

# Airparif

dossier

Mai 2021  
airparif.fr

# 03  
# 04

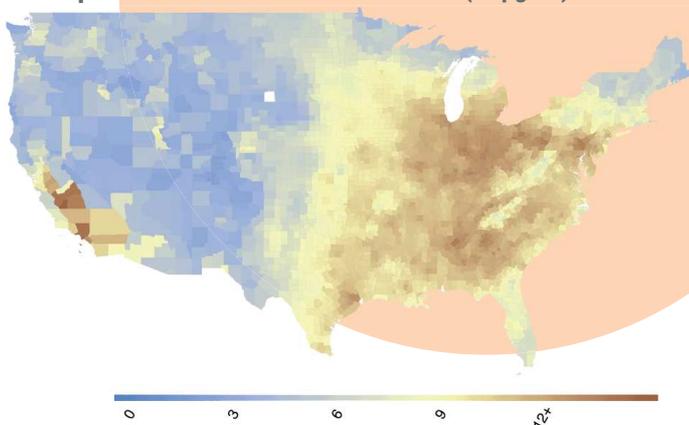
## COVID-19 et qualité de l'air

Depuis le début de la crise sanitaire, les liens possibles entre épidémie de COVID-19 et qualité de l'air font l'objet de nombreuses conjectures. Ce double numéro Airparif Dossier a pour objectif de proposer une synthèse de l'état des connaissances sur ce sujet, en revenant sur les enseignements de la matinale co-organisée par AIRLAB et le DIM QI<sup>2</sup> en décembre 2020, et en proposant une actualisation, à date de parution, de ces enseignements. Il propose également un résumé du bilan de la qualité de l'air 2020 élaboré par Airparif, qui évalue l'impact sur la qualité de l'air en Île-de-France des différentes mesures de restrictions liées à l'épidémie.

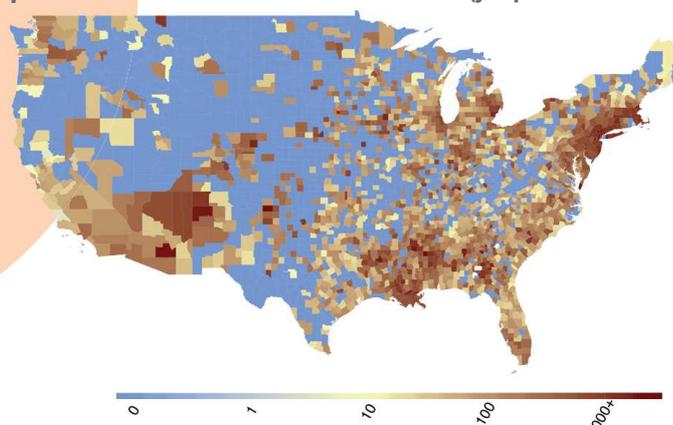
# Les liens entre épidémie de COVID-19 et pollution de l'air

*D'après l'intervention de Sabine Host, épidémiologiste à l'Observatoire Régional de Santé d'Île-de-France, à la matinale AIRLAB, co-organisée avec le DIM QI<sup>2</sup>. Pour plus d'informations et la liste des références mentionnées, voir le lien page 15.*

Moyenne des concentrations de PM<sub>2.5</sub> sur la période 2000-2016 aux États-Unis (en µg/m<sup>3</sup>)



Nombre de décès liés au COVID-19 pour un million d'habitant aux États-Unis (jusqu'au 18.06.2020)



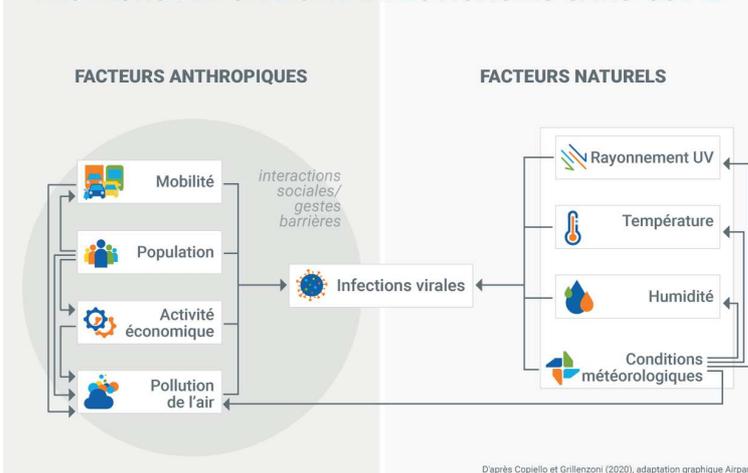
Source: Wu et al. 2020 (DOI: 10.1126/sciadv.abd4049)

## Des corrélations spatiales et temporelles

Depuis le début de la pandémie de COVID-19 au début de l'année 2020, l'hypothèse de liens possibles avec la pollution de l'air fait l'objet de nombreuses interrogations. En effet, le constat de corrélations spatiales et temporelles entre exposition à la pollution de l'air et épidémie (nombre de cas, d'hospitalisations ou de décès) a été étayé par différentes études. Ainsi, en croisant des données de qualité de l'air rétrospectives sur plusieurs années avec les données de mortalité liée au COVID-19, deux études américaines ont montré une corrélation entre les zones où les niveaux de pollution sont plus élevés et le nombre de décès : Liang et al. (2020) concluent à une hausse de 16,2 % du nombre de décès par habitant pour une hausse de 8,65 µg/m<sup>3</sup> de NO<sub>2</sub> (dioxyde d'azote) ; Wu et al. (2020) concluent à une hausse de 11 % du nombre de décès par habitant pour une hausse de 1 µg/m<sup>3</sup> de particules fines PM<sub>2.5</sub>. Ces études appuient donc l'hypothèse qu'une exposition chronique (de long terme) à la pollution de l'air pourrait engendrer une augmentation du nombre de cas et de la mortalité liée au COVID-19.

