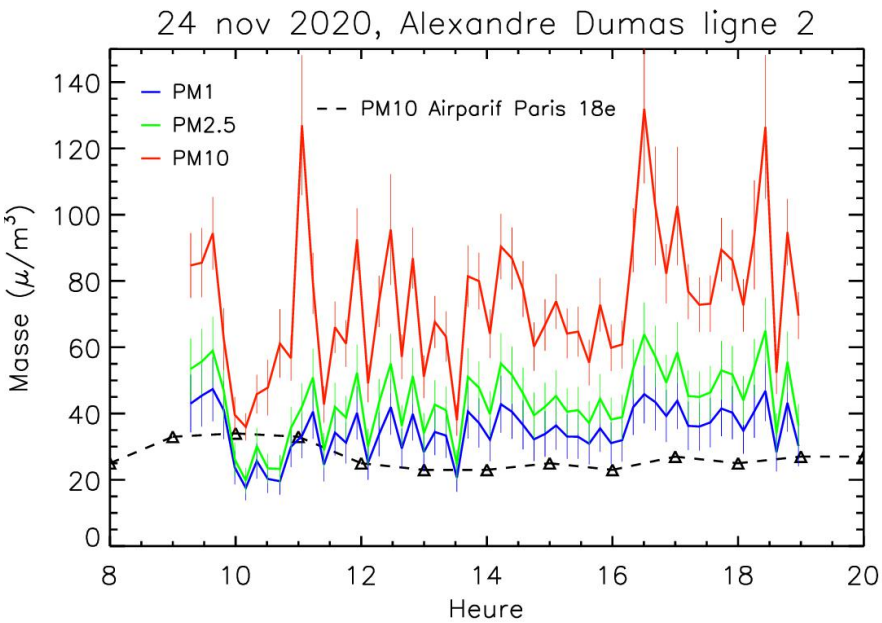




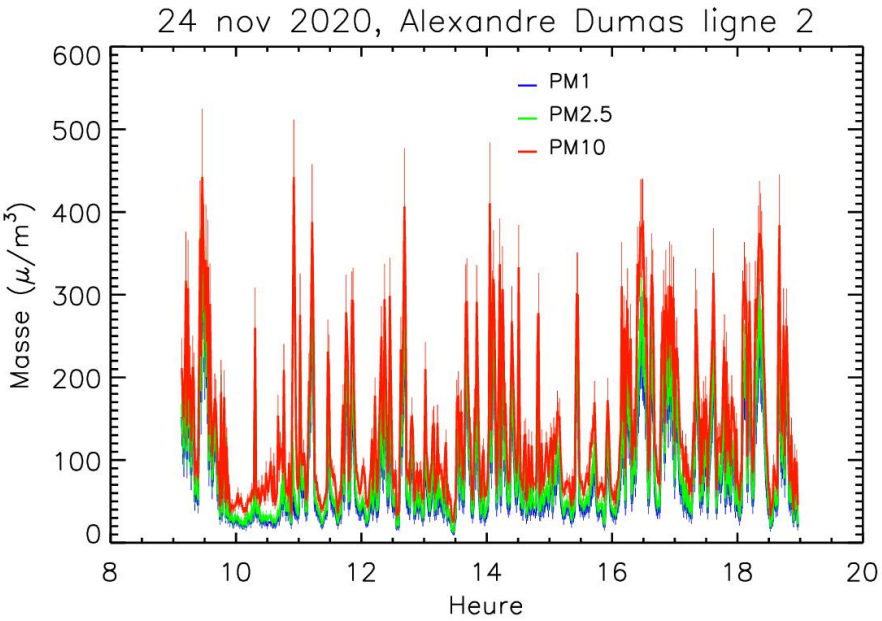
L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille présente clairement un excès de concentration entre 2 et 5 µm, indiquant la présence d'une famille de particules spécifiques se superposant à la tendance générale. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont élevées et variables (intégration 10 minutes), entre 40 et 130 µg/m^3 avec une moyenne de l'ordre de 80 µg/m^3. Ces valeurs sont en moyenne 3 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur, ce qui permet d'estimer à environ 50 µg en moyenne la contribution de l'activité du métro. Les valeurs en PM2.5 et PM1 sont élevées, respectivement entre 20 et 60 µg/m^3 et entre 20 et 40 µg/m^3.



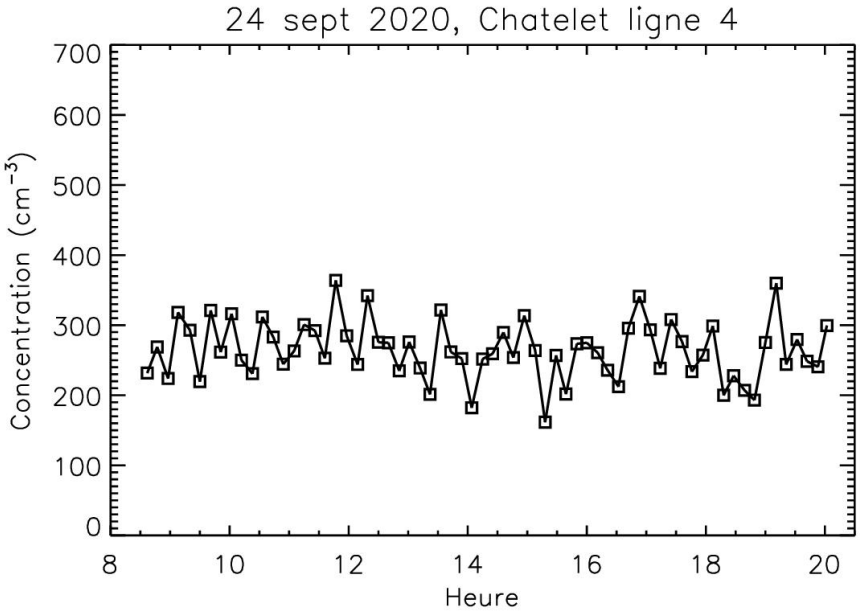
En intégration 1 minute, les sursauts atteignent des valeurs de 400 µg/m^3 pour les PM10 et des pics à plus de 200 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes. A noter une situation plus persistance en début de matinée et surtout en fin d'après-midi.



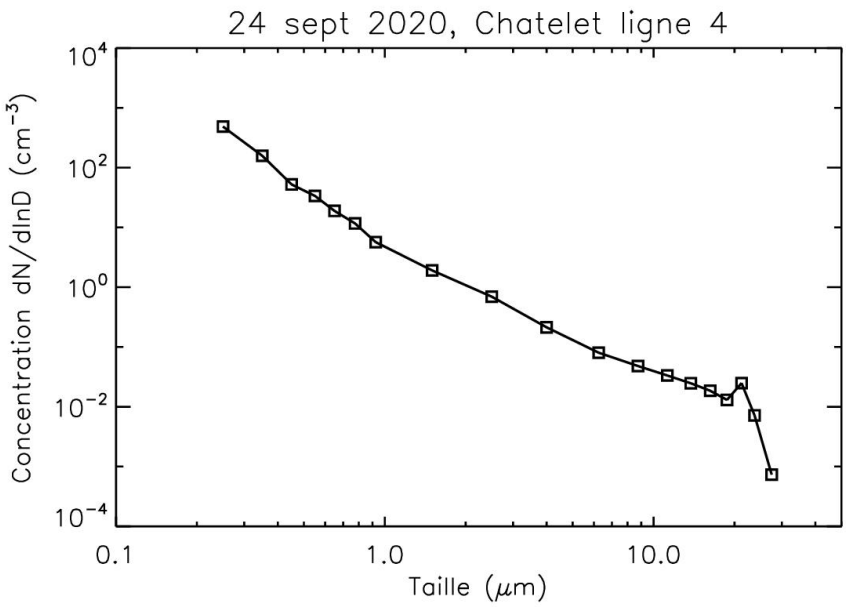
Station Chatelet, ligne 4

Les mesures ont été menées le 24 septembre 2020 alors que la station est en chantier. LOAC a été installé à proximité du capteurs RATP de mesure de la qualité de l'air. Le système de prélèvement de l'air de ce capteur n'est pas en position optimale d'utilisation et est assez encrassé, ce qui doit influer sur la qualité des mesures.

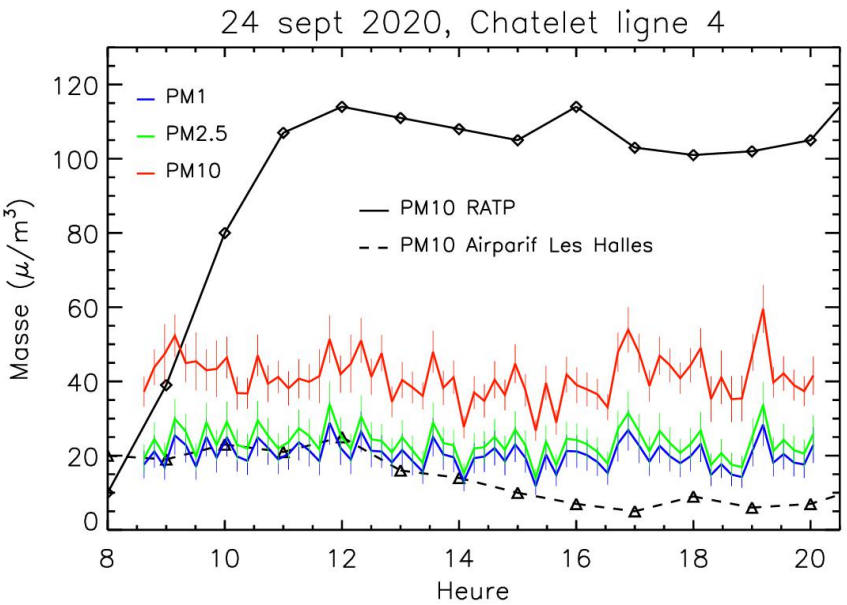
Les mesures de LOAC sont assez stables malgré les travaux, avec des concentrations moyennes en nombre de particules supérieures à 200 nm entre 250 et 350 par cm^3. Ces valeurs sont environ deux fois plus élevées que les mesures de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën).



