

## Pollution particulaire fine à Paris de janvier à juin 2020: six mois de variations sous influences diverses et parfois exceptionnelles

Gilles Dixsaut<sup>1</sup>, Jean-Baptiste Renard<sup>2</sup>, Christophe Marchand<sup>3</sup>

1. Fondation du souffle contre les maladies respiratoires. **M:** gilles.dixsaut@free.fr
2. Directeur de recherche. Laboratoire de physique et de chimie de l'environnement et de l'espace, CNRS Orléans.
3. Directeur de recherche et développement, Planet Watch.

La période de confinement généralisé, du 17 mars au 11 mai 2020 est a priori très favorable à une étude de la pollution atmosphérique puisque la circulation automobile et les activités économiques dans Paris ont été extrêmement réduites. Mais les choses ne sont pas si simples.

Nous nous sommes intéressés aux particules fines (PM1), c'est-à-dire les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 1 $\mu$ , car ces particules, à la différence des particules grossières (PM10) pénètrent profondément dans l'appareil respiratoire et sont susceptibles de passer dans la circulation sanguine.<sup>1</sup> Les particules ultrafines d'un diamètre inférieur à 0,1 $\mu$  peuvent passer dans la circulation et se retrouver dans l'ensemble des organes; cependant, les techniques de mesures actuelles ne permettent pas de réaliser aisément en routine des mesures sur le terrain de ces particules ultrafines. Nous mesurons ici le nombre de particules par unité de volume et non pas la masse de particules par unité de volume. En effet ce comptage en masse est essentiellement représentatif des grosses particules, les plus fines ayant une masse négligeable, bien qu'ayant une surface développée importante et donc un effet biologique important.<sup>2</sup>

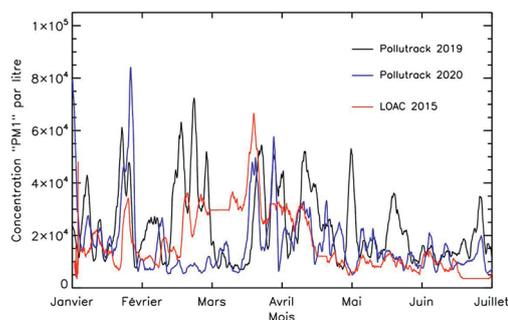
### Capteurs mobiles sur véhicules (Pollutrack) et ballon du parc Citroën

La mesure est réalisée à l'aide de compteurs optiques mobiles ou fixes. D'une part, Pollutrack, système de capteurs mobiles installé sur des véhicules électriques circulant dans Paris et sa banlieue (500 véhicules Enedis, 100 taxis Marcel, 100 DPD Chronopost). La couverture est faite 24 heures sur 24, chaque véhicule en circulation envoyant une mesure toutes les 10s (plus de 200 millions de données brutes sur la période). Il s'agit de capteurs optiques permettant la mesure de particules fines de 0,3 à 10 $\mu$ . La valeur utilisée dans nos calculs est la moyenne horaire de l'ensemble des mesures réalisées par les différents capteurs en circulation. Ces capteurs sont réétalonnés chaque jour au démarrage du véhicule par rapport à un capteur de référence et un contrôle qualité par interaction en boucle entre les capteurs mobiles et les stations fixes. L'intérêt de ce système est surtout d'offrir des mesures comparatives par rapport à des références plus

que des valeurs absolues. Ce dispositif a fait l'objet d'une validation métrologique, par rapport à des capteurs de référence. Les partenaires du dispositif Pollutrack sont: Planet Watch (développeur des capteurs et intégrateur), la mairie de Paris, la Fondation du souffle, Airparif, Enedis Taxis Marcel et DPD pour le support des capteurs mobiles.