Les effets à court terme de l'exposition à la pollution de l'air sur l'épidémie ont aussi été testés dans des études de corrélation temporelle : plusieurs auteurs rapportent une augmentation des cas de COVID-19 dans les une à deux semaines (correspondant au délai d'incubation) suivant une élévation des niveaux de particules.

## INTERACTION ENTRE FACTEURS ANTHROPIQUES, FACTEURS NATURELS ET INFECTIONS AU SARS-CoV-2



D'après Copiello et Grillenzoni (2020), adaptation graphique Airparif

Ainsi, l'étude de Wang et al. (2020) corrobore l'hypothèse d'effets à court-terme de la pollution sur la dynamique de l'épidémie : une augmentation de 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  des niveaux de particules  $\text{PM}_{10}$  entraînerait une augmentation de 5 % du nombre de cas de COVID-19 dans la semaine qui suit. Cependant, ces corrélations constatées n'indiquent pas nécessairement de causalité : d'autres facteurs doivent être pris en compte (données sociodémographiques, facteurs de risques comportementaux, densité de population, mesures de distanciation sociale en vigueur, offre de soin, météo...). Beaucoup de travaux manquent de robustesse et des recherches complémentaires sont nécessaires pour étayer ce lien. Ces corrélations entraînent en tous cas deux questions : la pollution de l'air est-elle un facteur de vulnérabilité face au SARS-CoV-2 ? Et peut-elle jouer un rôle de vecteur dans la propagation du virus ?

### L'exposition à la pollution de l'air, un facteur de vulnérabilité face au virus

L'impact sanitaire de l'exposition à la pollution de l'air est bien documenté : elle favorise l'apparition et l'aggravation de pathologies chroniques (cancers, maladies respiratoires et cardio-vasculaires, diabète...) qui se trouvent être également des facteurs de comorbidité face au COVID-19. Ainsi, au sein d'une population particulièrement exposée à la pollution de l'air, l'impact de l'épidémie de COVID-19 (en termes de nombre de cas mais également de gravité des infections) est susceptible d'être plus important qu'au sein d'une population plus préservée de la pollution.

En effet, l'exposition aux particules, qui entraîne une inflammation et un stress oxydatif des voies respiratoires, pourrait accélérer le développement de détresse respiratoire chez les individus ayant contracté le virus. La pollution de l'air est également responsable d'un affaiblissement, voire d'un dysfonctionnement, du système immunitaire chez les personnes exposées, qui pourraient ainsi moins bien se défendre face au virus. L'exposition à la pollution engendre chez certaines personnes une hyperactivation du système immunitaire, due à une inflammation prolongée, qui serait susceptible de favoriser la production de cytokines incriminées dans les « orages cytokiniques » observés chez certains patients gravement atteints par le COVID-19. Enfin, des recherches récentes sur le SARS-CoV-2 ont montré que la phase initiale de l'infection implique l'interaction de la protéine virale « Spike » avec un récepteur humain nommé

« ACE2 », sorte de porte d'entrée du virus dans les cellules, qui permet l'infection et la multiplication du virus. Or l'exposition aux particules pourrait provoquer une dérégulation de ce récepteur, favorisant sa production, ce qui pourrait par conséquent faciliter l'entrée du virus dans l'organisme.

Certains mécanismes d'action de la pollution de l'air en lien avec l'épidémie de COVID-19 restent à approfondir, mais plusieurs études renforcent d'ores et déjà cette hypothèse. Pozzer et al. (2020), sur la base de l'étude américaine (Wu et al., 2020) dont les résultats sont encore à consolider, ont ainsi estimé qu'en France, environ 18 % des décès liés au COVID-19 pourraient être attribués à l'exposition chronique aux particules fines  $\text{PM}_{2,5}$  (pour 19 % en Europe, 17 % en Amérique du Nord et 27 % en Asie orientale). Cette première estimation sera à affiner avec des données plus robustes.

### La pollution de l'air, vecteur de propagation du virus ?

La capacité du virus à se maintenir en suspension dans l'air sous forme d'aérosol est avérée (voir p.5), et des études, en particulier dans le contexte de l'épidémie de SRAS de 2003, avaient étayé la possible adsorption des virus sur la pollution particulaire. Dans le cas du SARS-CoV-2, l'ARN du virus a été retrouvé dans des échantillons de pollution particulaire, mais des doutes importants subsistent quant à la viabilité du virus dans ces conditions et à la présence d'une charge virale suffisante pour effectivement entraîner des contaminations ●

L'exposition aux particules, qui entraîne une inflammation et un stress oxydatif des voies respiratoires, pourrait accélérer le développement de détresse respiratoire chez les individus ayant contracté le virus.