L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille ne montre aucun excès particulier. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.

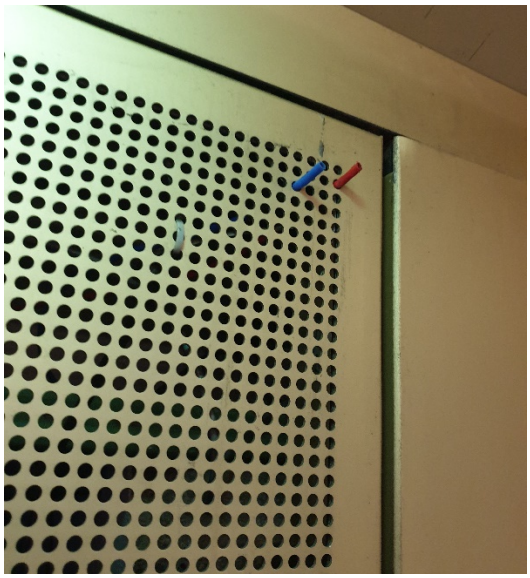


Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont stables, en moyenne de l'ordre de 40 µg/m^3. Ces valeurs en moyenne 2 à 4 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur lors d'un jour de faible pollution, ce qui permet d'évaluer la contribution de l'activité du métro entre 20 à 30 µg/m^3. Les valeurs en PM2.5 et PM1 ne sont pas trop élevées, de l'ordre de 20 µg/m^3. Les mesures du capteur RATP sont fort imprécises et irréalistes du fait du mauvais positionnement du système de prélèvement.

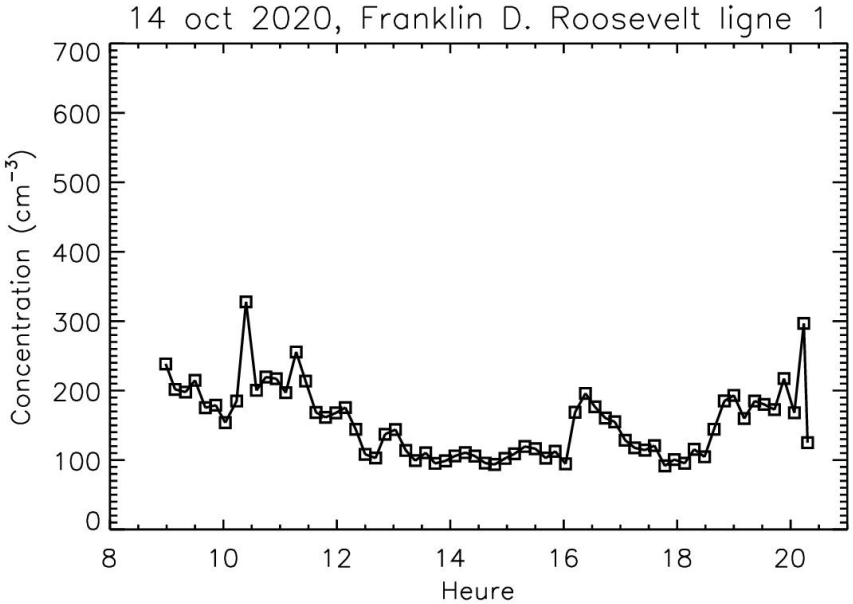


Station Franklin D. Roosevelt, ligne 1

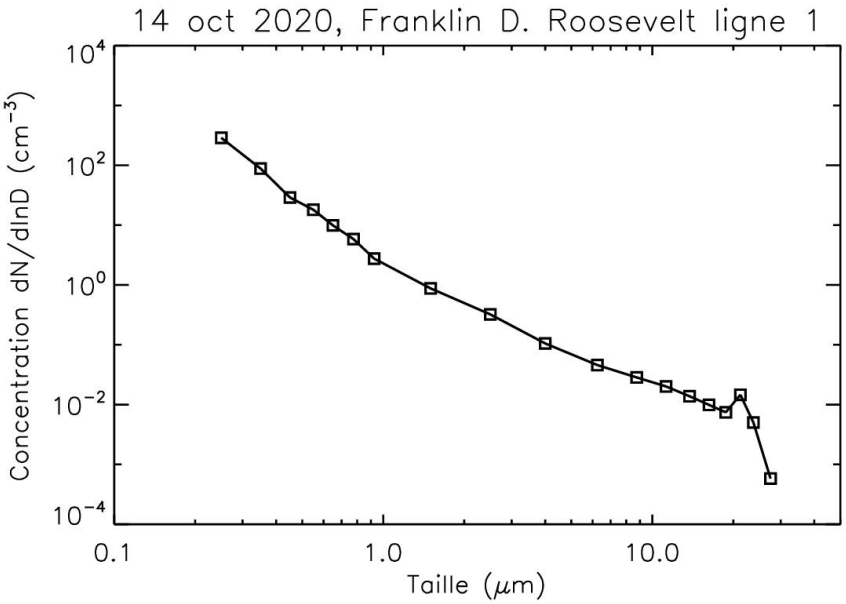
Les mesures ont été menées le 14 octobre 2020 à côté des capteurs RATP de qualité de l'air ; il faut noter que ces capteurs utilisent des petits tuyaux de prélèvement pour amener l'air dans les dispositifs de mesures. Cette station est peu profonde et les capteurs sont à proximité des couloirs d'accès à la station, là où l'air ambiant semble être soumis à une bonne circulation d'air.



Les mesures de LOAC sont assez stables, avec des concentrations moyenne en nombre de particules supérieures à 200 nm entre 100 et 200 par cm^3 (avec deux pics vers 300). Ces valeurs sont similaires aux les mesures de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën).

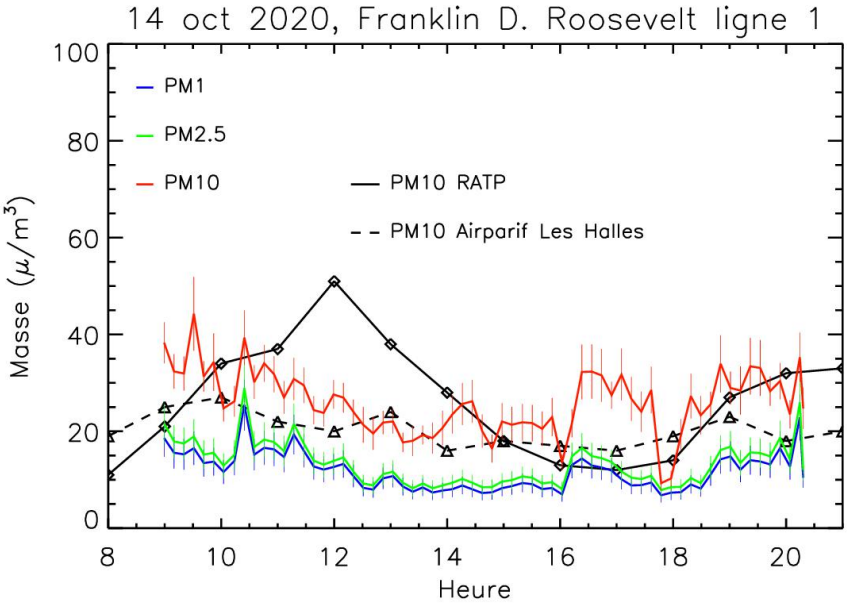


L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille ne montre aucun excès particulier. Les mesures de typologie indiquent une composition assez hétérogène, traduisant des sources diverses.



Les mesures en concentrations massiques sont stables, entre 10 et 40 µg/m^3 pour les PM10. Ces valeurs sont proches des mesures d'Airparif, pour un jour de faible pollution. La contribution de l'activité du métro est d'environ 10 µg/m^3. Les valeurs en PM2.5 et PM1 sont assez faibles, ente 10 et 20 µg/m^3 (quasiment toute la masse des PM2.5 provient des PM1). La bonne ventilation de la station explique ces faibles valeurs.

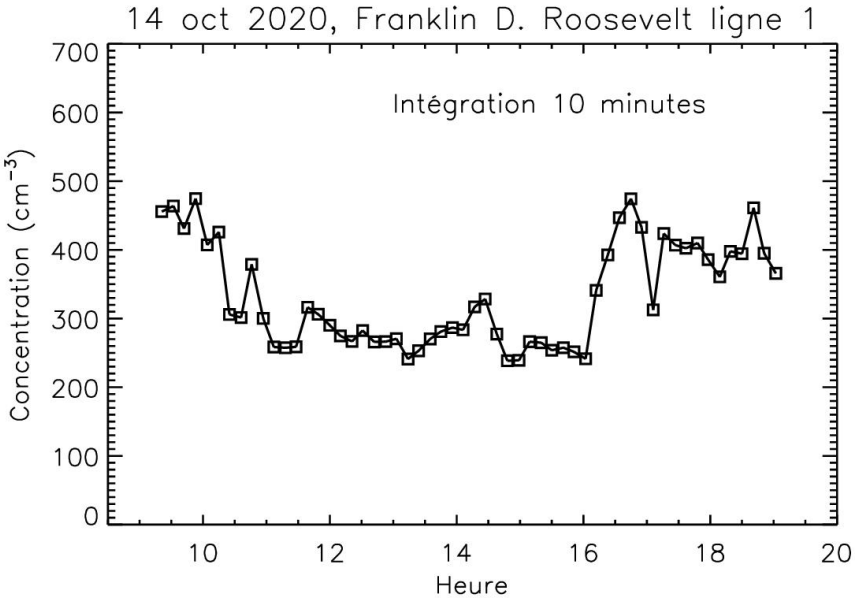
Malgré quelques différences sur l'évolution horaire, les ordres de grandeurs sont similaires entre LOAC et le capteur RATP (valeur moyenne respectivement de 27 µg/m^3 et de 26 µg/m^3).

