

# CARTES EN HAUTE RESOLUTION SPATIALE DES PM2.5 A PARTIR DES CAPTEURS MOBILES DU RESEAU POLLUTRACK : L'EXEMPLE DE PARIS

J.-B. Renard\*<sup>1</sup>, C. Marchand<sup>2</sup> et E. Poinel<sup>2</sup>

<sup>1</sup>Laboratoire de Physique et Chimie de l'Environnement, CNRS, 45000 Orléans Ville, France

<sup>2</sup> Pollutrack SAS, 75020 Paris, France,

\*Courriel de l'orateur : jean-baptiste.renard@cnrs-orleans.fr

## TITLE

**High spatial resolution mapping of PM2.5 using mobile sensors of the Pollutrack Network**

## RESUME

Il devient indispensable de surveiller avec précision les PM2.5 qui ont des effets néfastes sur la santé humaine. En complément du suivi effectué par des instruments (microbalances) fixes installés sous obligation réglementaire, nous proposons d'utiliser le réseau Pollutrack de capteurs mobiles. Les mesures sont effectuées par des compteurs d'aérosols mobiles montés sur le toit de véhicules, voitures et utilitaires, le plus souvent électriques, fournissant une série constante de mesures dans la plage de taille de 0,3 à 10 µm, et qui sont ensuite agrégées pour identifier les concentrations massiques en PM2.5. Les performances des capteurs Pollutrack ont été analysées, donnant une incertitude de l'ordre de 5 µg.m<sup>-3</sup>. Des cartes à partir de mesures à hauteur de respiration avec une résolution spatiale jusqu'à 100 m peuvent désormais être produites chaque jour pour Paris. Ces cartes Pollutrack ont fréquemment montré une forte hétérogénéité spatiale où le nord et l'est de Paris sont plus pollués que l'ouest et le sud. Ces « points chauds » pourraient être dus à la topologie de la ville et à la direction et l'intensité du vent dominant. Le réseau Pollutrack est à présent déjà déployé dans plus de 30 capitales et grandes métropoles européennes, en partenariat étroit avec DPD (Groupe La Poste), leader européen de la livraison de colis. Ces cartes à haute résolution seront utiles aux autorités compétentes pour réagir de manière appropriée, voire proactive et préventive, aux sources locales de pollution et pour améliorer la compréhension de l'origine, la formation secondaire et le transport des particules urbaines.

## ABSTRACT

There is a clear need for accurate monitoring of PM2.5 that deeply affects human health. In addition to the monitoring performed by fixed microbalance instruments installed under legal obligation, we have used the Pollutrack network of mobile sensors. Measurements are performed by mobile aerosol counters mounted on the roof of cars, providing a constant series of readings in the 0.3-10 µm size range that are then aggregated to identify areas of PM2.5 mass concentrations of pollution. The performance of the Pollutrack sensors has been duly established, giving an acceptable uncertainty of about 5 µg.m<sup>-3</sup>. Maps built from measurements with a spatial resolution down to 100 m can now be produced each day for Paris. These Pollutrack maps recorded during different PM2.5 pollution conditions in the city frequently identified a strong spatial heterogeneity where the North and the East of Paris were more polluted than the West and the South. These "hot spots" could be due to the city topology and to the predominant wind direction and intensity. Now, the Pollutrack network is deployed in over 30 capitals and major cities across Europe, in partnership with the DPD company (European leader in parcel delivery).. These high-resolution maps will be useful to the relevant authorities to respond appropriately to local sources of pollution and to improve the understanding of sources, secondary formation and transportation of urban particulate matters PM.

