Première étude sur les particules fines dans le métro et le RER (Synthèse des résultats)

800 millions de particules par mètre-cube !

Contexte

L'équipe de Jean-Baptiste Renard du Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement et de l'Espace (LPCE2) du CNRS, avec Respire, a mené une série de mesures dans les enceintes du métro et du RER pendant le mois de juin 2019. Ces mesures sont réalisées avec un appareil de haute précision, le LOAC, utilisé dans plusieurs dizaines publications scientifiques.

Ces mesures sont encore préliminaires et nécessiteraient d'être étendues, reproduites, élargies. Toutefois, elles permettent de mettre en évidence toute une série de constatations majeures pour la situation de la pollution de l'air dans le métro.

Premières mesures de particules fines / ultrafines

Les données publiées par la RATP (réseau SQUALES - Surveillance de la Qualité de l'Air de l'Environnement Souterrain) ou par Airparif concernent les PM10 et les PM2.5 mais pas les particules plus petites. Les mesures du LOAC permettent pour la première fois de mesurer des particules de taille qui descendent jusque 0,2 micron (donc PM 0,2).

Or, le récent rapport de l'Agence nationale de sécurité sanitaire de l'alimentation, de l'environnement et du travail (ANSES) rappelle que ce sont les particules les plus petites qui sont les plus dangereuses pour la santé humaine. Et il invite à les étudier sur elles. (1)

Notre étude est donc la première étude à mesurer les particules les plus fines dans les enceintes souterraines du métro et du RER. Celles qui menacent tout particulièrement la santé des usagers et des salariés.

Différence extérieur / intérieur

Dans certains cas, les concentrations de particules peuvent être dix fois plus élevées en intérieur qu'en extérieur (300 µg/m^3 comparé à 30 µg/m^3 pour les PM10). Ces différences sont assez classiques et ont déjà été mises en évidences par des études similaires.

Importance des microparticules

Dans nos mesures, la quasi totalité des particules est de taille inférieure à 1 micromètre. En nombre, plus de 99,5% des particules sont de taille inférieure ou égale à PM1.

La présence des plus petites particules n'est PAS proportionnelle à celle des particules de taille plus importante. Il peut exister des pics de petites particules qui ne sont pas visibles si on regarde uniquement les particules plus grosses (PM10 ou PM2.5)

Nombre de particules

Dans certaines mesures, la concentration de PM1 atteint 30 µg/m^3, ce qui est considérable pour des molécules de cette taille et qui n'est jamais atteint en extérieur.

Mais les mesures en concentration ne rendent pas compte de l'importance de la pollution. Nos mesures montrent, sur le quai du RER A, dans la station de Gare de Lyon, entre 300 et 800 particules par cm^3. Soit 300 et 800 millions de particules par m^3.

Le nombre de molécules est plus important que la concentration.

Énorme variété des mesures

Les mesures montrent des différences importantes entre différentes parties du réseau. Les différences sont considérables entre l'avant, l'arrière et le milieu du quai ; entre des stations plus ou moins profondes ; entre les couloirs et les quais, etc. Et même entre différents trains sur un même quai.

Cela indique qu'il est nécessaire d'étudier en détail la distribution de la pollution dans les différentes parties d'une station : un seul point de mesure par station (comme avec le réseau SQUALES) est complètement insuffisant et pourrait nous faire manquer des enjeux importants.

Disposer d'un meilleur niveau de détail permettrait de diffuser des recommandations de santé publique pour les usagers. Par exemple : n'attendez pas votre RER près de l'entrée du tunnel !

Par ailleurs, les importantes variations observées au cours du temps sur le quai du RER nous indiquent qu'il existe des paramètres de variabilité qui nous échappent actuellement et qu'il importe d'étudier : la variabilité observée est-elle liée au type de matériel, au type de conduite ou encore à d'autres autre facteur restant à déterminer ? Comprendre finement ces différences permettrait d'aider la RATP et la SNCF à diminuer les concentrations de polluant dans les enceintes souterraines ou les tunnels et l'exposition des usagers et des personnels.