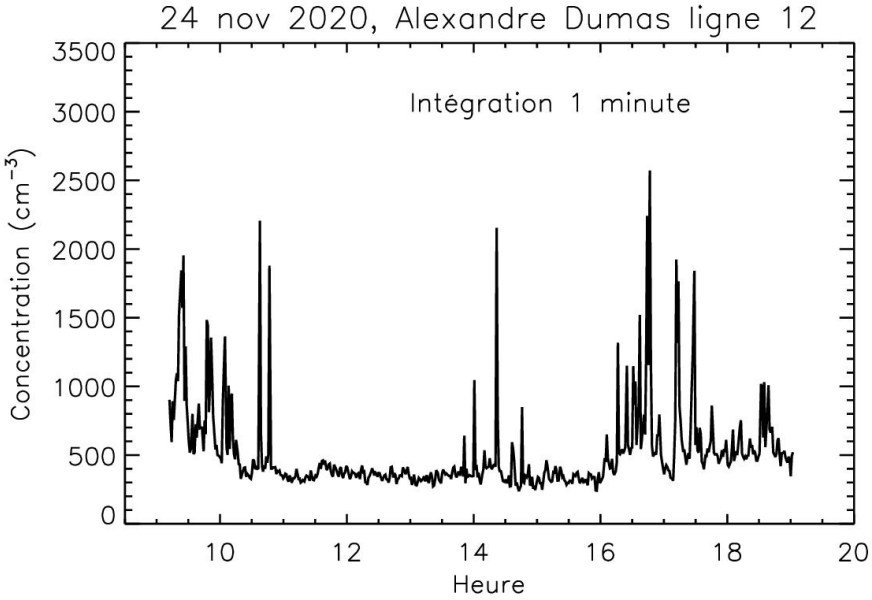


Station Place d'Italie, ligne 5

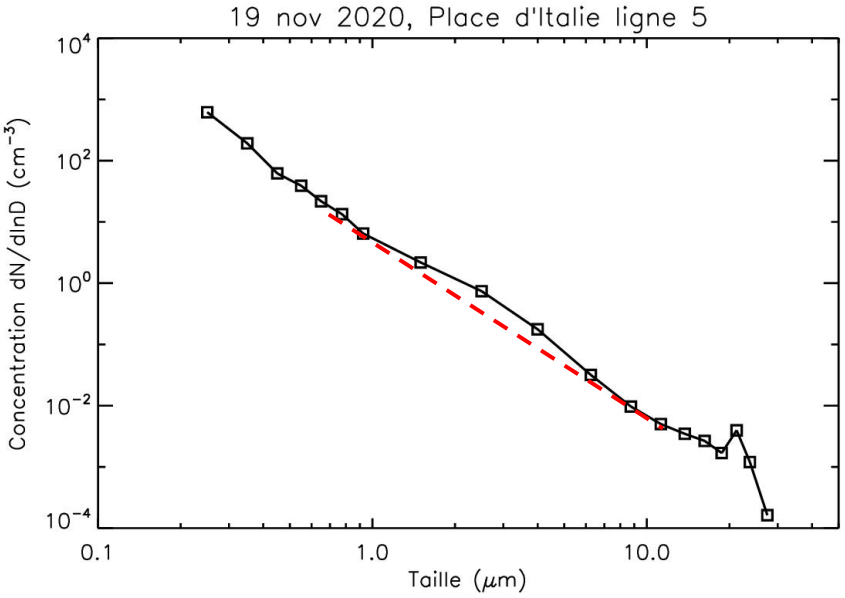
Les mesures ont été effectuées le 19 novembre 2020.

Les mesures présentent une forte variabilité. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont en moyenne entre 250 et 500 par cm^3 (intégration 10 minutes). Ces valeurs sont similaires aux mesures de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën). Néanmoins, de forts sursauts jusqu'à plus de 2000 particules par cm^3 sont observés pendant quelques minutes (intégration 1 minute) en matinée, en début et en fin d'après-midi.

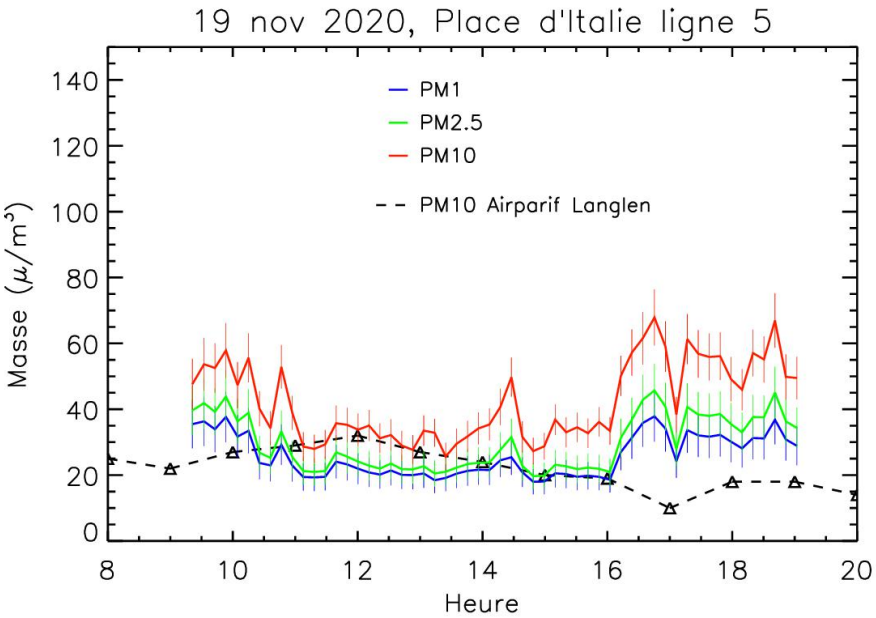




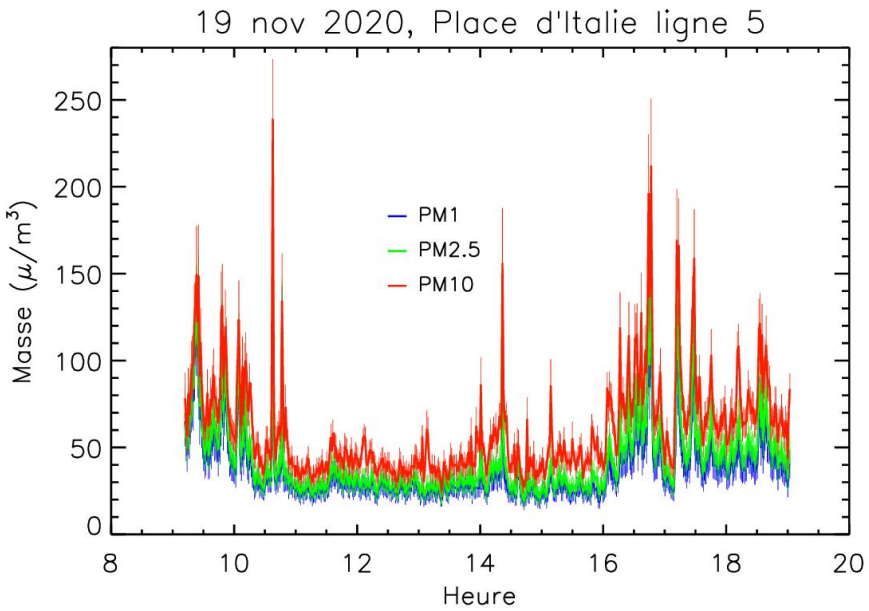
L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille présente un excès significatif de concentration entre 2 et 5 µm, indiquant la présence d'une famille de particules spécifiques se superposant à la tendance générale. Les mesures de typologie indiquent en moyenne une proportion relativement égale entre particules carbonés et/ou métalliques et particules minérales. Plus précisément, les particules carbonés et/ou métalliques sont majoritaires lors des sursauts du matin et de l'après-midi tandis que les particules minérales dominent durant les autres périodes.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont élevées et variables (intégration 10 minutes), entre environ 30 et 60 µg/m³, avec des valeurs plus élevées en matin et en fin d'après-midi. Durant ces périodes, les valeurs sont environ 2 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur, ce qui permet d'estimer de 30 à 50 µg/m³ en moyenne la contribution de l'activité du métro. En revanche, en milieu de journée, les concentrations massiques sont similaires à celles d'Airparif. Lors de ces sursauts, les valeurs en PM2.5 et PM1 sont élevées, respectivement entre 30 et 40 µg/m³. Cette variabilité pourrait provenir de l'activité des rames de métro dans cette station terminus et dans les voies de garage.



En intégration 1 minute, les sursauts atteignent de plus de 200 µg/m^3 pour les PM10 et des pics vers 100 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes.