**MOTS-CLES :** pollution, PM2.5, villes, carte / **KEYWORDS:** pollution, PM2.5, cities, mapping

## 1. INTRODUCTION

Une mesure précise de la pollution atmosphérique par les particules urbaines est indispensable du fait de leurs conséquences en santé publique (Pope *et al.*, 2002 ; Maesano *et al.*, 2020). Les plus petites particules peuvent pénétrer profondément dans le corps et être retrouvées dans divers organes (Monteiller *et al.*, 2007). Les nouvelles recommandations de l'OMS (Organisation Mondiale de la Santé) émises fin 2021 pour les concentrations massiques de PM2.5 donnent une valeur annuelle moyenne inférieure à 5 µg.m<sup>-3</sup> et une valeur quotidienne maximale inférieure à 15 µg.m<sup>-3</sup>. Nombre de grandes villes, et notamment Paris, sont encore loin de ces valeurs. Un rapport de l'ICCT (International Council on Clean Transportation) a montré qu'en 2015 Paris avait le neuvième pourcentage le plus élevé de décès dus à la pollution atmosphérique attribuable aux transports.

La région parisienne se caractérise par une industrie relativement faible, mais avec un trafic intense et des activités agricoles commençant à quelques dizaines de kilomètres de Paris. Les conditions de fond urbaines en région parisienne sont déterminées par le transport de polluants sur de longues distances à l'échelle régionale, représentant jusqu'à 70% de la concentration massique de PM2.5 (Ghershi *et al.*, 2010). D'autre part, les sources locales de particules primaires sont dominées par les émissions de la circulation et par le chauffage résidentiel en hiver, comme dans de nombreux autres environnements urbains (Colville *et al.*,

2001). La distribution spatiale des concentrations en particules peut varier considérablement en fonction de la répartition des sources locales et de la dispersion de la masse d'air induite par la topographie urbaine. Ceci nécessite donc d'être étudié plus en détail pour évaluer avec précision l'exposition locale de la population à la pollution.

La concentration en particules est mesurée en permanence par des réseaux de qualité de l'air qui fournissent les concentrations massiques en PM<sub>10</sub> et PM<sub>2.5</sub> à l'aide de microbalances ou d'instruments équivalents. Ces mesures sont réalisées par Airparif dans la région de l'Île de France, d'une superficie de 12000 km<sup>2</sup>, avec 17 stations de mesure pour les PM<sub>2.5</sub> (et seulement 5 dans Paris, pour une superficie de 105 km<sup>2</sup>). Cette technique réglementaire fournit de bonnes estimations globales de la présence des particules les plus grosses, mais ne peut pas donner un aperçu des fluctuations locales à l'échelle d'un quartier voire d'une rue (effet canyon), ni fournir précisément les concentrations relatives de particules submicroniques. Par conséquent, des mesures complémentaires sont être nécessaires, comme celles issus des capteurs du réseau Pollutrack.

## 2. CAPTEURS MOBILES POLLUTRACK

Les capteurs Pollutrack sont basés sur le principe d'un petit compteur optique de particules. Les particules sont insufflées en flux homogène à l'intérieur d'une chambre optique où elles traversent un faisceau laser. L'intensité de la lumière diffusée est liée à la taille des particules. L'instrument fournit toutes les secondes la concentration en nombre de particules dans les gammes de taille 0,3-0,5 µm, 0,5-1 µm, 1-2,5 µm, 2,5-5 µm et 5-10 µm ; ces comptages sont convertis en concentrations massiques pour les PM<sub>2.5</sub> et PM<sub>10</sub> en utilisant des étalonnages internes.

Les capteurs sont montés sur le toit des véhicules professionnels (figure 1) de 3 grands partenaires qui ont des flottes circulant dans presque toutes les rues de Paris et sa petite couronne. Ces partenaires sont : Enedis, le distributeur public national d'électricité ; DPDgroup, le plus grand service européen de livraison de colis ; et Marcel Cab (ex Renault), apportant une flotte de taxis électriques compacts . Pour évaluer l'éventuelle perte de sensibilité des capteurs ou des défaillances techniques, des stations fixes avec les mêmes capteurs mais en triple redondance pour garantir l'exactitude de la donnée sont installées à différents endroits tels que les dépôts de véhicules, ce qui permet une vérification pluri-quotidienne des instruments.

