

USAGER DU MÉTRO : CE QUE VOUS DEVEZ SAVOIR SUR LA QUALITÉ DE L'AIR*

Teresa Moreno

Directrice de l'IDAEA (Institute of Environmental Assessment and Water Research), Barcelone

Fulvio Amato,

Chercheur permanent à l'IDAEA, Barcelone

* Article mis à jour à partir d'une publication initiale sur le site *The Conversation*¹



Métro de Tokyo, 2016. Mildiou/Flickr, © BY-SA

Teresa Moreno est la directrice de l'institut de recherche en sciences environnementales espagnol IDAEA (Institute of Environmental Assessment and Water Research). Elle a obtenu en 1999 un doctorat à l'Université de Cardiff (Royaume-Uni) sur la géochimie et la micro-minéralogie des éléments du groupe platine. Elle a travaillé en tant que chercheuse postdoctorale au Royaume-Uni avec des toxicologues sur la caractérisation physique et chimique des particules atmosphériques et leurs effets sur la santé. Elle a coordonné le projet européen IMPROVE LIFE et les projets METRO et BUSAIR sur l'amélioration de la qualité de l'air dans les métros et les bus publics en Espagne.

Fulvio Amato est chercheur permanent à l'IDAEA. Il a obtenu en 2010 un doctorat sur les émissions induites par la circulation hors gaz d'échappement et a travaillé aux Pays-Bas (TNO) en tant que chercheur postdoctoral. Il est également conseiller auprès d'organisations nationales et internationales (OMS, APE, OCDE, CEN, CEE-ONU) sur la qualité de l'air et la santé.

Plus de 120 millions de personnes à travers le monde prennent le métro chaque jour pour se rendre sur leur lieu de travail. Les Nations Unies ayant estimé qu'en 2050, 75 % de la population mondiale vivrait en ville, le nombre d'utilisateurs des métros est appelé à augmenter. Outre le rôle essentiel que jouent les métros dans la mobilité des citoyens, ce mode de transport peut aussi jouer un rôle clé dans la réduction de la pollution de l'air extérieur, en offrant une alternative aux véhicules individuels. Cependant, en réponse à l'intérêt grandissant des scientifiques et du public pour la qualité de l'air et son importance pour la santé humaine, plusieurs études ont révélé des niveaux inacceptables de particules inhalables (PM) dans les réseaux de métro. Le présent article passe en revue certaines de ces études et met leurs résultats en perspective par rapport aux directives de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) relatives à la concentration de particules fines dans l'air. Les auteurs identifient des facteurs qui contribuent à la pollution de l'air du métro. Ils formulent des recommandations destinées à aider les urbanistes et les usagers à limiter et se préserver de cette pollution.

INTRODUCTION

En 2017, le gouvernement indien annonçait l'ouverture de lignes de métro dans quatre villes majeures du pays. De l'autre côté de l'Himalaya, Shanghai construit sa quinzième ligne, dont l'ouverture est prévue en 2020, ajoutant 38,5 km et 32 stations au plus grand réseau de métro du monde. Quant aux New-Yorkais, ils peuvent enfin profiter de la ligne T, après l'avoir attendue près de 100 ans.

Rien qu'en Europe, on recense plus de 60 villes dans lesquelles le métro est utilisé pour les déplacements quotidiens. A travers le monde, plus de 120 millions de personnes se déplacent en métro. On compte environ 4,8 millions d'utilisateurs par jour à Londres, 5,3 millions à Paris, 6,8 millions à Tokyo, 9,7 millions à Moscou et 10 millions à Pékin.

Pour réduire les émissions atmosphériques en ville, l'utilisation des transports publics, plutôt que des transports individuels. Dans ce contexte, les métros sont une solution idéale.

Pour assurer les trajets dans des villes très peuplées, les métros sont essentiels, et ce toujours davantage à l'avenir : un rapport des Nations Unies publié en 2014 estime en effet que la moitié de la population vit désormais en ville. Les métros peuvent également contribuer à limiter la pollution de l'air extérieur dans les grandes métropoles, en remplaçant les véhicules motorisés. De grandes quantités de particules inhalables (matières en suspension ou matières particulaires, abrégées en PM) et de dioxyde

¹ <https://theconversation.com/commuting-by-subway-what-you-need-to-know-about-air-quality-82859>

d'azote (NO₂), produits entre autres par la circulation routière, le chauffage résidentiel et les émissions industrielles, sont responsables de la baisse de l'espérance de vie des citoyens. Les systèmes de transport public, comme les métros, semblent être une bonne solution pour réduire la pollution atmosphérique dans l'environnement urbain. Cependant, des études menées pour répondre aux préoccupations grandissantes de la communauté scientifique et du public vis-à-vis de la qualité de l'air ont révélé des niveaux inacceptables de matières en suspension dans les réseaux de métro.