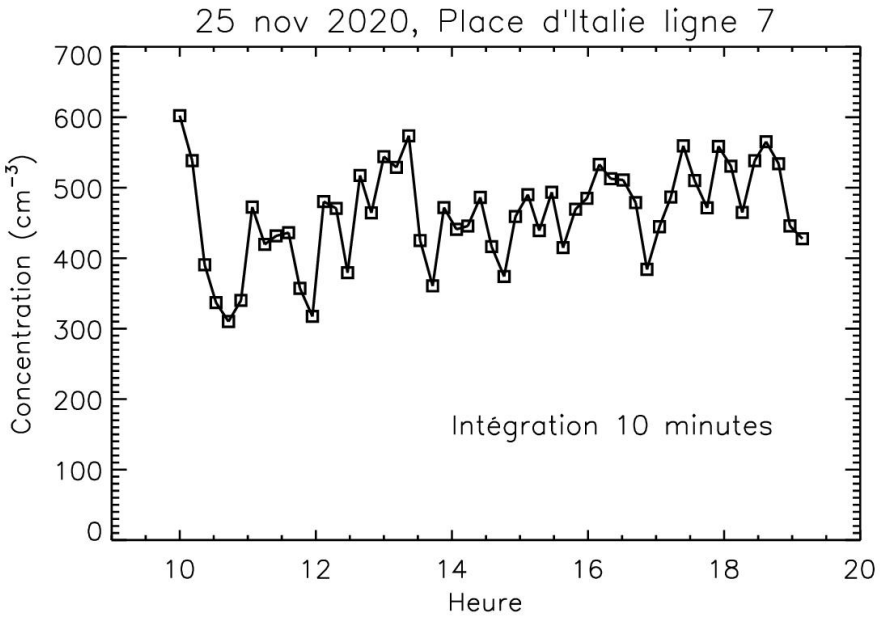


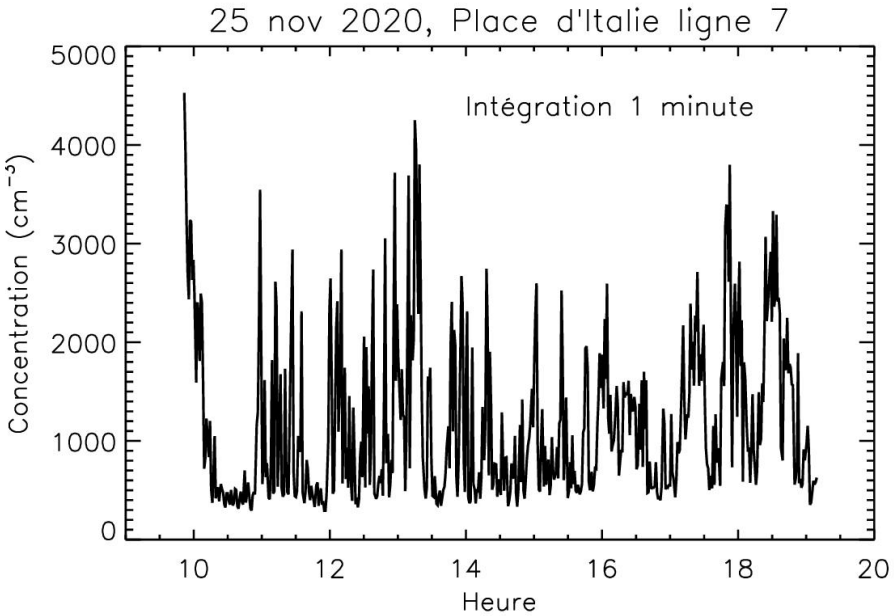
Station Place d'Italie, ligne 7

Cette station est la plus profonde des 3 lignes passant place d'Italie.

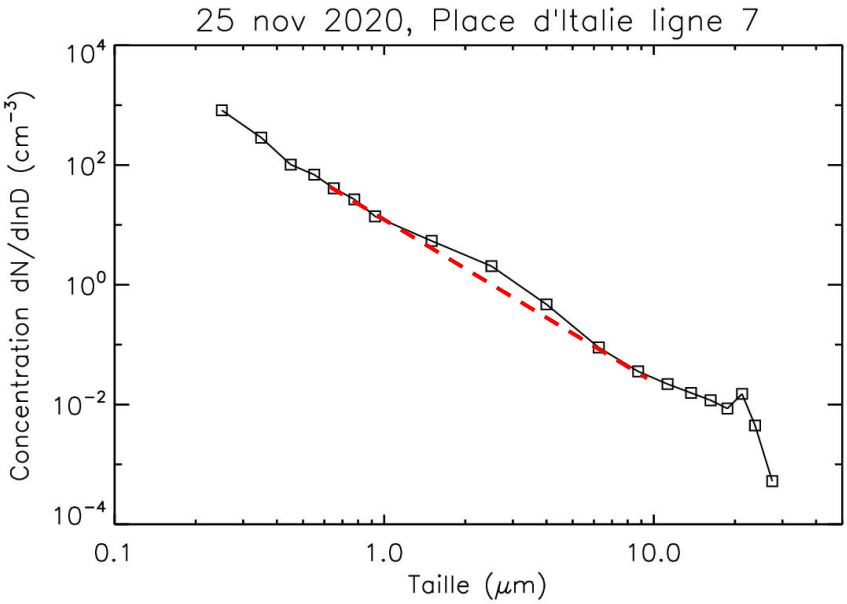
Les mesures ont été effectuées le 25 novembre 2020.

Les mesures présentent une forte variabilité. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont en moyenne entre 300 et 600 par cm^3 (intégration 10 minutes). De forts sursauts jusqu'à plus de 4000 particules par cm^3 sont observés tout au long de la journée.

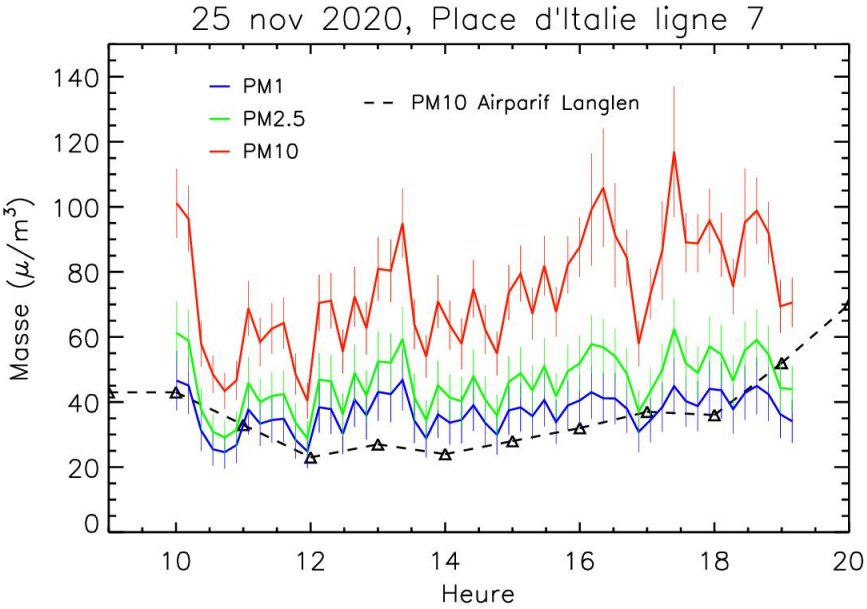




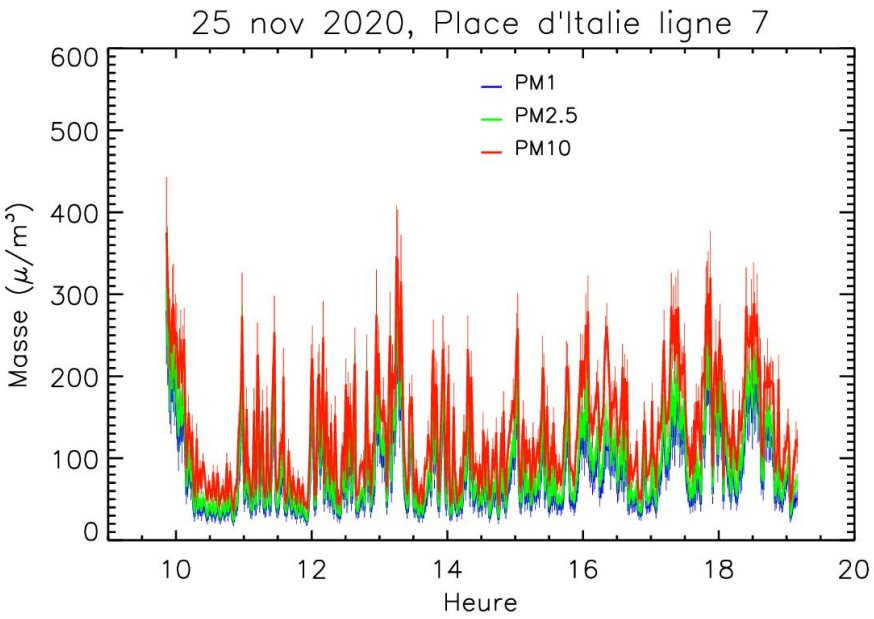
L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille présente un excès significatif de concentration entre 2 et 5 µm, indiquant la présence d'une famille de particules spécifiques se superposant à la tendance générale. Ce phénomène est observé lors de la présence de sursauts en nombre de particules. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont élevées et variables (intégration 10 minutes), entre 40 et 120 µg/m^3, avec une moyenne d'environ 80 µg/m^3. Ces valeurs sont 2 à 3 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur, ce qui permet d'estimer à environ 50 µg/m^3 en moyenne la contribution de l'activité du métro. Les PM2.5 et PM1 atteignent en moyenne des valeurs élevées, respectivement de l'ordre de 50 et 40 µg/m^3.



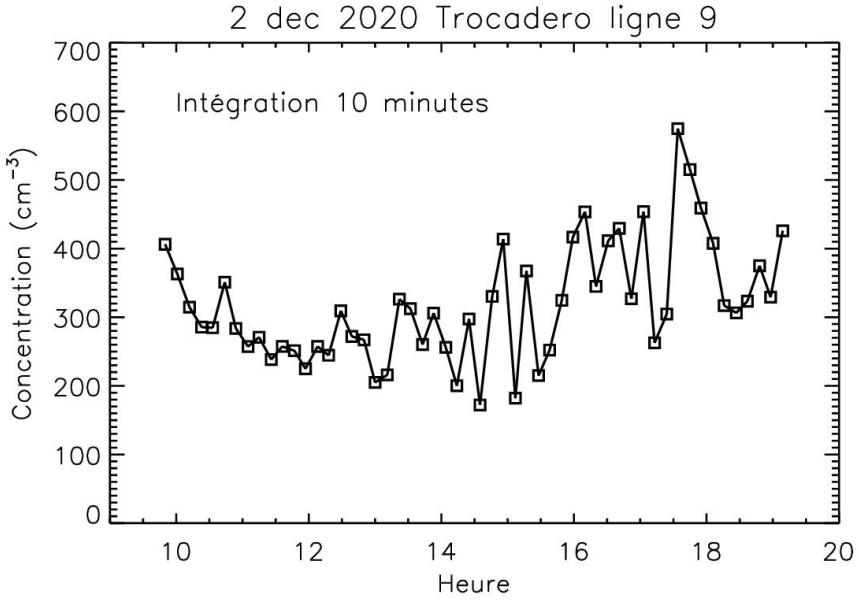
En intégration 1 minute, les sursauts dépassent les 300 µg/m^3 pour les PM10, avec des pics jusqu'à 200 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes.