Finalement, la distribution fine, spatiale et temporelle, de la pollution de l'air dans les stations est donc largement inconnue. Des études précises s'imposent, pour mieux comprendre cette pollution, la diminuer, et pour mieux informer et protéger les usagers et les salariés.

(1) Particules de l'air ambiant extérieur - Effets sanitaires des particules de l'air ambiant extérieur selon les composés, les sources et la granulométrie

https://www.anses.fr/fr/system/files/AIR2014SA0156Ra.pdf

Rapport sur les mesures de pollution en particules fines effectuées dans le métro de Paris avec l'instrument LOAC

Jean-Baptiste RENARD, LPC2E-CNRS
Jérémy SURCIN, LPC2E-CNRS
Olivier BLOND, association RESPIRE

Conditions de mesures

Les mesures ont été menées avec l'instrument portatif LOAC-Recorder de la société MeteoModem (Figure 1). Cet instrument, initialement développé par le LPC2E-CNRS et la société ENVEA, permet d'obtenir la concentration en particules fines pour 19 gammes de tailles entre 0,2 et ~50 µm, et a donné lieu à plus d'une vingtaine de publications scientifiques pour des mesures dans des milieux très variés. LOAC permet aussi d'obtenir une identification de la typologie des particules basée sur leurs propriétés optiques d'absorption de la lumière. Les mesures de comptages sont obtenues toutes les 10s ; les résultats sont généralement présentés toutes les minutes mais ils peuvent aussi donnés toutes les 10s et toutes les 10 minutes. Les mesures peuvent être converties en masse, pour comparaison aux mesures normatives PM2.5 et PM10.

Différentes sessions de mesures ont été menées : en air extérieur place du Chatelet afin de vérifier les performances de LOAC, dans les stations du RER A Gare de Lyon, Chatelet ligne 4 (la station étant en travaux), la station Cité ligne 4, ainsi que dans les couloirs d'entrée de la station Chatelet et dans une rame de la ligne 10 entre Odéon et Gare d'Austerlitz.

Figure 1 : LOAC-Recorder

Mesures en air extérieur

La figure 2 présente l'évolution des concentrations toutes les minutes pour les 19 gammes de tailles, lors d'une session d'une heure de mesure. L'exemple de distribution en taille (granulométrie) présenté dans la figure 3 montre une situation classique pour un état de faible pollution urbaine (les conditions météorologiques étaient chaudes et assez venteuses). La détermination typologique de LOAC indique bien des particules optiquement absorbantes en-dessous de 10 µm, attribuées ici aux particules carbonées, et des particules minérales pour les plus grandes tailles dont certaines pourraient provenir des sables sahariens présents dans l'atmosphère à cette date. La figure 4 présente les masses PM1, PM2.5 et PM10 calculées à partir des mesures de LOAC intégrées sur 10 minutes, et la comparaison avec les mesures de la station d'Airparif la plus proche (Paris Centre, place Igor Stravinsky, 4e arrondissement). Le très bon accord pour les mesures PM10 indique que le LOAC fonctionne parfaitement.