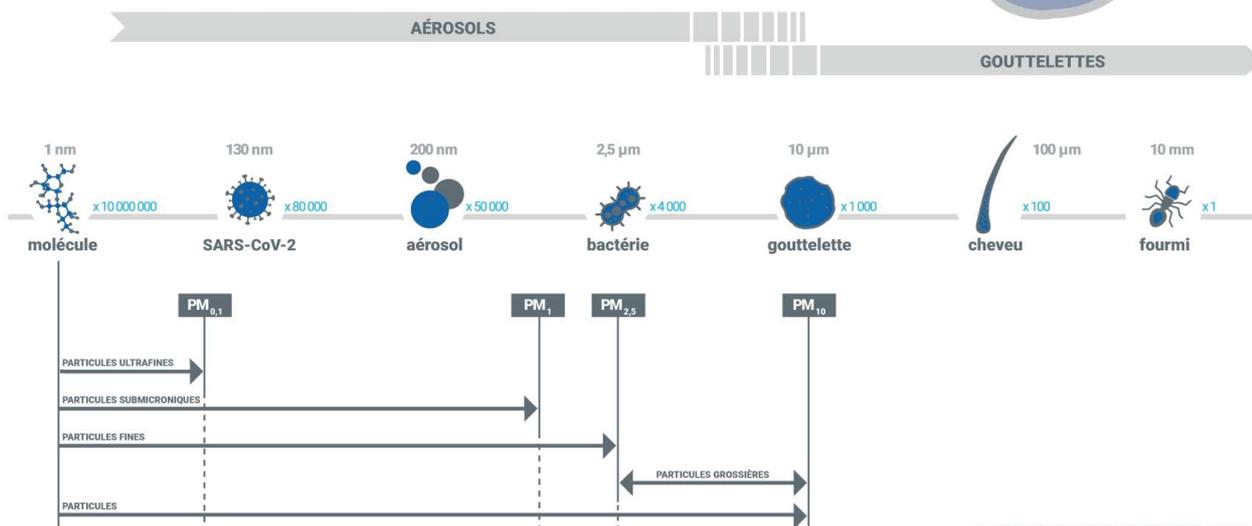
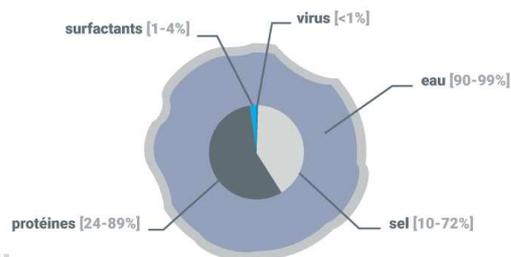
## CE QU'IL FAUT RETENIR

- Il est admis que l'exposition à la pollution de l'air augmente la vulnérabilité d'une population face à une épidémie de virus respiratoire comme le SARS-CoV-2, du fait de son rôle dans l'apparition et l'aggravation de maladies chroniques qui sont des facteurs de comorbidités du COVID-19, mais également du fait de ses mécanismes d'action sur l'organisme (inflammation et stress oxydatif du système respiratoire, affaiblissement voire dérèglement du système immunitaire).
- Le rôle de vecteur de propagation de la pollution particulaire reste à investiguer, la charge virale retrouvée dans ce cas n'étant pas à ce jour considérée comme suffisante pour entraîner une infection (voir p.5).
- En revanche, la transmission du virus par aérosol en air intérieur est de plus en plus documentée, et elle présente des enjeux spécifiques en milieu clos (voir p.6).

# La transmission aéroportée du SARS-CoV-2

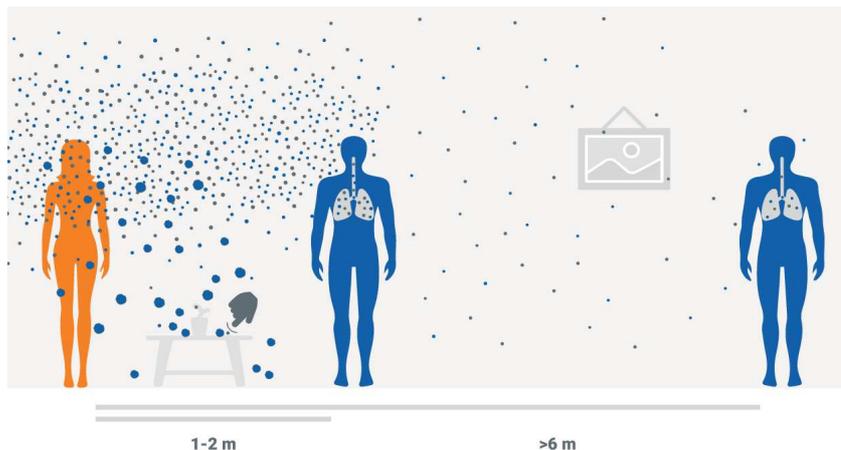
D'après l'intervention de Jean-François Doussin, Professeur à l'Université Paris-Est Créteil, spécialiste des aérosols, à la matinale AIRLAB, co-organisée avec le DIM QIP.

## ÉCHELLE DE TAILLE



D'après Papathanasiou, Vejerano et al. (2018), adaptation graphique Airparif

## VOIES DE TRANSMISSION



## Formation des aérosols et maintien en suspension dans l'air

Le virus du SARS-CoV-2 se propage par gouttelettes et par contact, mais également par transmission aéroportée, c'est-à-dire via des aérosols contenant le virus. En effet, le virus n'est jamais émis seul, mais sous forme de gouttelettes ou d'aérosols, qui sont produits par le système respiratoire en parlant, toussant, chantant... Les gouttelettes sont de taille relativement importante (10 micromètres - µm et plus) et sont en grande majorité composées d'eau. Quand elles sont émises, une partie d'entre elles va se déposer sur les surfaces (engendrant alors un risque de contamination par contact) ; et une autre partie va s'évaporer rapidement, se transformant en aérosols, plus petits (entre 10 nanomètres - nm et 10 µm), et dans lesquels ne vont rester que les composants secs. Par ailleurs, toute activité respiratoire conduit naturellement à émettre directement des aérosols (de l'ordre 2 µm et moins) pouvant contenir du virus.

Légende :



Transmission par inhalation des **gouttelettes** ou des **aérosols**, ou par **contact** par le port des mains au visage (bouche, nez, yeux...) après avoir touché des surfaces contaminées par des gouttelettes s'y étant déposé.