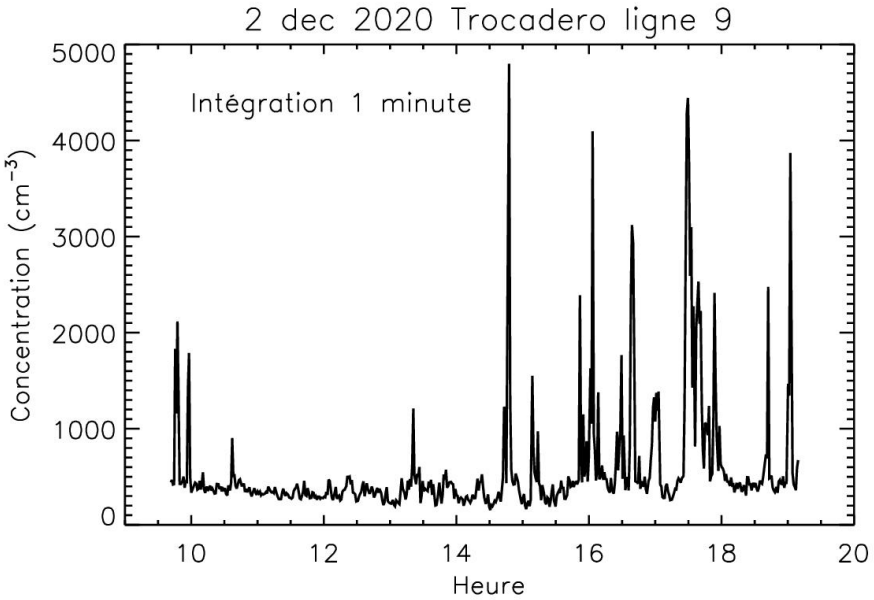


Station Trocadéro, ligne 9

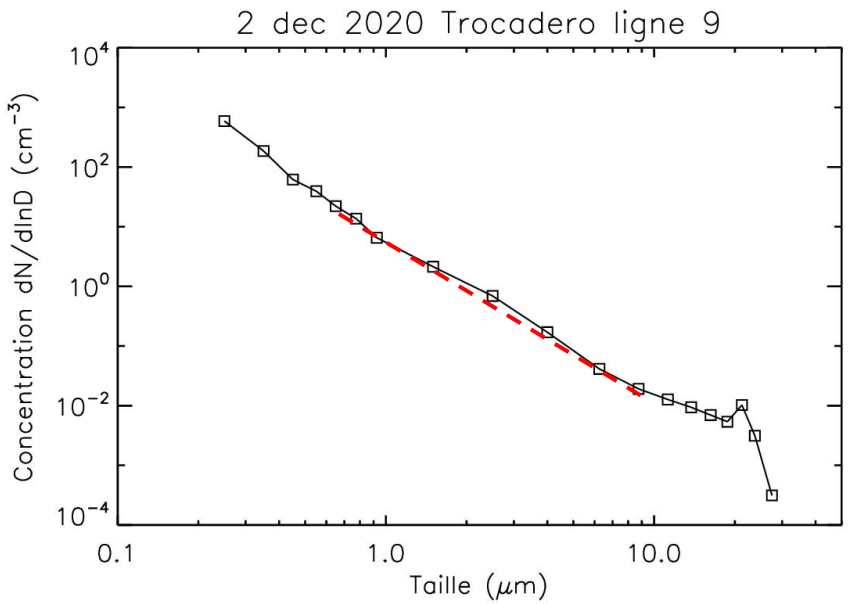
Les mesures ont été effectuées le 2 décembre 2020.

Les mesures présentent une forte variabilité. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont entre 200 et 600 par cm^3 (intégration 10 minutes). Ces valeurs sont similaires à celles de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën). De forts sursauts jusqu'à plus de 4000 particules par cm^3 sont observés en deuxième partie de journée.

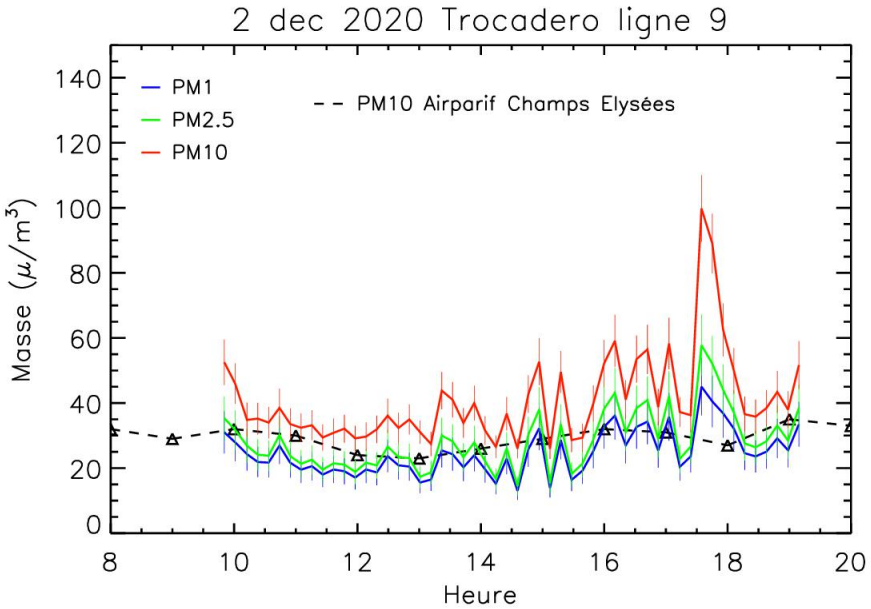




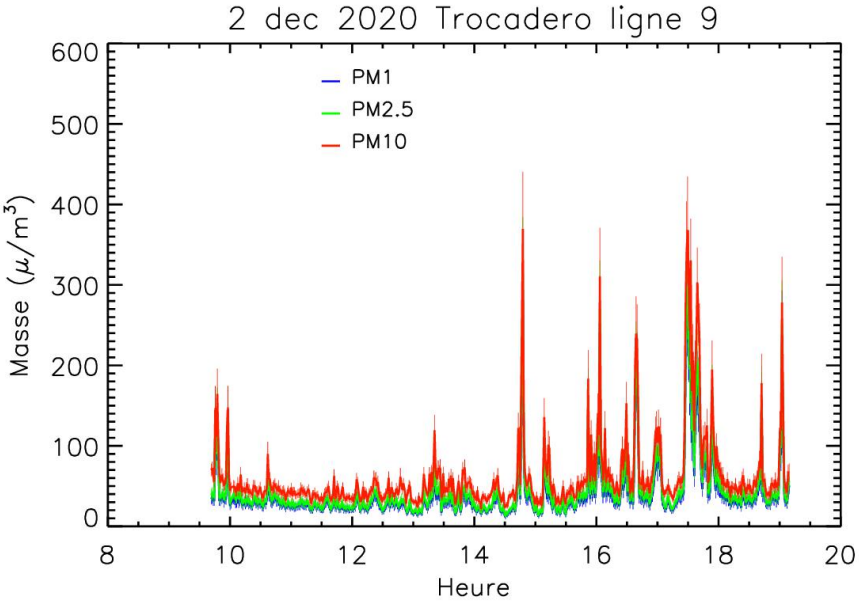
L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille ne présente qu'un très léger épaulement de concentration entre 2 et 5 µm. Ce genre d'excès est généralement observé lors de la présence de sursauts en nombre de particules. Le nombre de sursauts étant faible, l'épaulement demeure peu prononcé. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont modérément élevées et variables (intégration 10 minutes), entre 30 et 60 µg/m^3 (avec un sursaut à 100 µg/m^3). Hors sursaut vers 19h30, les valeurs sont environ 1,5 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur, ce qui permet d'estimer la contribution de l'activité du métro entre 10 et 20 µg/m^3 en moyenne. Les PM2.5 et PM1 atteignent en moyenne des valeurs de l'ordre de 30 µg/m^3.



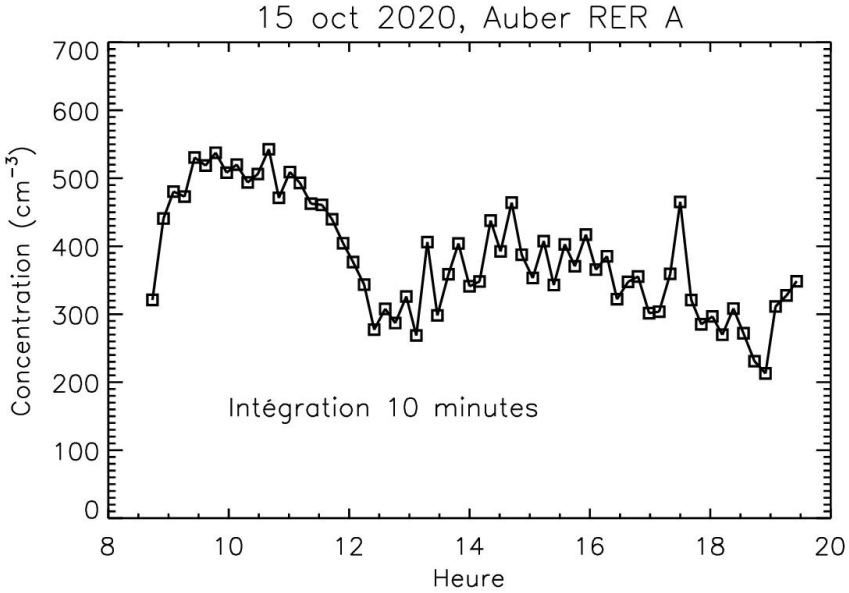
En intégration 1 minute, les quelques sursauts de l'après-midi, dont l'origine reste à déterminer, dépassent les 300 µg/m^3 pour les PM10 et 200 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes.