D'autre part, le Light Optical Aerosols Counter (LOAC) du LPC2E du CNRS installé sur le ballon du parc André Citroën, sur la rive gauche de la Seine, qui fournit le comptage des particules de 0,2 à 50 $\mu$ , à la fois au sol et jusqu'à 300 m d'altitude<sup>3</sup> ainsi qu'une estimation de la typologie des particules permettant d'en connaître l'origine.<sup>4</sup> Le site de mesure se situe à distance de la circulation automobile, ce qui explique que les valeurs de concentration relevées soient généralement inférieures aux valeurs relevées au sein de la circulation. En outre, situé au sud-est de Paris, ce site est moins affecté par les pollutions particulières secondaires liées au trafic, qui compte tenu de la direction préférentielle des vents, affectent plus le secteur nord-est de Paris.

Nous nous intéresserons ici uniquement à la concentration des particules de 0,5 à 1 $\mu$  exprimée en nombre de particules par décimètre cube (litre), en comparant les périodes d'intérêt de 2015, 2019 et 2020 sur l'ensemble de la période 1<sup>er</sup> janvier-30 juin.



### Janvier: feu d'artifice et épandages agricoles

L'analyse du mois de janvier 2020 nous montre un très fort pic de pollution qui s'étend du 31 décembre à la matinée du

1<sup>er</sup> janvier. C'est simplement la conséquence des festivités du 31 décembre et notamment du feu d'artifice dont la pollution va persister en raison d'un vent faible. Ensuite en janvier on observe chaque année un épisode de pollution particulaire vers la fin du mois. Cette période correspond à la période de fin d'autorisation d'épandages de lisiers et de fumiers de volailles sur des terres agricoles qui en cette saison sont nues. Ces épandages ont pour conséquence la libération d'ammoniac dans l'atmosphère. Cette libération est souvent visible au petit matin par temps frais sous la forme d'une brume bleutée au-dessus des champs. Cette libération d'ammoniac va avoir pour conséquence la formation d'une pollution particulaire secondaire par recombinaison au niveau régional avec le NO<sub>2</sub>, issu notamment du trafic routier, du chauffage et des activités industrielles.<sup>1</sup> Cette pollution particulaire constituée de nitrate d'ammonium prend initialement la forme d'une pollution ultrafine nanoparticulaire. Par des phénomènes d'agréga-tions particulaires, ces nanoparticules dont le poids est négligeable, vont grossir pour constituer des particules de plus en plus grosses lorsque le vent est faible. On va les retrouver ensuite sous forme de particules PM1 puis éventuellement sous forme de particules PM 10 si elles n'ont pas été dispersées par le vent. Cette pollution secondaire ne donne lieu qu'à peu d'action des pouvoirs publics, puisque l'action des pouvoirs publics est fondée sur les PM 10, fin de la chaîne d'évolution des particules secondaires par agrégation lorsqu'elles sont devenues moins dangereuses. Leur masse totale est devenue inférieure aux valeurs limites qui donnent lieu à information du public ou à des limitations de circulation, qui de toute façon, n'auraient plus aucun effet,<sup>2</sup> comme c'est toujours le cas lors des épisodes de pollution secondaire. Cette pollution secondaire est parfaitement vue lorsque l'on mesure les PM1 ou les PM 0,1 mais pas lorsqu'on mesure les PM10, comme le veut la réglementation. Il n'en demeure pas moins qu'il s'agit d'une pollution particulaire ayant un effet défavorable sur la santé, surtout au stade initial nanoparticulaire.