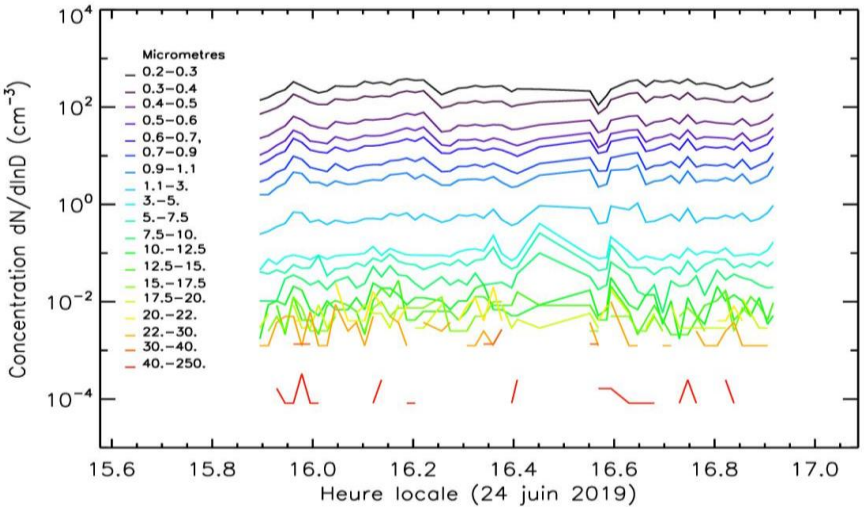

Figure 2 : Evolution temporelle pour les 19 gammes de taille de LOAC

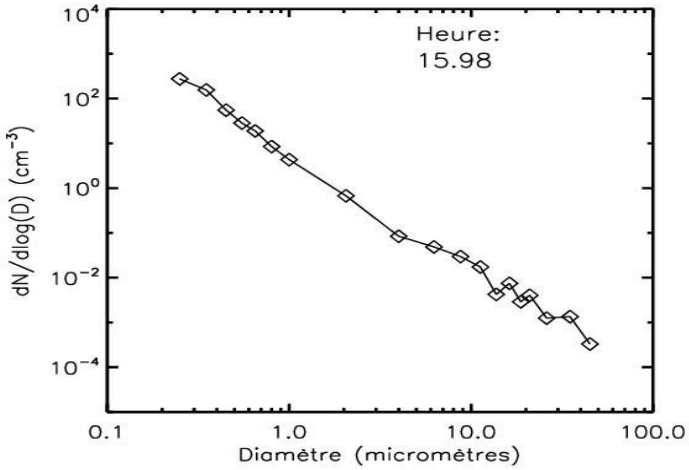

Figure 3 : Exemple de distribution en taille

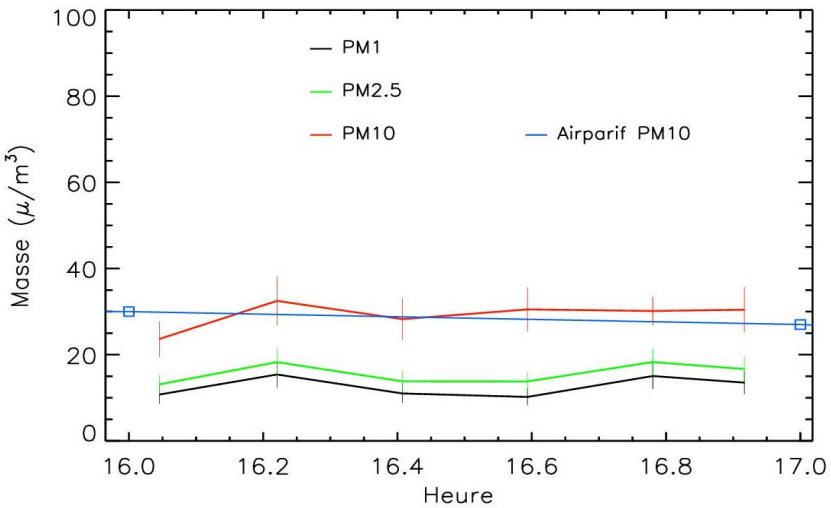

Figure 4 : Mesure de concentrations massiques à partir des données de LOAC et comparaison aux mesures normative d'Airparif de la station « Paris Centre »

Mesures à la station du RER A Gare de Lyon

Les mesures en fin de quai (direction Chatelet les Halles) permettent d'évaluer l'injection possible du nuage de particules lors de l'entrée de la rame en station. La figure 5 présente l'évolution temporelle des concentrations (en mode 1 minute pour des questions de lisibilité mais les données en mode 10s sont parfaitement exploitables). Nous remarquons une variabilité des concentrations. Lors de l'arrivée de certaines rames (mais pas toutes), une forte odeur pourrait indiquer un nuage de particules précédant la rame, peut-être lié au freinage. Dans ce cas, la granulométrie (figure 6) présente un excès de particules submicroniques mais aussi un pic vers 3 µm qui peut durer plusieurs minutes ; de même la typologie entre 1 et 5 µm diffère fortement de celles des particules extérieures, indiquant des particules optiquement très absorbantes qui pourraient être des poussières métalliques (mais ceci sera à confirmer par des étalonnages de LOAC en laboratoire).