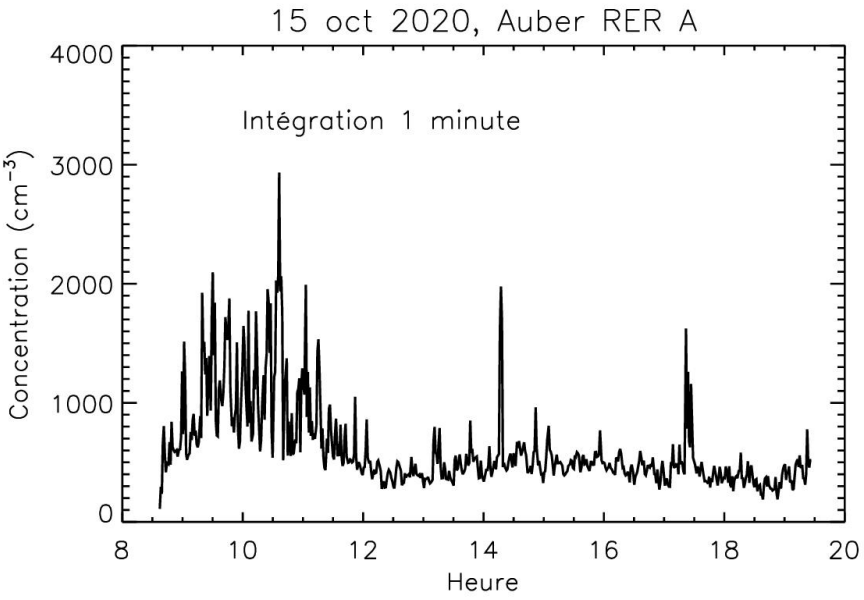


Station Auber, RER A

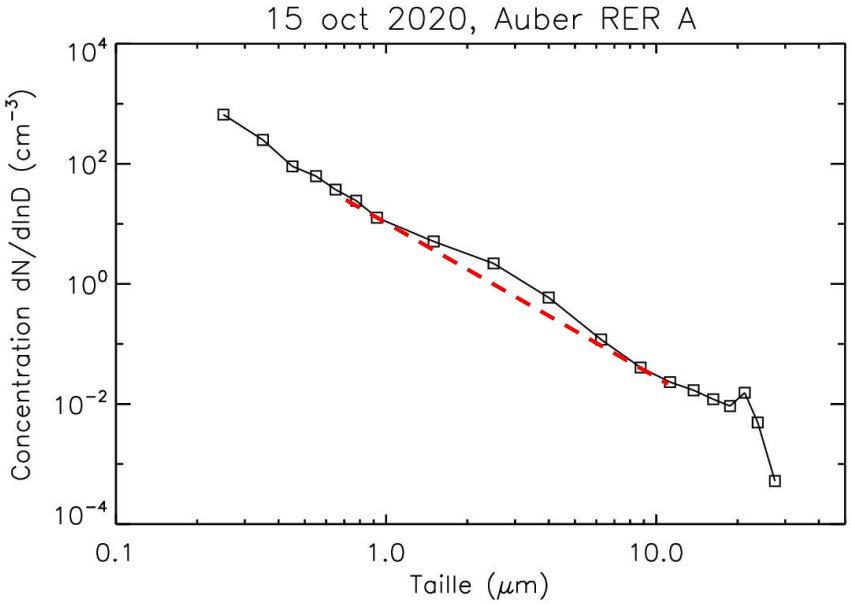
Les mesures ont été menées le 15 octobre 2020 à proximité de la station RATP de qualité de l'air (figure 8). Cette belle station de mesure, respectant toutes les contraintes d'installation pour le prélèvement de l'air ne fournit malheureusement pas de données accessibles sur internet, alors qu'elle semble être en fonctionnement.

Les mesures de LOAC présentent une forte variabilité. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont entre 200 et 550 par cm^3 (intégration 10 minutes) avec une périodicité qui semble être liée aux heures de travail. Ces valeurs sont 2 à 3 fois supérieures à celle de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën). Des sursauts jusqu'à 2000 particules par cm^3 sont observés en matinée.

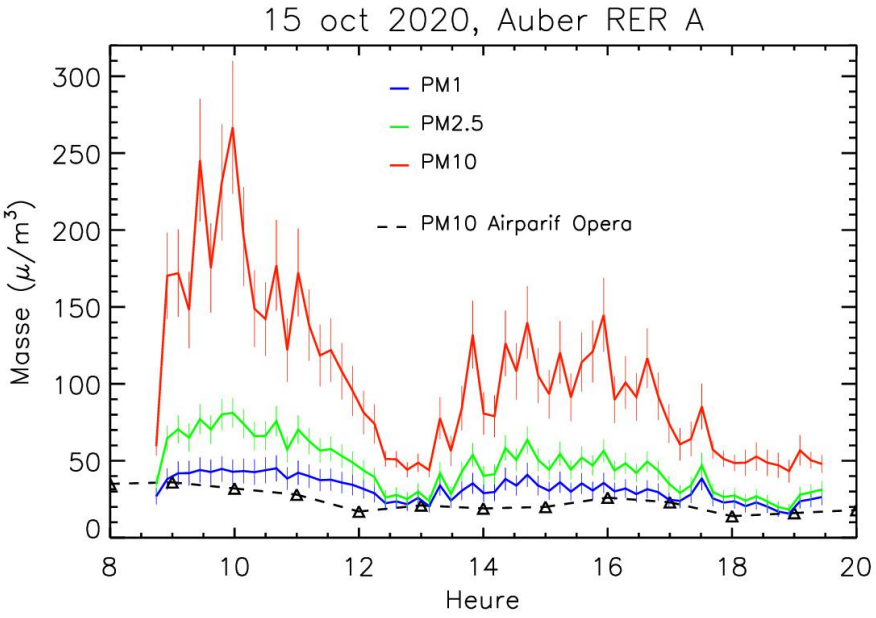




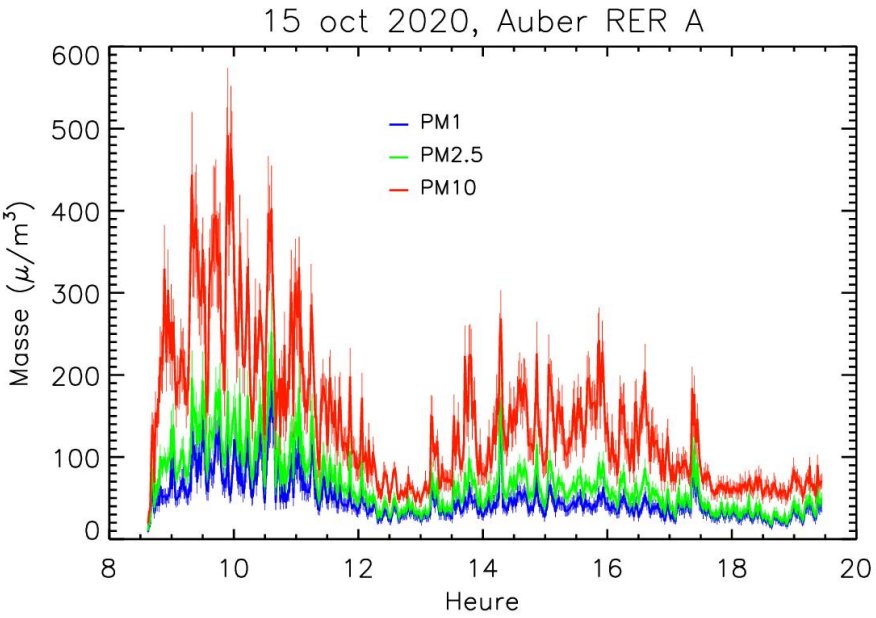
L'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille présente un fort excès de concentration entre 2 et 5 µm. Les mesures de typologie indiquent des particules majoritairement minérales lors des périodes de fortes concentrations et des particules majoritairement carbonées ou métalliques vers midi et à partir de 17h. Cette variabilité est probablement due à l'important chantier de rénovation de la station.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont élevées et très variables (intégration 10 minutes), entre 50 et 250 µg/m^3. Les valeurs sont entre 2 et 8 plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur ; la contribution de l'activité du RER est entre 30 et 230 µg/m^3 en fonction de l'heure de la journée. Les PM2.5 et PM1 les plus basses sont en moyenne de l'ordre de 30 µg/m^3, tandis qu'elles atteignent respectivement 80 et 40 µg/m^3 en matinée.



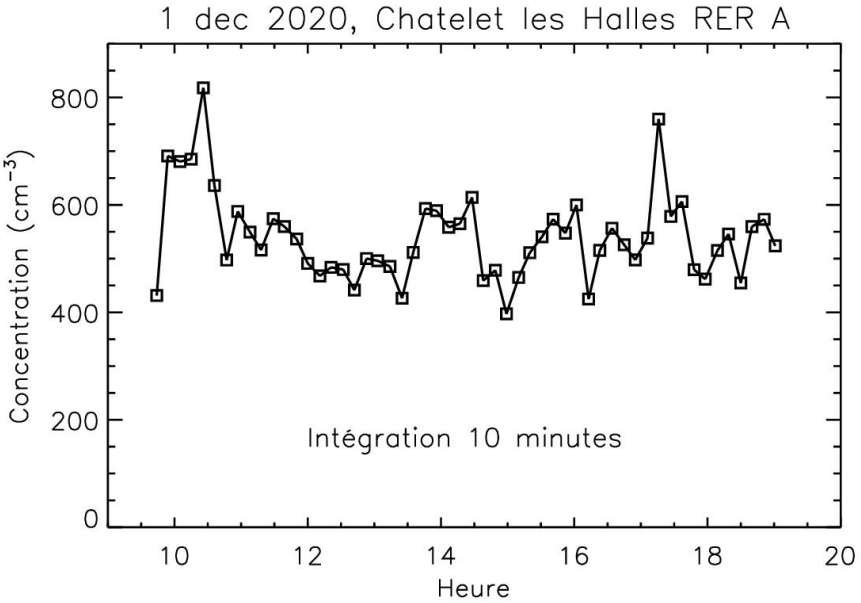
En intégration 1 minute, la concentration massique atteint les 500 µg/m^3 pour les PM10 et dépasse 100 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes. Les pics se rajoutent à la fluctuation de fond liée au chantier de la station.