D'après Wei et al. (2016), Milton (2020), adaptation graphique Airparif



**En air extérieur, les particules de pollution peuvent-elles jouer un rôle de vecteur dans la propagation du SARS-CoV-2 ?**

La découverte de SARS-CoV-2 dans des échantillons de pollution particulaire en Italie au début de l'épidémie avait poussé une partie de la communauté scientifique à s'interroger sur un possible rôle de vecteur de propagation joué par les particules. Cependant, cette hypothèse est contradictoire avec l'état des connaissances sur la physique des aérosols. En effet, quand le virus est émis par le corps humain, il est déjà inclus dans des aérosols de taille comparable à celle des particules de pollution. Il n'a donc pas « besoin » de s'agglomérer à ces particules pour rester en suspension dans l'air et se déplacer. On a observé dans certains cas une hausse des contaminations et des hospitalisations liées au COVID-19 dans les jours et semaines suivant un pic des niveaux de pollution aux particules. Cependant, cela s'explique sans doute davantage par l'impact d'une exposition accrue à cette pollution, qui augmente la sensibilité de l'organisme et diminue ses défenses face à une maladie respiratoire (voir p.3), que par un rôle de vecteur joué par ces particules. En l'état actuel des connaissances, on peut donc dire que la transmission aéroportée est une vraie problématique en air intérieur, mais pas en air extérieur.

Le comportement des aérosols dans l'air dépend fortement de leur taille. Les plus gros (autour de 10  $\mu\text{m}$ ), sont aussi les plus lourds, et ils se déposent donc rapidement au sol ou sur les surfaces. Leur durée de maintien en suspension dans l'air est assez courte, de l'ordre d'une quinzaine de minutes. Les plus petits (autour de 0,01  $\mu\text{m}$ ) sont extrêmement mobiles, ils vont donc avoir une forte propension à s'impacter sur les surfaces. Leur durée de maintien en suspension est de quelques heures. Ce sont les aérosols de taille intermédiaire (entre 0,1 et 1  $\mu\text{m}$ ) qui ont la durée de maintien en suspension la plus longue : jusqu'à plusieurs jours en conditions de laboratoire. Ces aérosols ont donc une capacité à se maintenir dans l'air ambiant, et à se déplacer sur plusieurs mètres.

### **Présence et viabilité du SARS-CoV-2 dans les aérosols**

Des études en laboratoire ont démontré la présence du SARS-CoV-2, sous forme de virion (ou particule virale infectieuse) dans les aérosols émis par des personnes infectées. La concentration de virion émis varie en fonction de l'activité : assez faible pour la parole, elle est plus importante pour la toux et peut l'être encore davantage lors d'activités où l'expiration est très forcée (cri, chant...). De plus, des études en milieu hospitalier où des personnes malades du COVID-19 étaient soignées, ont permis de détecter des particules virales sur des aérosols de petite taille (moins d'1  $\mu\text{m}$ ) dans des proportions importantes. La possibilité d'une inclusion du SARS-CoV-2 sur les aérosols est donc avérée. De plus, quand on parle, tousse, chante... on émet surtout des aérosols de taille intermédiaire, c'est-à-dire ceux qui ont la durée de maintien en suspension dans l'air la plus longue.

En ce qui concerne la durée de vie du virus dans l'air, des études en conditions de laboratoire ont montré que le virus peut rester viable jusqu'à 16 heures

quand il est adsorbé sur des aérosols. La viabilité du virus en suspension dans l'air dépend cependant fortement des conditions environnementales (rayonnement UV, température, humidité). Ainsi, un rayonnement UV intense va par exemple désactiver jusqu'à 90 % du virus en quelques minutes. Au contraire, le virus survit mieux dans des environnements à basse température et forte humidité, ce qui a pu jouer un rôle dans les nombreux clusters apparus dans des abattoirs.

L'hypothèse d'une transmission majoritairement aéroportée est renforcée, avec le recul, sur les chiffres de contamination depuis début 2020 : ainsi la majorité des contaminations a lieu en air intérieur, où les aérosols sont plus concentrés ; et les contaminations sont fortement réduites par la présence d'une ventilation. Enfin, jusqu'à 59 % des contaminations globales sont dues à des personnes asymptomatiques ou pré-symptomatiques, qui ne toussent pas et n'éternuent pas, mais qui émettent des aérosols (source : *Greenhalgh et al. 2020, [https://doi.org/10.1016/S0140-6736\(21\)00869-2](https://doi.org/10.1016/S0140-6736(21)00869-2)*) ●

## **CE QU'IL FAUT RETENIR**

- En parlant, toussant, chantant... l'être humain émet des aérosols qui peuvent contenir le virus du SARS-CoV-2 si la personne est infectée.
- Ces aérosols peuvent rester en suspension dans l'air jusqu'à plusieurs heures ; on sait que dans certaines conditions (de température, d'humidité et de rayonnement UV) le virus peut rester viable.
- En air intérieur (milieu clos), ces aérosols posent donc un risque accru de transmission aéroportée, d'où la nécessité de renouveler régulièrement l'air des locaux (voir p.6).
- En air extérieur cependant, ces aérosols sont beaucoup plus dilués ; de plus, le virus retrouvé dans certains cas sur des particules de pollution contient une charge virale qui est sans doute insuffisante pour effectivement entraîner une infection.



**INTERVIEW** DU DOCTEUR FABIEN SQUINAZI, MÉDECIN BIOLOGISTE, ANCIEN DIRECTEUR DU LABORATOIRE D'HYGIÈNE DE LA VILLE DE PARIS.