Enfin, les concentrations massiques (figure 7) sont très élevées, bien supérieures à celles en air extérieur, ce qui indiquent que ces particules sont bien inhérentes aux conditions souterraines du RER. Le niveau PM1 est d'environ 30 µg/m^3 et d'environ 50 µg/m^3 pour les PM2.5 (contre environ 15 µg/m^3 en air extérieur) ; les PM10 oscillent entre environ 50 et 300 µg/m^3 (contre environ 30 µg/m^3 en air extérieur)

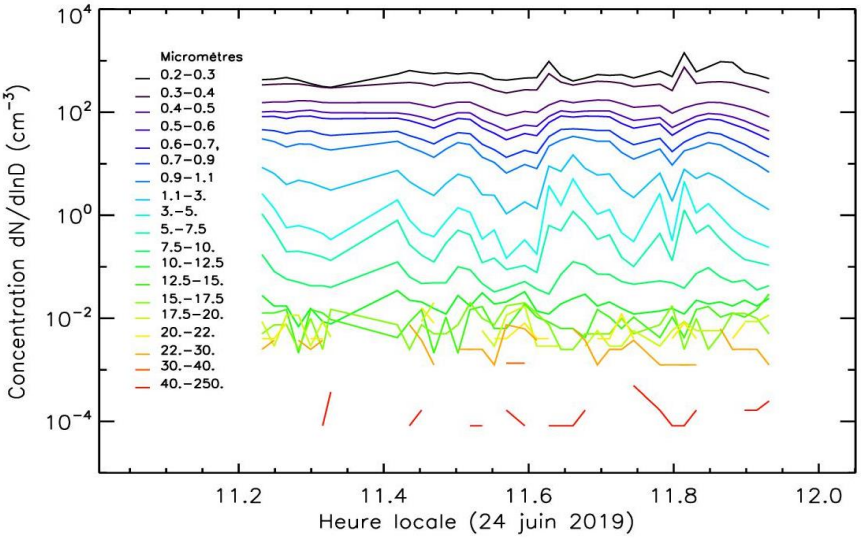

Figure 5 : Evolution temporelle pour les 19 gammes de taille de LOAC

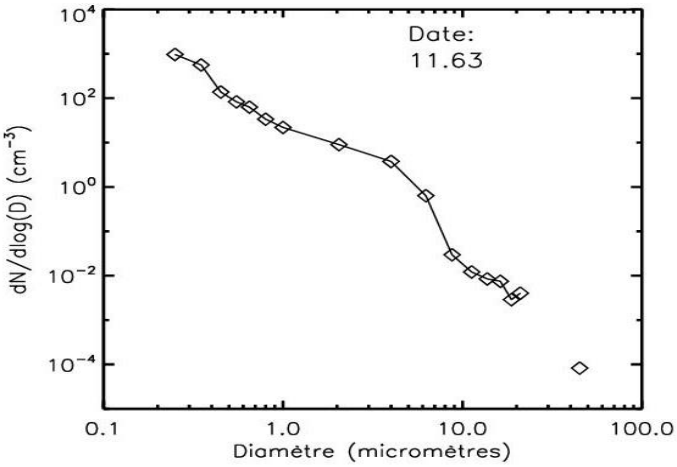

Figure 6 : Exemple de distribution en taille

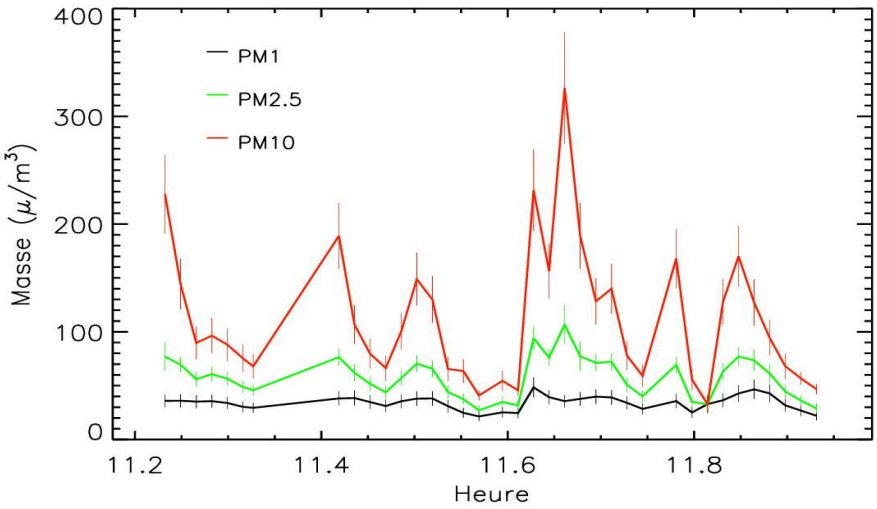

Figure 7 : Mesure de concentrations massiques à partir des données de LOAC

Mesures à la station Chatelet de la ligne 4

Les mesures ont été menées en fin de quai, direction Mairie de Montrouge. Les mesures sont un peu plus stables que dans le cas du RER, et aucune corrélation entre l'arrivée des rames et ces variations n'a été mise en évidence. La variabilité résiduelle pourrait provenir de la présence des usagers du métro sur le quai.

Les concentrations moyennes en nombre (Figure8 et 9) et en masse (Figure 10) pour les PM1 et les PM2.5 sont assez similaires à celles de la station Gare de Lyon et toujours très supérieures à celles de l'air extérieur. Par contre, celles en PM10 sont plus faibles que pour le RER quoique toujours assez élevées. La typologie des particules se rapproche de celles en air extérieur. A noter un excès en concentrations pour les particules supérieures à 10 µm par rapport aux mesures dans le RER, d'origine minérale, probablement lié au chantier à l'intérieur de la station.