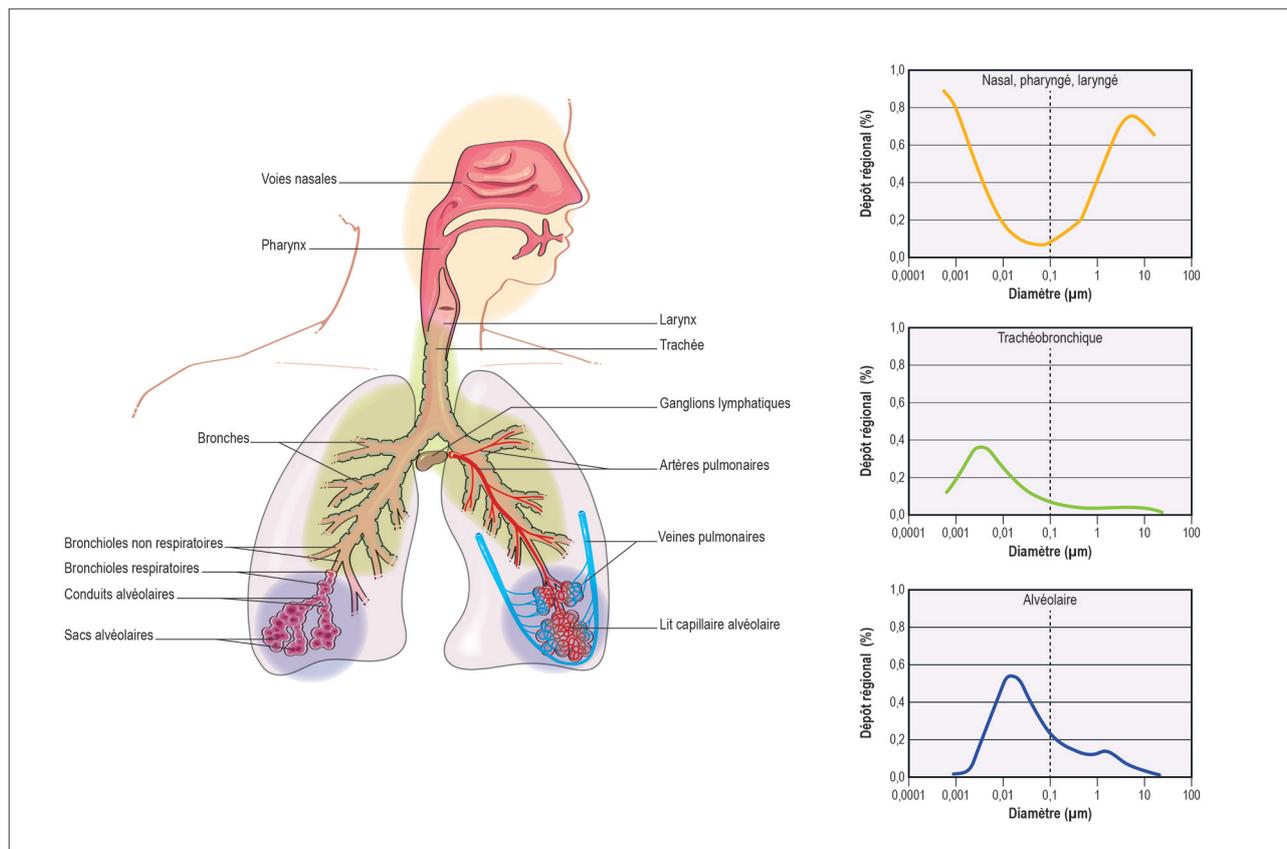
### Février : vents forts exceptionnels balayant le ciel

Le mois de février est particulièrement intéressant. En 2020 le niveau de pollution est resté particulièrement faible. Si on utilise un indicateur grossier qui est la moyenne de toutes les valeurs horaires de concentration particulaire du mois de février, on obtient pour février 2020, 982 particules par décimètre cube, contre 3422 particules par décimètres cubes en février 2019, période au cours de laquelle on avait observé plusieurs pics successifs de pollution particulaire. La cause n'est pas à rechercher dans les sources de pollution, mais dans un phénomène météorologique exceptionnel : 11 tempêtes ont traversé la France entre le début du mois de février et le début du mois de mars 2020.<sup>5</sup> En 2020, ces tempêtes ont balayé la pollution particulaire conduisant jusque dans les premiers jours du mois de mars à une situation exceptionnelle en termes de pollution atmo-

sphérique. Toute comparaison avec la pollution observée durant cette période serait donc sans fondement.