## Quelles solutions pour lutter contre la propagation du virus SARS-CoV-2 en air intérieur ?

### Comment diminuer les risques de contamination en air intérieur ?

Plusieurs études, expérimentales et cliniques, montrent que les risques de contamination aéroportée (par aérosols) sont avérés en air intérieur. Ils posent donc des enjeux spécifiques au sein des écoles, des bureaux, des administrations ou encore des commerces. Pour réduire ce risque, il convient d'adopter, en plus des mesures barrières individuelles tels que le port ajusté du masque, le plus longtemps possible, la distanciation physique, l'hygiène régulière des mains..., des mesures collectives visant à réduire la concentration d'aérosols potentiellement porteurs du virus dans l'air intérieur.

### Quelles sont les solutions concrètes à mettre en œuvre ?

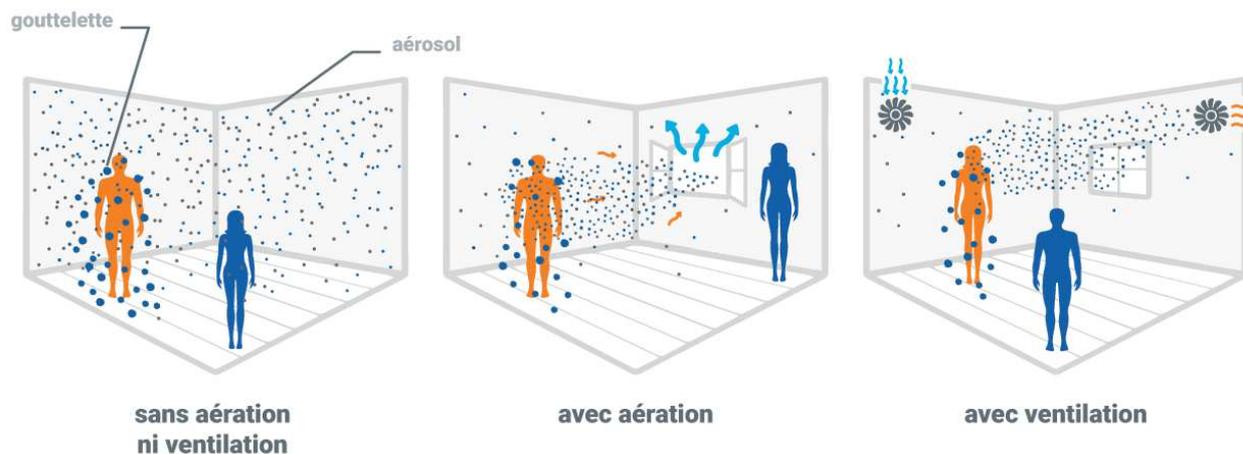
Les solutions consistent à améliorer le renouvellement d'air des locaux. Cela peut se faire par l'aération manuelle, en ouvrant plusieurs fois par jour les fenêtres. Le tirage thermique (écart de température entre l'intérieur et l'extérieur), ainsi que le vent, permettent, par l'apport d'air extérieur neuf, de diluer et d'évacuer les aérosols et ainsi de réduire le risque

de contamination aéroportée. Cela peut aussi se faire grâce à une ventilation mécanique contrôlée (VMC), qu'elle soit simple flux (par extraction de l'air intérieur vicié) ou double flux (par soufflage d'air extérieur neuf et par extraction de l'air intérieur vicié, avec récupération d'énergie par un échangeur thermique) Dans le cas où une VMC est utilisée, la maintenance est essentielle : il est nécessaire d'inspecter périodiquement les installations de ventilation et de traitement de l'air, de mesurer les débits d'air, de vérifier l'état des filtres..., afin de garantir le bon fonctionnement de la ventilation mécanique. Pour un renouvellement optimal de l'air intérieur, aération et ventilation mécanique sont souvent utilisées de concert, lorsque cela est possible.

### En quoi la mesure des concentrations de CO<sub>2</sub> peut-elle être utile ?

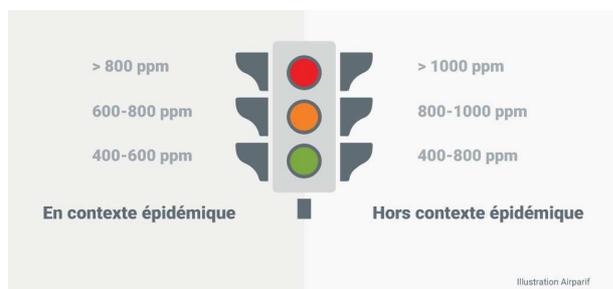
Le CO<sub>2</sub> en tant que tel n'est pas un polluant de l'air intérieur : il est émis naturellement par la respiration et, à basses concentrations, ne pose pas de danger pour la santé humaine. En revanche, c'est un gaz à effet de serre, qui en air extérieur pose des enjeux bien connus du grand public, liés au changement climatique. En air intérieur,