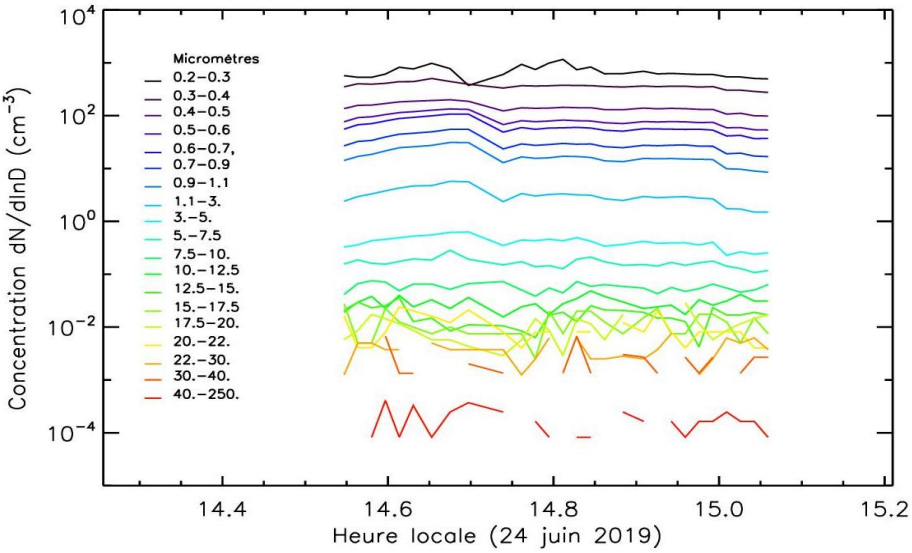

Figure 8 : Evolution temporelle pour les 19 gammes de tailles de LOAC

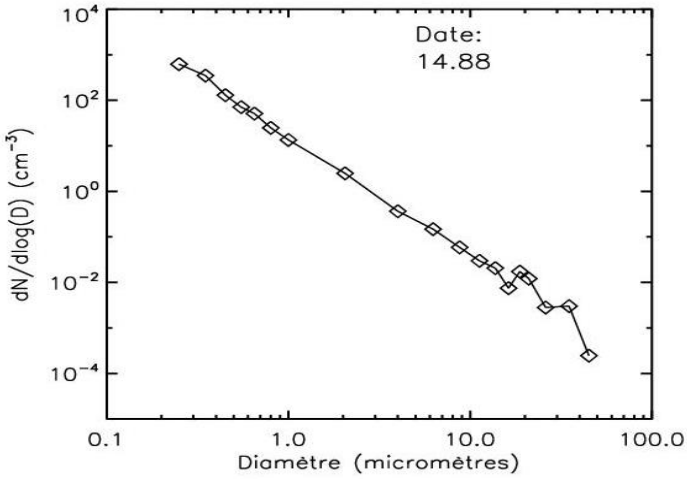

Figure 9 : Exemple de distribution en taille

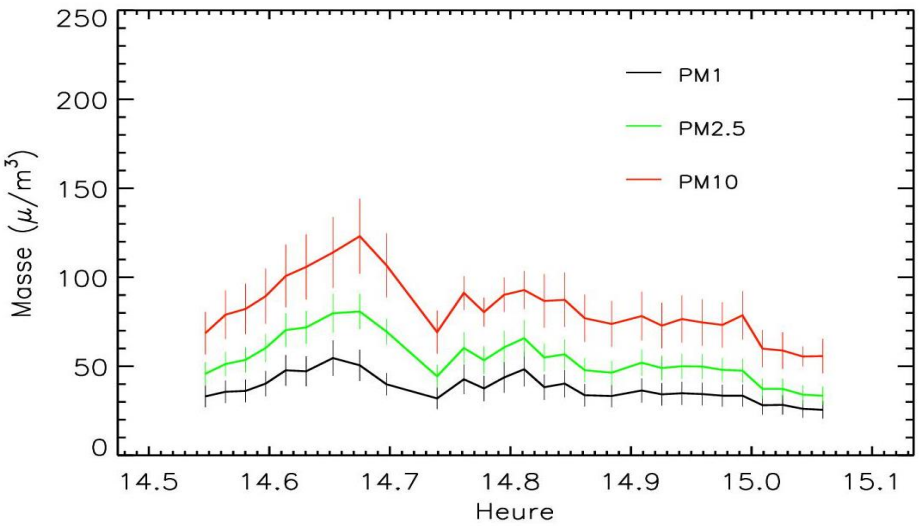

Figure 10 : Mesure de concentrations massiques à partir des données de LOAC

Mesures dans un couloir d'accès, à la station Cité de la ligne 4 et dans une rame

La dernière session de mesure est en trois parties. La première a été menée depuis une bouche d'entrée du métro place du Chatelet jusqu'aux couloirs d'accès la station de la ligne 4, puis à la station Cité de la ligne 4 en fin de quai direction Maire de Montrouge, et enfin à l'intérieur d'une rame de la ligne 10 entre Odéon et Gare d'Austerlitz.

La figure 11 présente l'évolution temporelle des concentrations dans ces différentes conditions, cette fois en mode 10 secondes car la première et la dernière session de mesures sont assez courtes. Les conditions dans l'entrée des couloirs du métro se rapprochent de celles de l'air extérieur. En revanche, sur le quai de la station, les concentrations augmentent fortement pour toutes les gammes de taille, avec parfois un excès supplémentaire vers 2 micromètres. Enfin les concentrations en particules inférieures à environ 10 µm semblent légèrement diminuer dans la rame par rapport à la station, tandis que celles de plus grandes tailles augmentent, probablement du fait des voyageurs dans la rame. Les granulométries de la figure 12 confirment cette analyse. Nous remarquons aussi un changement de la signature typologique des particules supérieures à quelques dixièmes de micromètres par rapport à l'air extérieur, indiquant comme dans le cas du RER la présence de particules optiquement très absorbantes.

La figure 13 montrent l'évolution pour les concentrations massiques. Nous retrouvons bien à l'entrée du métro les valeurs de l'air ambiant extérieur, tandis que les valeurs dans la station, qui est assez profonde, sont un plus élevées que celles pour la station Chatelet. Enfin, les valeurs dans la rame sont un peu plus faibles que celles dans la station Cité mais similaires à celles de la station Chatelet.