En toute logique, étudier la qualité de l'air que nous respirons dans le métro, que ce soit sur les quais ou dans les voitures, est un enjeu essentiel.

UNE QUALITÉ D'AIR INÉGALE

Depuis une dizaine d'années, plusieurs études pionnières se sont penchées sur la qualité de l'air du métro dans des villes d'Europe, d'Asie et des États-Unis. Si la base de données est encore incomplète, elle s'étoffe peu à peu et présente déjà un intérêt.

Par exemple, en comparant la qualité de l'air sur un même trajet effectué en métro, bus, tramway ou à pied à Barcelone, l'air du métro affiche des niveaux de pollution atmosphérique plus élevés (concentrations de PM_{2,5} (43 µg/m³ : dans la fourchette 37-49 µg/m³) que l'air respiré en tramway ou à pied (29 µg/m³ : dans la fourchette 23-35 µg/m³), mais légèrement inférieurs aux niveaux du bus (45 µg/m³ : dans la fourchette 39-49 µg/m³)². De la même manière, des études réalisées à Hong Kong³, Mexico⁴, Istanbul⁵ et Santiago du Chili⁶ démontrent que l'air du métro est moins pollué que celui respiré par les usagers d'autres transports publics.

Ces différences proviendraient des matériaux utilisés dans les mécanismes de freinage et des différents systèmes d'aération et de climatisation. Toutefois, elles s'expliquent aussi par des décalages entre les protocoles de mesures et le choix des sites de prélèvement.

Dans certains cas, les concentrations de PM_{2,5} sur un quai peuvent dépasser 100 µg/m³ en moyenne quotidienne, ce qui montre la nécessité d'améliorer la qualité de l'air souterrain dans certaines stations. Toutefois, certaines stations de métro peuvent être remarquablement propres : les niveaux de PM_{2,5} sur les quais de la station Collblanc⁷ (26 µg/m³) de la ligne L9S à

Barcelone, par exemple, sont proches des limites européennes pour l'air extérieur. Ce résultat montre qu'il est tout à fait possible de respirer un air relativement pur, même dans l'espace confiné d'un réseau de métro.

DES EFFETS SUR LA SANTÉ

La qualité de l'air à l'intérieur du système ferroviaire souterrain n'est pas encore intégrée à la législation sur la qualité de l'air dans les villes. La réglementation actuelle de la Commission européenne exige que les autorités maintiennent les niveaux ambiants de PM_{2,5} dans l'air extérieur en dessous d'une moyenne annuelle de 25 µg/m³ (2008/50/EC). Les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) sont plus ambitieuses : elles préconisent une diminution progressive des niveaux de particules, de 35 µg/m³ jusqu'au niveau idéal de 10 µg/m³. Les particules du métro étant chimiquement différentes de la plupart des particules extérieures, une question évidente se pose : sont-elles plus toxiques que les particules inhalées en ville, notamment celles qui caractérisent l'air pollué par la circulation ? Selon certaines études, les particules du métro sont en effet relativement plus toxiques⁸, tandis que d'autres ne constatent pas de différence entre la bio-réactivité de l'air extérieur et celle de l'air du métro⁹. D'autres, enfin, signalent un potentiel oxydant (PO) plus élevé des PM de la circulation extérieure que de celles du métro¹⁰. Au vu de l'ensemble des études publiées jusqu'à présent, la pollution atmosphérique souterraine à laquelle s'exposent les usagers du métro ne serait pas plus toxique que celle produite par le trafic urbain de surface.

À ce jour, aucune indication épidémiologique claire ne révèle d'effets anormaux sur la santé des employés et les usagers du métro. Les ouvriers du métro de New York¹¹ ont été exposés à cet air sans que l'on ait observé d'effet significatif sur leur santé et il n'a pas été constaté d'augmentation du risque de cancer du poumon chez les conducteurs de métro de Stockholm¹². Toutefois, il faut rester prudent quant à ces conclusions car des niveaux plus élevés de marqueurs de risque de maladies cardiovasculaires ont été constatés chez les employés travaillant sur les quais du métro de Stockholm (où les concentrations de particules étaient les plus élevées) que chez les vendeurs de billets ou les conducteurs de train.

Plusieurs études ont révélé des niveaux inacceptables de particules inhalables (PM) dans certains réseaux de métro

2 Moreno et al., Urban air quality comparison for bus, tram, subway and pedestrian commutes in Barcelona. Environ. Res., 142, 495–510.

3 Chan, L., La u, W., Lee, S. et Chan, C. (2002). Commuter exposure to particulate matter in public transportation modes in HongKong. Atmos. Environ., 36(21), 3363–3373.