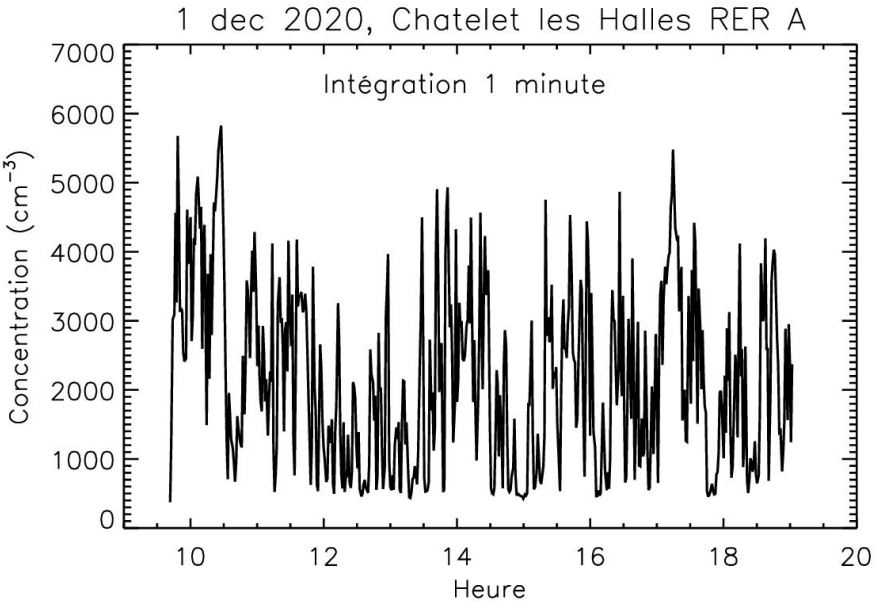


Station Chatelet les Halles, RER A

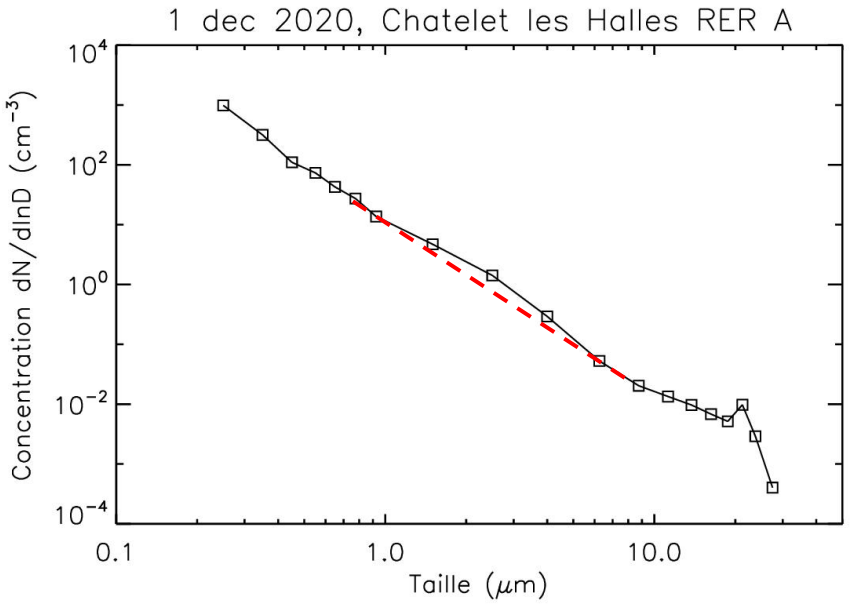
Les mesures ont été menées le 1 décembre 2020 (direction Gare de Lyon). La station est desservie par des tunnels à voie unique.

Les mesures présentent une forte variabilité et des valeurs très élevées. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont entre 400 et 800 par cm^3 (intégration 10 minutes). Ces valeurs sont 2 fois supérieures à celle de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën). De nombreux sursauts sont observés, dont certains dépassent 6000 particules par cm^3.

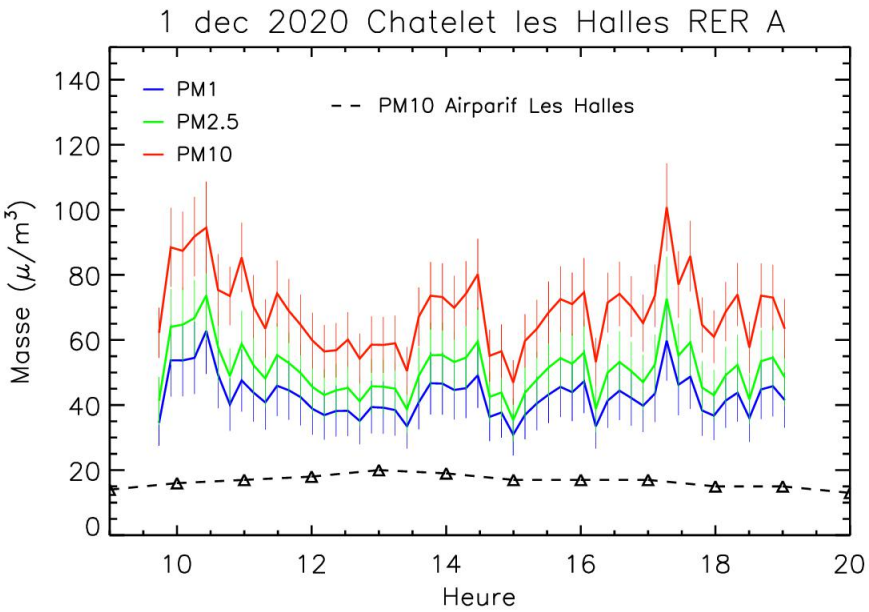




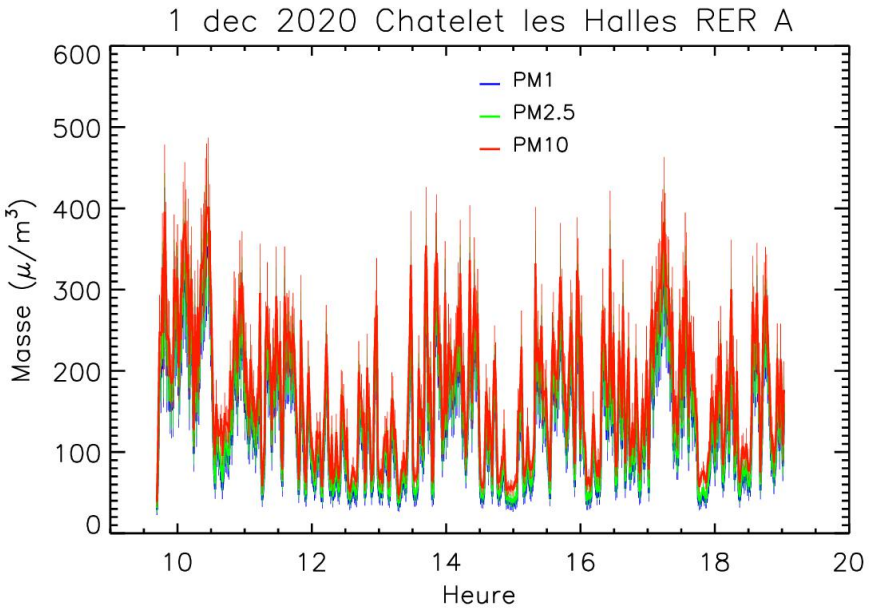
Comme attendu, l'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille présente un excès de concentration entre 2 et 5 µm. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont élevées très variables (intégration 10 minutes), entre 50 et 100 µg/m^3. Les valeurs sont en moyenne 3 fois plus fortes que les mesures d'Airparif en air extérieur. La contribution de l'activité du RER est en moyenne de 50 µg/m^3. Les PM2.5 et PM1 sont assez élevées en moyenne, respectivement de l'ordre de 50 et 40 µg/m^3



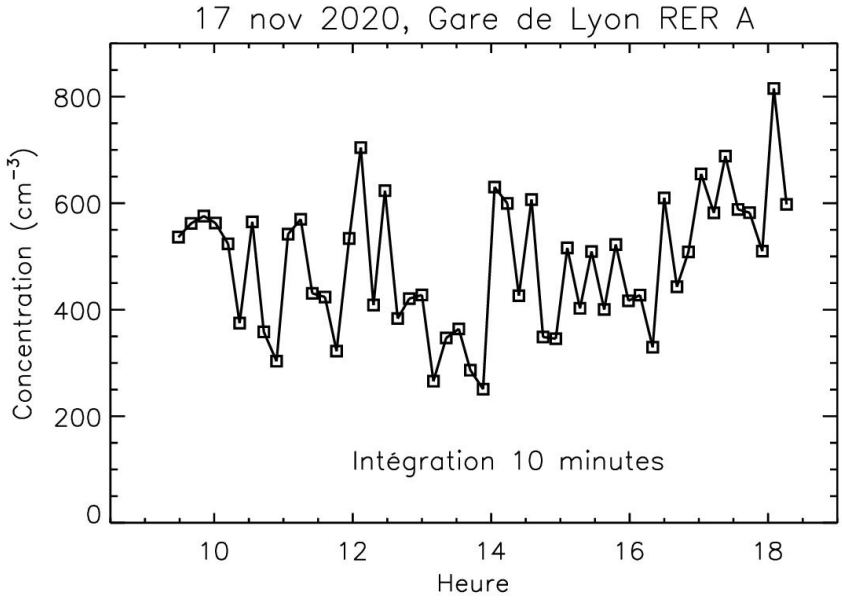
En intégration 1 minute, la concentration massique atteint les 400 µg/m^3 pour les PM10 et atteint les 200 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes lors des nombreux sursauts