### Mars/avril : résultats contre-intuitifs au moment du confinement

Le mois de mars 2020 est également très intéressant, dans la mesure où on observe en matière de pollution particulaire PM1 des résultats contre-intuitifs. On observe à partir du 18 mars, c'est-à-dire dès le début du confinement un épisode de forte élévation de la concentration particulaire dans la gamme 0,5-1 micromètre, même si le niveau global des concentrations des particules inférieures à 0,5 micromètre diminue significativement. Cet épisode va se poursuivre avec des fluctuations horaires notables jusqu'à la fin du mois de mars. Ces mesures indiquent un changement dans la taille et la nature des particules (particules carbonées avant le confinement, particules de sels d'ammonium durant le confinement). Contrairement à cette élévation sensible de la concentration particulaire, la concentration en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) va elle sensiblement diminuer.<sup>6</sup> Les deux phénomènes ne sont pas directement liés. La diminution des émissions de NO<sub>2</sub> est liée en grande partie à la diminution du trafic routier urbain par des véhicules diesels qui représentent l'une des principales sources d'émission de NO<sub>2</sub>, y compris par les véhicules diesels les plus récents dont les systèmes de dépollution n'atteignent pas une température suffisante pour être efficaces sur de courts trajets urbains. Une autre cause de diminution de la production de NO<sub>2</sub> est la diminution d'activités notamment en relation avec des engins de chantiers à moteur diesel. Par contre l'augmentation de la pollution particulaire détectée par Pollutrack dans la gamme 0,5-1 micromètre est liée à l'autorisation donnée par les préfets de la région Île-de-France de réaliser des épandages agricoles de fertilisants azotés. Cette période correspond également au plan météorologique à une situation anticyclonique stable, c'est-à-dire un vent faible sur l'ensemble de la région. Cet ensemble de conditions était favorable au développement d'une pollution particulaire secondaire par interaction entre l'ammoniac dégagé par ces épandages et le NO<sub>2</sub> rémanent, issu en particulier du trafic routier péri urbain (camions). Malgré le confinement, la concentration particulaire PM1 atteint des niveaux comparables à ceux de la même période de 2019 avec une circulation normale. On peut penser que s'il n'y avait pas eu de confinement donc de limitation de la circulation, la concentration particulaire aurait atteint, voire dépassé la valeur « historique » de la même période de 2015. Cette période anticyclonique n'était pas favorable à l'autorisation d'épandages agricoles de fertilisants. Si on compare la période du 17 au 29 mars 2020 à la même période de 2019, on constate que la concentration particulaire horaire moyenne était plus élevée en 2020 avec confinement (3472/dm<sup>3</sup>) qu'en 2019 sans confinement (3315/dm<sup>3</sup>). Aucune information publique n'a été faite sur ce niveau élevé de pollution particulaire fine (et, il est bien évident qu'une décision de réduction de la circulation, déjà très réduite, n'aurait eu aucun



Les particules les plus grosses (supérieures à 2 μ en bleu) se déposent préférentiellement dans les voies aériennes supérieures d'où elles sont éliminées par le mucus, de même que les particules ultrafines de taille nanométrique, d'où elles peuvent passer dans la circulation et dans le cerveau à travers la lame criblée. Le dépôt dans l'arbre trachéo bronchique concerne surtout les particules inférieures à 0,1μ (vert). Le dépôt alvéolaire concerne surtout également les particules inférieures à 0,1μ (rouge). La gamme 0,5 μ à 1 μ qui est notre domaine de mesure se trouve dans un «trou» de filtration et de captation, d'où un effet sanitaire majeur, ces particules circulant librement dans les voies aériennes.

effet). Cette absence d'information et de décision d'action est liée au fait que les valeurs normatives sont exprimées en masse et non en nombre. On peut donc avoir une pollution particulaire intense et aucune action si cette pollution est constituée de particules fines ou ultrafines, c'est-à-dire les plus dangereuses.

Début avril 2020, une dégradation des conditions météorologiques et la fin des épandages agricoles ont conduit à une diminution sensible de la pollution particulaire avec des niveaux très inférieurs à ceux de 2019, ce qui signifie que la diminution de circulation liée au confinement et hors épandages agricoles, a eu un effet favorable sur le niveau de pollution particulaire fine. Sur la période du 29 mars au 11 mai la concentration moyenne horaire était de 1815/dm<sup>3</sup> en 2020 contre 2816 en 2019.