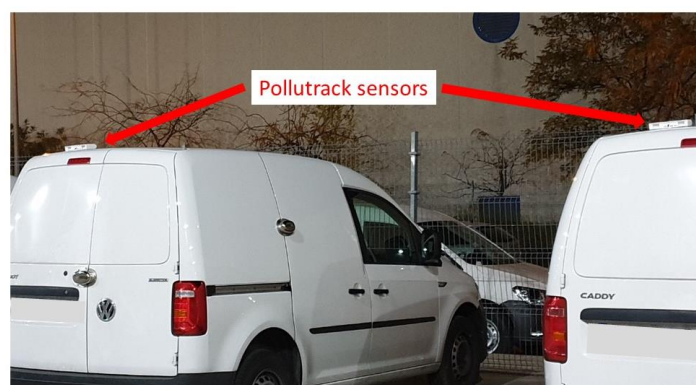


Figure 1. Capteur Pollutrack sur le toit d'un véhicule

Des tests ont été menés pour trouver le meilleur positionnement de l'instrument sur le toit de la voiture. Les capteurs sont orientés dans le sens inverse du mouvement du véhicule. L'entrée des capteurs Pollutrack a été conçue pour offrir son meilleur rendement pour des particules de quelques µm et pour une vitesse relative allant jusqu'à 50 km.h<sup>-1</sup>. Par conséquent, le système mobile Pollutrack est principalement conçu pour l'estimation de la concentration massique de PM<sub>2.5</sub> en condition de circulation urbaine

Un travail d'intercomparaison avec un autre compteur optique (le LOAC) et les stations fixes d'Airparif a été mené afin d'évaluer la précision des capteurs Pollutrack. Une incertitude de l'ordre de 5 µg.m<sup>-3</sup> a été établie (Renard *et al.*, 2021), pas très éloignée des instruments réglementaires (3 µg.m<sup>-3</sup>)

## 3. CARTES DE POLLUTION AUX PM<sub>2.5</sub> POUR PARIS

La grande quantité journalière de mesures obtenues à partir de plusieurs centaines de véhicules permet d'appliquer une approche statistique pour produire des cartes de pollution. Les mesures, moyennées dans des carrés de 100 m de côté, permettent d'analyser les différentes conditions de pollution rencontrées tout au long de l'année. Quelques exemples sont présentés ci-dessous. La figure 2 montre la carte lors d'une situation de faible pollution, le 1er juillet 2020 (les zones grises correspondent à l'absence de mesures). Les valeurs les plus élevées sont obtenues pour certaines parties du périphérique parisien, certaines autoroutes sortant de

Paris, et localement dans certaines rues et carrefours. Néanmoins, à l'intérieur de Paris, les valeurs restent faibles et relativement homogènes.



Figure 2. Carte de pollution du 1 juillet 2020

La situation est différente pour un pic de pollution modérée, par exemple entre le 25 et le 27 novembre 2020 (figure 3). La carte montre une forte variabilité locale à l'échelle de quelques centaines de mètres, avec des minima vers  $10 \mu\text{g.m}^{-3}$  et des maxima jusqu'à  $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ . Cette variabilité révèle l'existence de points chauds dus à des sources locales ainsi qu'à la typologie de la ville. Des rues canyons sont mises en évidence, provenant d'une forte variabilité de la ventilation des axes routiers en fonction de leurs orientations.



Figure 3. Carte de pollution du 25-27 novembre 2020

Toutes ces cartes peuvent aussi être moyennées afin de mettre en évidence l'hétérogénéité de la pollution aux PM2.5, et donc d'identifier les quartiers les plus problématiques. La figure 4 montre la moyenne pour les concentrations totales en nombre entre juin et septembre 2022. Nous mettons en évidence la présence d'un fond moyen de pollution toujours plus élevé dans le nord-est de Paris, probablement lié à la configuration de la ville, les vents dominants et la production d'aérosols secondaires.