4 Gómez-Perales, et al., (2007). Bus, minibus, metro inter-comparison of commuters' exposure to air pollution in Mexico City. Atmos. Environ., 41, 890–901.

5 Onat, B. et Stakeeva, B. (2013). Personal exposure of commuters in public transport to PM_{2.5} and fine particle counts. Atmos. Pol. Res., 4, 329–335.

6 Suárez et al., (2014). Personal exposure to particulate matter in commuters using different transport modes (bus, bicycle, car and subway) in an assigned route in downtown Santiago, Chile. Environmental science. Processes & impacts. 16. 10.1039/c3em00648d.

7 Moreno et al. (2017). The effect of ventilation protocols on subway system air quality. Science of the Total Environment 584–585, 1317–1323.

8 Karlsson et al., (2006). Comparison of genotoxic and inflammatory effects of particles generated by wood combustion, a road simulator and collected from street and subway. Toxicol. Letters, 165, 203-211.

9 Spagnolo et al., (2015). Chemical Characterisation of the Coarse and Fine Particulate Matter in the Environment of an Underground Railway System: Cytotoxic Effects and Oxidative Stress—A Preliminary Study. Int. J. Environ. Res. Public Health 12, 4031-4046.

10 Janssen et al., (2014) (2014). Oxidative potential of particulate matter collected at sites with different source characteristics. Sci. Tot. Environ., 472, 572–581.

11 Chillrud et al., (2004). Elevated airborne exposures of teenagers to manganese, chromium, and steel dust and New York City's subway system. Environ. Sci. Technol., 38, 732–7.

12 Gustavsson et al., (2008). Incidence of lung cancer among subway drivers in Stockholm. Am. J. Ind. Med., 51, 545–7.



Travaux du métro de Second Avenue, New York, 2013. MTA Capital Construction/Rehema Trimiew/Wikimedia, © BY-SA

LE RÔLE DES ROUES ET DES FREINS

Une grande partie des particules provient des pièces mobiles du train (comme les roues et les plaquettes de frein) ainsi que des rails en acier et des matériaux d'alimentation électrique. En effet, ces particules contiennent surtout du fer. Elles sont mélangées à des particules provenant d'autres sources, dont le ballast rocheux de la voie, les aérosols biologiques (comme les bactéries et les virus) et l'air provenant de l'extérieur. Elles voyagent dans les tunnels, portées par les courants d'air générés par les trains et les systèmes de ventilation.

Les facteurs qui influencent la pollution de l'air dans le métro sont le type de freins (électromagnétiques ou classiques) et de roues (en caoutchouc ou en acier) utilisés dans les trains, mais aussi la profondeur à laquelle se trouvent les stations ou leur date de construction, le type de ventilation (naturelle/climatisation), la fréquence des trains et, plus récemment, la présence ou non de parois coulissantes entre le quai et la voie.

Une grande partie des particules provient des pièces mobiles du train (comme les roues et les plaquettes de frein) ainsi que des rails en acier et des matériaux d'alimentation électrique

DIFFÉRENTES CONFIGURATIONS, DIFFÉRENTS EFFETS

Le programme de mesure le plus complet jamais réalisé sur des quais de métro a été effectué à Barcelone : 30 stations de conceptions différentes ont été étudiées dans le cadre du projet IMPROVE LIFE¹³, avec le soutien complémentaire du Fonds AXA pour la Recherche.

Nous avons échantillonné un large éventail de lignes de métro et de types de stations. Nous pouvons en tirer plusieurs conclusions sur les types de stations de métro susceptibles d'avoir la meilleure ou la moins bonne qualité d'air dans un système donné.

Les stations de métro susceptibles d'afficher la plus mauvaise qualité d'air sont celles où le volume d'air est limité (les lignes à un seul tube avec un quai étroit), où les systèmes de ventilation sont peu performants ou mal conçus (surtout dans les stations situées en profondeur), qui ne sont pas équipées de parois coulissantes (qui pourraient préserver les usagers de l'air pollué du tunnel), où la topographie implique des changements de niveau et donc un freinage plus fort ou qui sont assez anciennes et remettent en suspension des années de particules polluantes.

¹³ L'objectif global du projet IMPROVE (Implementing Methodologies and Practices to Reduce air pollution Of the subway enVironmEnt, LIFE13 ENV/ES/263) consiste à tester des mesures permettant de réduire les concentrations de particules sur les quais et dans les trains, en tenant compte des variations de tous les facteurs clés : profondeur, ancienneté et conception des gares, type de ventilation, type de freins, fréquence des trains et présence ou non de parois coulissantes. Le projet mesure également la qualité de l'air à l'intérieur des voitures. <http://improve-life.eu/>



En fonction des matériaux de construction utilisés, les usagers des différents métros à travers le monde respirent différents types de particules.
Métro de Londres/Wikimedia, © BY-SA

Les stations de métro ayant la meilleure qualité d'air sont généralement les plus grandes et/ou les plus récentes, celles où les échanges avec l'air extérieur des rues est efficace (à condition de ne pas provenir des nœuds de circulation en ville), équipées de parois coulissantes sur toute la longueur des quais, avec une trajectoire droite et horizontale qui évite l'usure des roues et des freins.