## DISPERSION DES AÉROSOLS EN MILIEU CLOS



D'après Morawska et al. (2020), adaptation graphique Airparif

## CONCENTRATIONS DE CO<sub>2</sub> : Seuil recommandés par le Haut Conseil de Santé Publique



il est utilisé comme un indicateur du renouvellement de l'air : des concentrations en CO<sub>2</sub> qui augmentent indiquent que l'air intérieur n'est pas suffisamment renouvelé, et que, dans un contexte d'épidémie de COVID-19, les aérosols d'origine respiratoire potentiellement porteurs du virus stagnent et entraînent un risque de transmission aéroportée. C'est pourquoi le Haut Conseil de la Santé Publique recommande de ne pas dépasser le seuil de 800 ppm (parties par million) en milieu clos en contexte épidémique (soit 400 ppm de plus par rapport aux valeurs extérieures) ; dans les endroits où le port du masque n'est pas possible (par exemple, dans les cantines scolaires ou les restaurants d'entreprise), le seuil recommandé est de 600 ppm. La mesure en continu des concentrations de CO<sub>2</sub> en air intérieur est facilement réalisable grâce à des microcapteurs à bas coûts et étalonnés, utilisant une mesure à infra-rouges non dispersifs. L'installation de ces micro-capteurs peut constituer une aide utile pour accompagner les pratiques d'aération et de ventilation, et ainsi garantir le bon renouvellement de l'air intérieur, en particulier dans les locaux accueillant du public. Enfin, il faut noter que le renouvellement de l'air est très important, même hors contexte épidémique : il permet en effet d'apporter aux occupants d'un espace clos l'oxygène qui leur est nécessaire, mais aussi d'évacuer les odeurs, les polluants et les micro-organismes qui peuvent s'accumuler, et d'éliminer un excès d'humidité. De plus, le confinement des locaux, marqué par de fortes concentrations de CO<sub>2</sub>, a un impact nocif sur les occupants, pouvant entraîner nuisances olfactives, maux de tête, difficultés de concentration et d'apprentissage et sensation d'endormissement.

### Les purificateurs d'air sont-ils efficaces pour réduire les risques de contamination aéroportée ?

Depuis de nombreuses années, et plus encore depuis le début de l'épidémie de COVID-19, des dispositifs d'épuration d'air sont proposés pour améliorer la qualité de l'air intérieur. Ces dispositifs reposent sur deux

technologies : le piégeage des polluants (par filtration mécanique ou électronique, et filtration moléculaire par adsorption sur charbon actif) ; et les techniques destructives (rayonnement UVC, champ électrique ou plasma froid, photocatalyse). Afin de juger de l'efficacité de ces dispositifs, nous avons besoin de tests de laboratoire sur les technologies elle-mêmes, et de tests normalisés, sur banc d'essais, pour les dispositifs eux-mêmes (technologie + boîtier). L'innocuité de ces dispositifs est également importante à considérer, notamment pour ceux qui détruisent les polluants et qui peuvent générer des molécules secondaires de réaction, comme l'ozone, les oxydes d'azote ou le formaldéhyde, nocifs pour la santé humaine. Enfin, des essais en conditions réelles, et dans des configurations réalistes, sont nécessaires pour s'assurer de l'homogénéité de la réduction des polluants et déterminer les niveaux d'exposition des occupants. En cas de présence de plusieurs appareils dans une pièce, l'étude de leurs flux d'air respectifs est nécessaire pour éviter d'engendrer des effets contreproductifs. Dans le cadre de la lutte contre le COVID-19, des études supplémentaires, effectuées en conditions réelles et sous différentes configurations, pour évaluer la réduction homogène de la contamination particulière, nous permettraient de juger de la pertinence du déploiement de purificateurs d'air dans les lieux collectifs. Toutefois, les purificateurs d'air ne permettent pas d'améliorer le renouvellement de l'air intérieur en tant que tel, et les moyens d'aération et de ventilation des espaces clos ont toujours leur place. Enfin, il faudra prendre en compte le coût de ces dispositifs, ainsi que les possibles nuisances sonores occasionnées.

## CE QU'IL FAUT RETENIR

- La transmission aéroportée du virus SARS-CoV-2 en milieu clos étant avérée, les mesures barrières mises en œuvre contre le COVID-19 doivent intégrer ce risque.
- Pour cela il s'agit de diluer la concentration en aérosols potentiellement porteurs du virus, en aérant et en ventilant la pièce. L'utilisation de capteurs de CO<sub>2</sub> à bas coût est une aide utile pour déterminer la fréquence d'aération nécessaire.
- Les systèmes d'épuration d'air pourraient représenter un complément utile à l'aération et à la ventilation, mais des études supplémentaires, en conditions réelles, et sous différentes configurations réalistes, sont nécessaires pour évaluer leur efficacité au regard de leur coût mais aussi leur innocuité.

# Quel a été l'impact des mesures de confinement sur la qualité de l'air en Île-de-France ?

DEPUIS LE DÉBUT DE L'ENTRÉE EN VIGUEUR DES MESURES DE CONFINEMENT LE 17 MARS 2020, PUIS LA PHASE DE DÉCONFINEMENT ET ENFIN LE DEUXIÈME CONFINEMENT ANNONCÉ EN OCTOBRE 2020, AIRPARIF A ÉVALUÉ AU FIL DE L'EAU L'IMPACT DE LA RÉDUCTION D'ACTIVITÉS SUR LA QUALITÉ DE L'AIR EN ÎLE-DE-FRANCE.

## Le premier confinement du printemps 2020 : un impact sans précédent sur les niveaux de pollution

Le confinement strict mis en œuvre au printemps 2020 a eu pour conséquence une diminution très conséquente des concentrations en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>). En moyenne, sur l'ensemble de l'agglomération parisienne, les concentrations ont diminué d'environ 5 µg/m<sup>3</sup>, soit une baisse de l'ordre de 25 %, en situation de fond (loin de l'influence des axes routiers). Cette baisse est plus marquée à proximité du trafic : en moyenne de l'ordre de 35 %, et jusqu'à 50 % sur certains axes. Cette amélioration inédite de la qualité de l'air touche particulièrement le cœur de l'agglomération et Paris, où la densité urbaine engendre des émissions habituellement très importantes d'oxydes d'azote (NO+ NO<sub>2</sub>) liées au trafic.