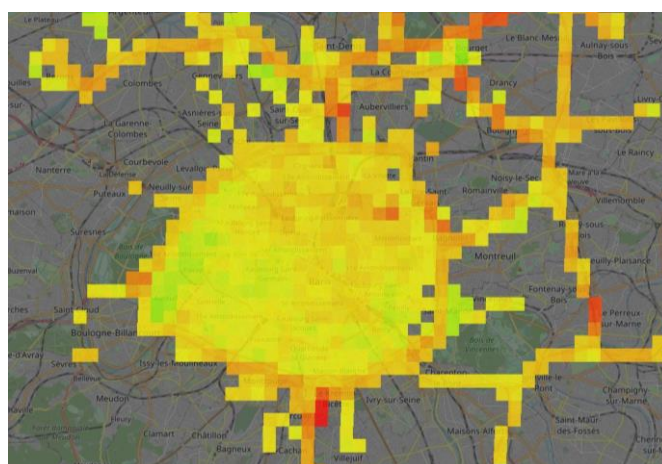


Figure 4 Moyenne des carte de pollution de juin à septembre 2022 (mesures en nombre, indications en relatif : en vert, les zones les moins polluées, en rouge, les zones les plus polluées)

#### 4. CONCLUSIONS

Les cartes en haute résolution spatiale obtenues à Paris avec les capteurs mobiles Pollutrack ont montré l'hétérogénéité de la pollution aux PM<sub>2.5</sub>, qui est due à la topologie de la ville et à sa sensibilité au vent. Le nord et l'est de Paris, ainsi que le périphérique, sont souvent plus pollués que l'ouest. Ces cartes peuvent aider les autorités politiques à limiter le trafic dans les « points chauds » pour réduire la pollution locale qui affecte les citoyens (par exemple à proximité des écoles), et contribuer à la délimitation et au suivi des zones à faibles émissions. Elles peuvent aussi être utilisées pour améliorer les connaissances sur le transport des particules de pollution en zone urbaine, et pour redéfinir les meilleurs endroits où installer les stations de surveillance de la qualité de l'air.

Cette stratégie de mesures est maintenant menée dans une trentaine de villes européenne (les capteurs sont installés sur les véhicules de DPD qui, en raison de l'effet Covid sur le eCommerce, est devenu le premier service européen de livraison des colis). De telles mesures pourraient être utilisées à l'avenir pour améliorer les cartes européennes de pollution aux PM<sub>2.5</sub> produites actuellement par les agences de la qualité de l'air.

#### 5. RÉFÉRENCES

- Colvile, R.N., Hutchinson E.J., Mindell J.S., Warren R.F. (2001) *Atmos. Environ.* 35, 1537–1565.
- Gherzi, V., Rosso, A., Moukhtar, S., Lameloise, P., Sciare, J., Bressi, M., Nicolas, J., Féron, A., Bonnaire, N. (2010) *Pollution. Atmos. Special Number*, 63–72.
- Maesano, C.N., Morel, G., Matynia, A., Ratsombath, N., Bonnetty, J., Legros, G., Da Costa, P., Prud'homme, J., Annesi-Maesano (2020) *Sci. Total Environn.* 698, 134257.
- Monteiller, C., Tran, L., MacNee, W., Faux, S., Jones, A., Miller, B., Donaldson, K. (2007) *Occup. Environ. Med.* 64, 609–615.
- Pope, C.A., Burnett, R.T., Thun, M.J., Calle, E.E., Krewski, D., Ito, K., Thurston, G.D. (2002) *J. American Med. Assoc.* 287, 1132–1141.
- Renard, J.-B., Marchand, C. (2021) *Atmosphere* 12, 529.