Les stations dotées d'un seul tunnel, à une seule voie séparée du quai par des parois vitrées, présentaient en moyenne moitié moins de particules que les stations classiques, sans paroi entre le quai et les voies. Il a été démontré que l'utilisation de la climatisation permettait de limiter la concentration des particules à l'intérieur des wagons. De plus, la qualité de l'air des quais du métro est fortement influencée par le réglage du système de ventilation des tunnels (plus ou moins puissant) et varie s'il est introduit par impulsion ou évacué par extraction. En passant d'un système d'impulsion depuis la plateforme à un système d'extraction plus puissant depuis le tunnel, les particules inhalables ambiantes augmentent immédiatement, en particulier le nombre des particules les plus fines (submicroniques), celles-ci étant probablement aspirées du tunnel vers la plate-forme.

Dans les trains où il est possible d'ouvrir les fenêtres, comme à Athènes, les concentrations augmentent lors du passage dans les tunnels, notamment quand les trains entrent dans les tunnels à grande vitesse.

CONTRÔLE DES STATIONS ET AUTRES RECOMMANDATIONS

Bien qu'il n'existe aucune réglementation pour contrôler la qualité de l'air dans l'environnement du métro, il serait utile d'orienter les recherches vers des méthodes réalistes d'atténuation de la pollution particulière. D'après notre expérience dans le métro de Barcelone, où les stations et les systèmes de ventilation sont très variés, chaque station est un micro-environnement atmosphérique spécifique.

Pour concevoir des solutions, il faut donc tenir compte des conditions locales de chaque station. À partir de là, les chercheurs peuvent évaluer l'influence de la pollution générée par les pièces mobiles des trains. Ces recherches se développent de plus en plus, car les compagnies de transport sont désormais plus sensibles à l'importance d'un air de qualité pour la santé des usagers.

Voici quelques pistes à prendre en compte pour améliorer la qualité de l'air dans l'environnement du métro :

- On décèle dans l'air du métro les éléments ferreux issus des pièces mobiles des trains, ce qui soulève la question suivante : ces matériaux sont-ils aussi peu dangereux que possible ? Certains métaux identifiés - manganèse, cuivre, antimoine et chrome - sont connus pour produire des effets toxiques chez l'homme, c'est pourquoi nous demandons instamment que soient poursuivies les recherches sur la toxicité des particules polymétalliques inhalables par friction, en particulier celles qui proviennent des freins et des systèmes caténaires contenant du cuivre.
- La nuit, quand ni les trains ni les systèmes d'aération des quais ne fonctionnent, la qualité de l'air des quais s'améliore quand les ventilateurs des tunnels fonctionnent à faible puissance, que ce soit par impulsion ou par extraction. La diminution des déplacements de l'air, induite par la faible puissance du ventilateur et à l'absence d'effet de piston des trains, permet vraisemblablement aux particules de se déposer. Une diminution de la vitesse des trains sur les lignes présentant des courbes abruptes et des pentes marquées devrait permettre de réduire les émissions de particules chargées en fer.
- Le contrôle des échanges entre les masses d'air extérieur et souterrain peut être effectué avec des systèmes de ventilation intelligents, qui évitent de s'approvisionner en air issu des nœuds de circulation de la ville, après une réflexion approfondie sur les emplacements et la conception des grilles de ventilation extérieure, selon les principes suivants : impulsion de l'air extérieur vers les quais pendant les heures de circulation du métro, ventilation des quais à des fréquences supérieures à 25 Hz, extraction forcée de l'air extérieur au tunnel pendant les heures de service et systèmes de climatisation dans les trains.
- L'utilité des purificateurs d'air dépend de la distance avec les passagers et du débit.
- Parois coulissantes sur le quai : les lignes de métro modernes sont équipées de parois coulissantes, principalement pour la sécurité des voyageurs. Toutefois, celles-ci présentent aussi l'avantage de réduire les transferts d'air pollué des tunnels vers les quais, en particulier des particules inhalables de dimension assez importante.
- Entretien nocturne : certaines bonnes pratiques permettent de réduire le taux d'émission de poussières, comme un nettoyage le plus tôt possible dans la soirée et le recours à un dépoussiérant (eau et/ou polymère anti-resuspension) lors de la pose du ballast.

La pollution atmosphérique souterraine à laquelle s'exposent les usagers du métro ne serait pas plus toxique que celle produite par le trafic urbain de surface