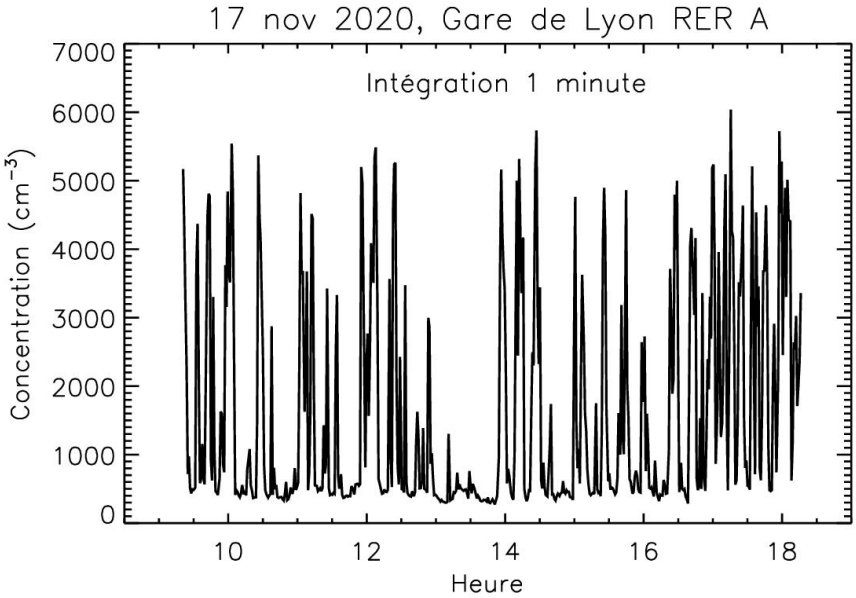


Station Gare de Lyon, RER A

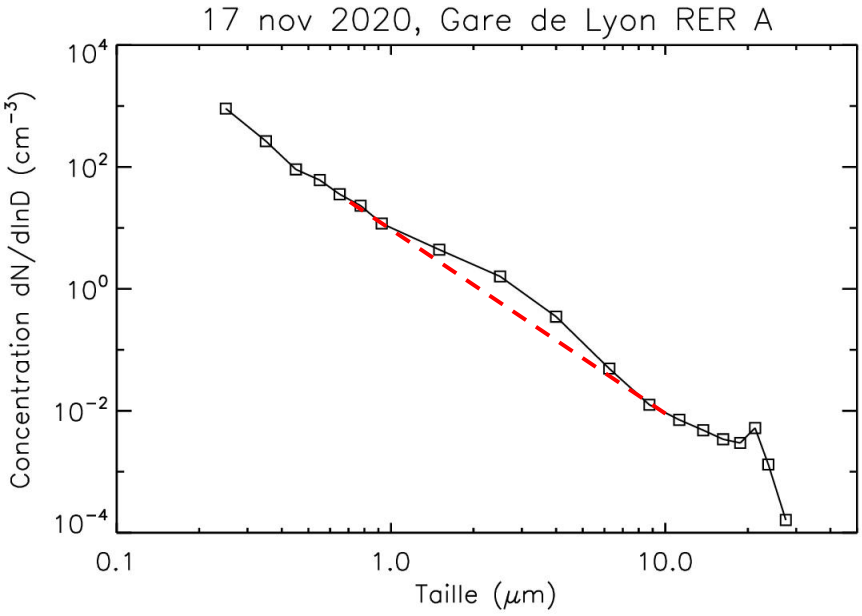
Les mesures ont été menées le 17 novembre 2020 (direction Chatelet les Halles) en queue de quai. La station est desservie par des tunnels à voie unique ; les mesures ont été conduites à proximité de la sortie d'un des tunnels.

Les mesures présentent une forte variabilité et des valeurs très élevées. Les concentrations en nombre de particules supérieures à 200 nm sont entre 250 et 800 par cm^3 (intégration 10 minutes). Ces valeurs sont presque 2 fois supérieures à celle de LOAC en air extérieur au ballon de Paris Generali (Parc André Citroën). De nombreux sursauts sont observés, dont certains dépassent 5000 particules par cm^3, avec une accalmie entre 13h et 14h.

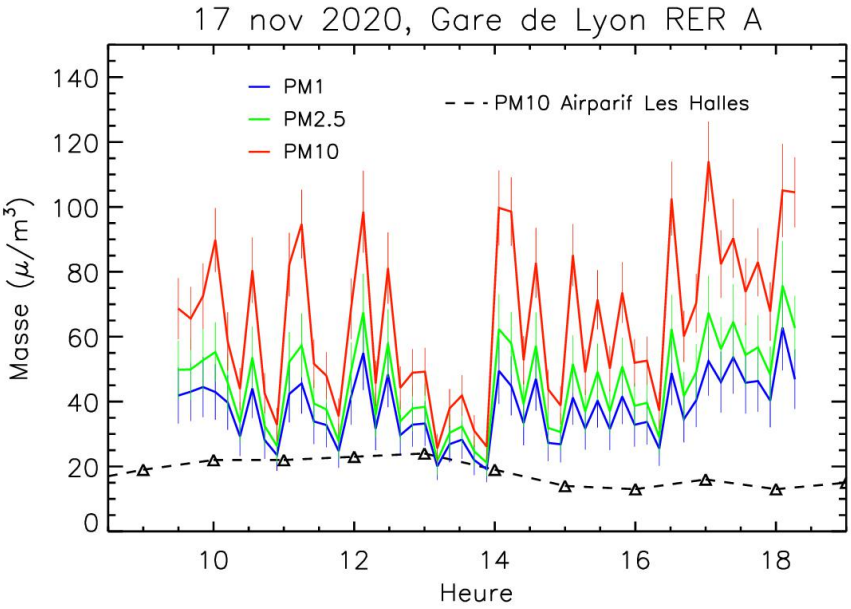




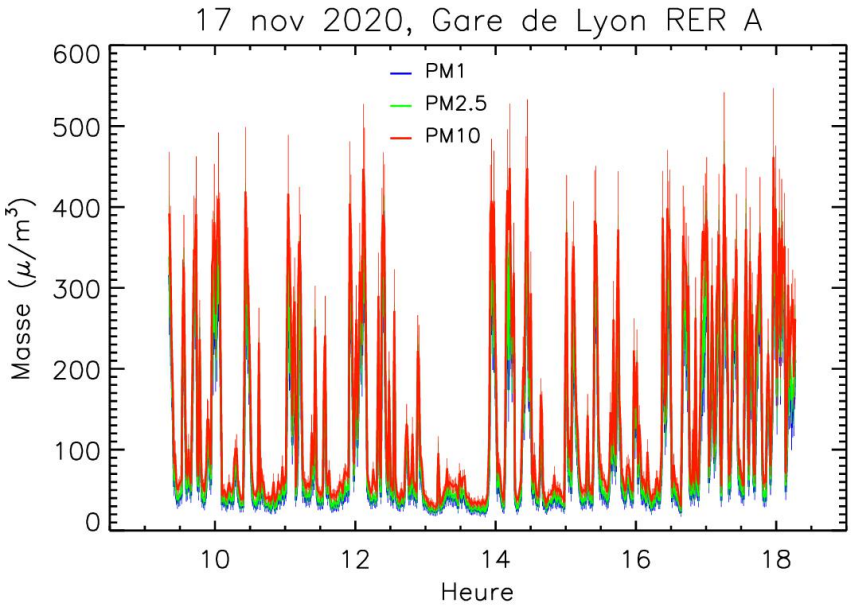
Comme attendu, l'allure de l'évolution de la concentration en fonction de la taille présente un fort excès de concentration entre 2 et 5 µm. Les mesures de typologie indiquent une présence fortement majoritaire de particules carbonés et/ou métalliques au-delà de 0.5 µm.



Les mesures en concentrations massiques en PM10 sont une fois encore très variables (intégration 10 minutes), entre 30 et 110 µg/m^3. Ces valeurs sont en moyenne entre 3 et 5 fois plus élevées que les mesures d'Airparif en air extérieur, sauf entre 13h et 14h où elles sont moins de 2 fois plus élevées. La contribution de l'activité du RER en PM10 est entre 20 et 100 µg/m^3 en fonction de l'heure de la journée. Les PM2.5 et PM1 sont assez élevées en moyenne, respectivement de l'ordre de 50 et 40 µg/m^3



En intégration 1 minute, la concentration massique atteint les 500 µg/m^3 pour les PM10 et atteint les 200 µg/m^3 pour les PM1 pendant plusieurs minutes lors des nombreux sursauts.



Interprétations et conclusions

Les situations du contenu en particules fines sont très variables d'une station à une autre ainsi qu'au cours de la journée.

Il est nécessaire d'effectuer des mesures du suivi du contenu en particules fines dans un nombre significatif de stations (et non pas 3 comme actuellement) ; une dizaine de stations semble un minimum que nous pouvons recommander.

Des tendances émergent de cette étude :

- Les stations bien ventilées présentent des niveaux de concentrations en nombre et massiques proches de celles de l'air extérieur.

- Dans les stations moins bien ventilées, la pollution liée à l'activité du métro se rajoute à celle de l'air ambiant, avec une contribution d'au moins plusieurs dizaines de $\mu g/m^3$ pour les PM10.

- Le RER présente les niveaux de pollution au particules fines les plus élevés. Les tunnels à voie unique pourraient favoriser l'expulsion des particules de pollution lors de l'entrée de la rame en station.

- De très forts pics de pollution en particules fines sont parfois constatés en grande quantité. Ils atteignent des valeurs de plusieurs centaines de $\mu g/m^3$ et nécessitant plusieurs minutes pour diminuer. Les conditions de freinage des rames pourraient en être la cause principale.