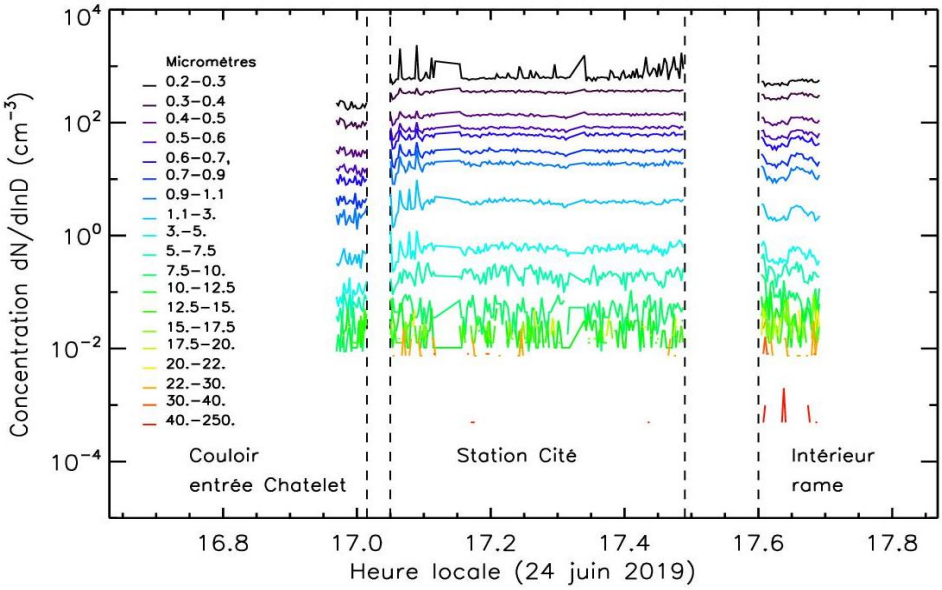

Figure 11 : Mesure de concentrations massiques à partir des données de LOAC

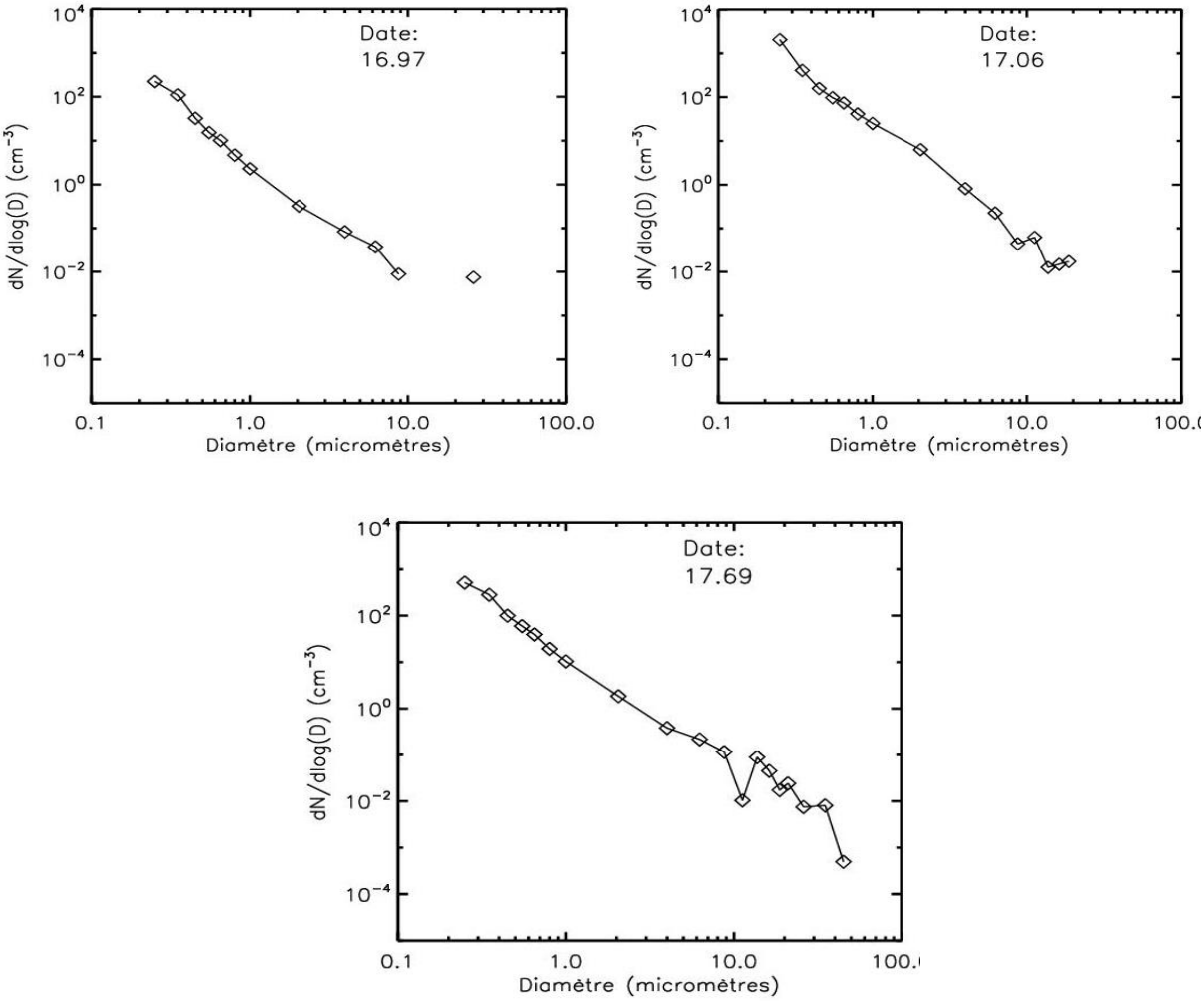

Figure 12 : Exemple de distribution en taille dans les couloirs d'accès (en haut à gauche), dans la station (en haut à droite) et dans une rame (en bas)

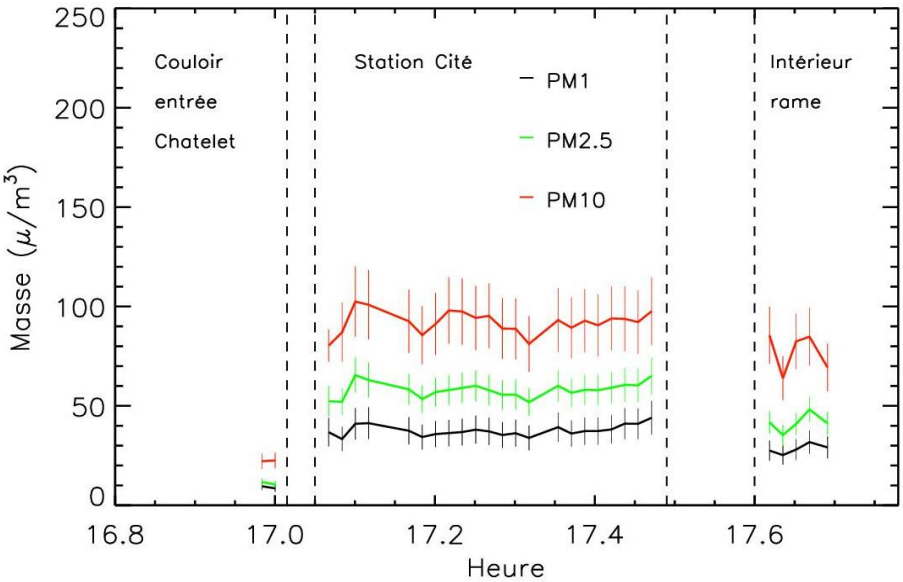

Figure 13 : Mesure de concentrations massiques à partir des données de LOAC

Conclusions

Cette campagne de mesure a permis de montrer que le LOAC est parfaitement adapté pour effectuer des mesures dans différents endroits du métro parisien. Il s'agit bien sûr de mesures préliminaires mais qui permettent déjà de dégager quelques tendances. L'air est nettement plus pollué en particules fines dans le métro que dans l'air ambiant extérieur. Dans le cas du RER, l'effet conjugué du freinage et des tunnels à voie unique pourrait souvent engendrer un nuage fortement concentré en particules fines qui se disperseraient ensuite dans la station. Dans le cas du métro, le contenu en particules semblerait plus sable, peut-être du fait d'un tunnel à deux voies permettant une répartition spatiale plus homogène des particules fines.

Bien sur de nouvelles sessions de mesures dans d'autres stations du métro seraient nécessaires pour confirmer ces hypothèses. Elles permettraient peut-être aussi de mettre en évidence une variabilité en fonction du type de rames de métro, des conditions de freinage et de la topologie des stations.