**Période post-confinement, du 11 mai au 30 juin: télétravail, vélos et trottinettes**

Pour la période post-confinement, du 11 mai au 30 juin, et dans des conditions météorologiques pas fondamentalement différentes, on observe une différence sensible dans la concentration particulaire entre 2019 et 2020. La concentra-

tion particulaire horaire moyenne en 2020 est sensiblement inférieure à celle de 2019 sur l'ensemble de la période, avec une concentration horaire moyenne de 1118/dm<sup>3</sup> contre 2768 pour la même période de 2019. Cela signifie très probablement que les activités polluantes n'ont pas repris leur niveau antérieur durant cette période post-confinement. Beaucoup de personnes en particulier ont continué le télétravail, (et continuent en septembre 2020), ce qui a conduit à une diminution générale du niveau de circulation urbaine. En outre durant la période de confinement beaucoup de personnes ont eu recours à des modes de transport peu polluants (vélos et trottinettes). On a pu constater dans la période post-confinement une persistance de ces modes de transports qui participent à une diminution de la circulation polluante. Cet effet pourrait expliquer sans doute en partie, et avec la persistance d'une diminution globale des activités, une diminution durable du niveau de pollution particulaire PM1.

**Commentaires: pourquoi on ne fait pas toujours ce qu'il conviendrait de faire ?**

Il faut retenir plusieurs points importants de l'analyse de la pollution particulaire fine sur l'ensemble de cette période.

- L'importance de la pollution particulaire secondaire qui

prend une place parfois majeure dans la pollution particulaire, avec une évolution naturelle de particules ultrafines vers des particules de plus en plus grosses par des phénomènes d'agréations.

- La nécessité de mesurer la pollution particulaire au niveau des particules fines et non au niveau des particules grossières, mesures en nombre et non en masse qui favorisent la mesure des particules les plus grosses et ne voient pas les particules de taille nanométrique.
- La nécessité d'abandonner les mesures d'information du public et de régulation, fondées uniquement sur les particules grossières (PM10) lesquelles ne sont que la forme finale d'évolution du processus d'agréation, alors qu'il

conviendrait d'intervenir au niveau initial lorsque l'effet sanitaire est le plus important.

- L'importance majeure des conditions météorologiques et en particulier des conditions de vent, dans la formation et l'évolution de la pollution particulaire surtout secondaire. Compte tenu du temps nécessaire aux réactions chimiques, un vent d'une vitesse supérieure à 5 km/h ne permet pas la formation d'une pollution secondaire sur Paris ; elle ira alors se former plus loin. Inversement par vent de nord-est on observera des épisodes importants de pollution particulaire fine secondaire sur la région de Lille en raison des effluents des élevages intensifs des Pays-Bas qui viennent se recombiner avec les émissions de la circulation urbaine locale. ■

### Références

1. Caillaud D, *et al.* La pollution atmosphérique et ses effets sur la santé respiratoire en France. *Rev Mal Respir* 2019; 36: 1150-83.
2. Dixsaut G. Pollution atmosphérique : les normes réglementaires ne prennent pas bien en compte l'évolution des sources ni les facteurs déterminants sur la santé. *Info Respir* 2019; 150: 25-26.
3. Renard JB, *et al.* LOAC, a light aerosols counter for ground-based and balloon measurements of the size distribution and of the main nature of atmospheric particles, 1. Principle of measurements and instrument evaluation. *Atmos Meas Tech* 2016; 9: 1721-1742.
4. Renard JB, *et al.* Vertical profiles of pollution particle concentrations in the boundary layer above Paris (France) from the optical aerosol counter loac onboard a touristic balloon. *R Sensors* 2020; 20(4): 1111. doi: 10.3390/s20041111.
5. <http://www.meteofrance.fr/actualites/80136994-norberto-onze-tempetes-sur-la-france-depuis-debut-fevrier>.
6. [https://www.airparif.asso.fr/\\_pdf/publications/communique\\_presse\\_evaluation-deconfinement\\_10062020.pdf](https://www.airparif.asso.fr/_pdf/publications/communique_presse_evaluation-deconfinement_10062020.pdf).