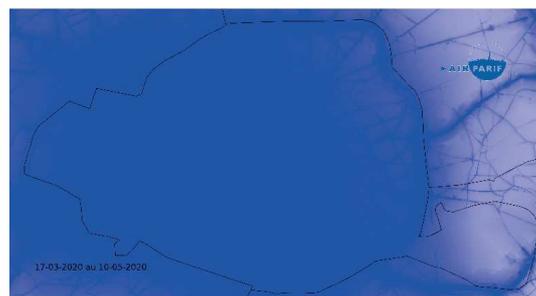
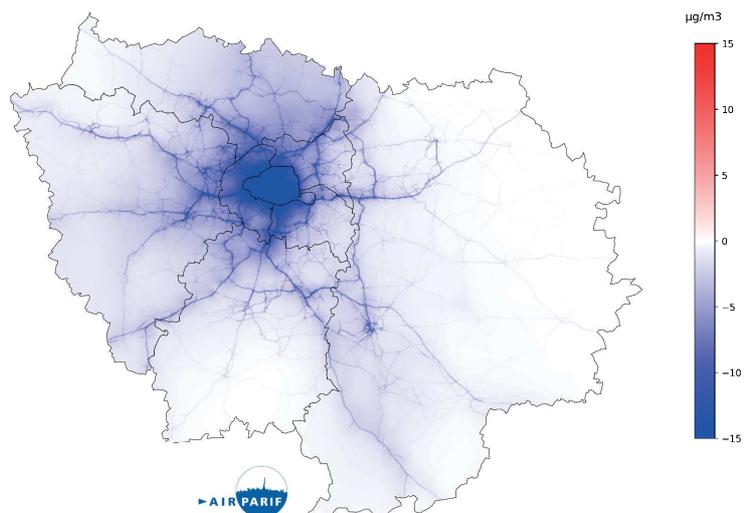
La très forte baisse des émissions du trafic routier a donc un impact plus marqué pour le NO<sub>2</sub> que pour les particules.

Ces fortes baisses s'expliquent essentiellement par la réduction sans précédent des émissions de NO<sub>2</sub> liées au trafic routier (-70 % par rapport à la situation de référence) et, dans une moindre mesure, à celles du trafic aérien (-85 %). La contribution du trafic routier et aérien représente respectivement 53 % et 9 % des émissions annuelles de NO<sub>2</sub> en Île-de-France (Inventaire 2018 Airparif).

## MÉTHODOLOGIE

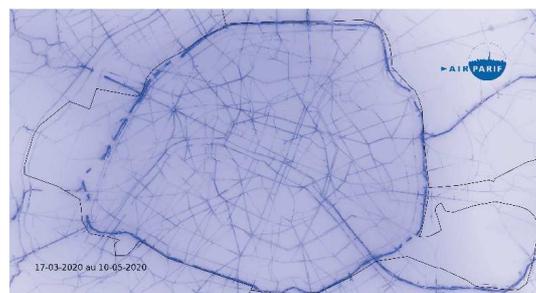
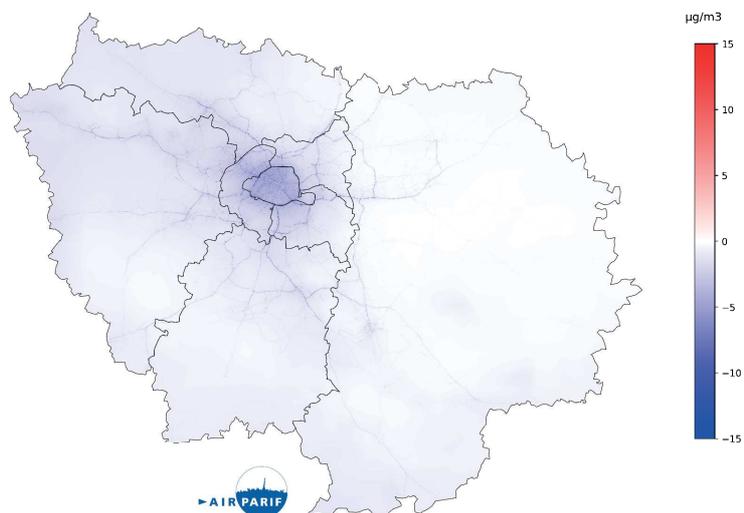
Pour évaluer l'impact des mesures de confinement et de déconfinement sur les niveaux de pollution, il ne suffit pas de comparer simplement les niveaux observés pendant les périodes de confinement aux niveaux observés pendant l'année 2019. En effet, la qualité de l'air dépend des émissions (soit la quantité de polluants rejetés dans l'atmosphère), mais également dans une large mesure des conditions météorologiques, qui varient d'une année sur l'autre. Ainsi, une météo marquée par de la pluie et du vent sera plus favorable à la dispersion des polluants qu'une météo caractérisée par des conditions anticycloniques stables, qui concourent à l'accumulation des polluants dans l'atmosphère. De plus, les niveaux de pollution étant en baisse en Île-de-France depuis plusieurs années, il importe de distinguer cette baisse tendancielle de la baisse conjoncturelle observée pendant les périodes de confinement. Afin de mettre en évidence l'impact de la réduction des activités sur la qualité de l'air lors des différentes phases de confinement et de déconfinement, un exercice théorique de modélisation a été réalisé en simulant les concentrations journalières d'une situation « de référence », sans mesures de restrictions (appelée situation de référence « sans confinement »), dans les mêmes conditions météorologiques qu'en 2020. Ces simulations ont été comparées à la situation réelle. L'impact des différentes périodes de confinement et de déconfinement sur les concentrations en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) et en particules (PM<sub>10</sub>, PM<sub>2,5</sub>) a ainsi pu être évalué, en tout point de l'Île-de-France et à conditions météorologiques identiques.

## Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) - 1<sup>er</sup> confinement



**-25 % en moyenne en situation de fond dans l'agglomération parisienne, et jusqu'à -50 % le long de certains axes.**

## Particules (PM<sub>10</sub>) - 1<sup>er</sup> confinement



**Environ -7 % de baisse en situation de fond à Paris et de l'ordre de -15 % le long du trafic.**

*Différence de concentrations (en µg/m<sup>3</sup>) entre la situation réelle pendant le premier confinement et la situation de référence « sans confinement » du 17.03.2020 au 10.05.2020 en Île-de-France, et zoom sur Paris.*

En ce qui concerne les particules PM<sub>10</sub>, l'impact du confinement du printemps est beaucoup plus limité. Les concentrations présentent peu d'écart au regard de la situation de référence en situation de fond (-1 µg/m<sup>3</sup> en moyenne sur l'agglomération et -4 µg/m<sup>3</sup> dans Paris, soit une baisse de l'ordre de 7 %). L'impact est un plus marqué sur les axes routiers parisiens, avec une baisse de l'ordre de 5 µg/m<sup>3</sup>, soit en moyenne 15 %. Pour les particules PM<sub>2,5</sub>, les diminutions sont plus faibles et peu significatives.

L'impact est donc nettement moins important sur les particules que sur le NO<sub>2</sub>. Ces différences

s'expliquent par des sources d'émissions de particules plus diversifiées (trafic, chauffage dont chauffage au bois, agriculture, chantiers...) et pas seulement locales (transferts de pollution, réactions chimiques dans l'atmosphère), dont certaines, comme le chauffage et l'agriculture, n'ont pas été impactées par les réductions d'activité. Contrairement au NO<sub>2</sub> pour lequel le trafic routier est de loin la source prépondérante, la contribution de ce secteur aux émissions de particules est plus réduite (17 % pour les PM<sub>10</sub> et 19 % pour les PM<sub>2,5</sub>). La très forte baisse des émissions du trafic routier a donc un impact moins marqué pour les particules que pour le NO<sub>2</sub>.

## Le déconfinement de mai 2020 : un retour à la normale progressif

La levée des mesures de confinement entrée en vigueur le 11 mai 2020 ne s'est pas accompagnée pour autant d'une reprise complète et immédiate des activités, tous les commerces n'étant pas autorisés à rouvrir, et le télétravail restant fortement encouragé.

Le déconfinement a eu pour effet une remontée progressive des concentrations en  $\text{NO}_2$ , qui ne sont cependant pas revenues à leurs niveaux habituels dans certaines zones. Si les concentrations dans l'agglomération sont quasiment équivalentes au niveau de référence ( $-1 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en fond et  $-3 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les axes routiers), elles restent en baisse dans Paris ( $-8 \mu\text{g}/\text{m}^3$  en fond et  $-9 \mu\text{g}/\text{m}^3$  sur les axes routiers), soit une diminution d'environ 30 % par rapport à la situation de référence.

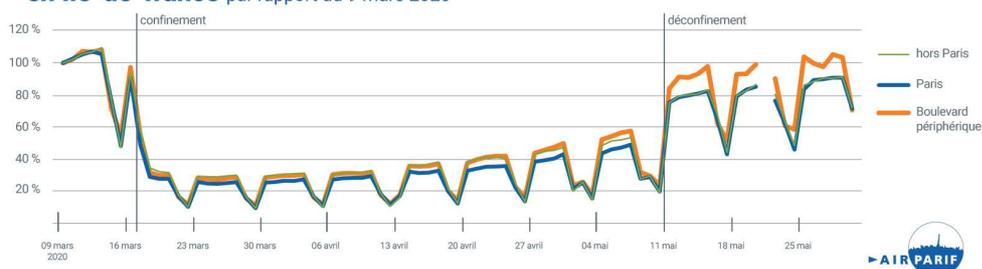
En effet, la reprise progressive des activités, et en particulier du trafic routier, a conduit à une remontée importante des émissions : deux semaines après la levée des restrictions, les émissions étaient remontées à 80 % de leur niveau de référence, et jusqu'à 90 % sur le Boulevard périphérique, axe de circulation majeur aussi bien pour les trajets domicile-travail que pour l'acheminement de marchandises.

Sur la période de déconfinement, les niveaux de particules sont très proches de la situation de référence, à la fois en fond et sur les axes routiers. Les diminutions observées sont très faibles, de l'ordre de quelques microgrammes par mètre cube. Comme pour le  $\text{NO}_2$ , cette remontée des concentrations s'explique par le fait que les émissions issues du trafic routier sont remontées à des niveaux équivalents à 80 % des émissions observées avant le confinement, les émissions des secteurs non impactés par le confinement restant à leur niveau habituel.

## Le deuxième confinement de l'automne 2020 : un impact beaucoup plus limité

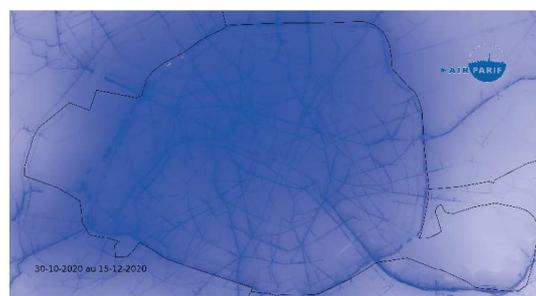
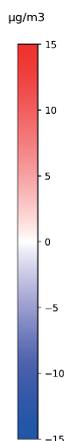
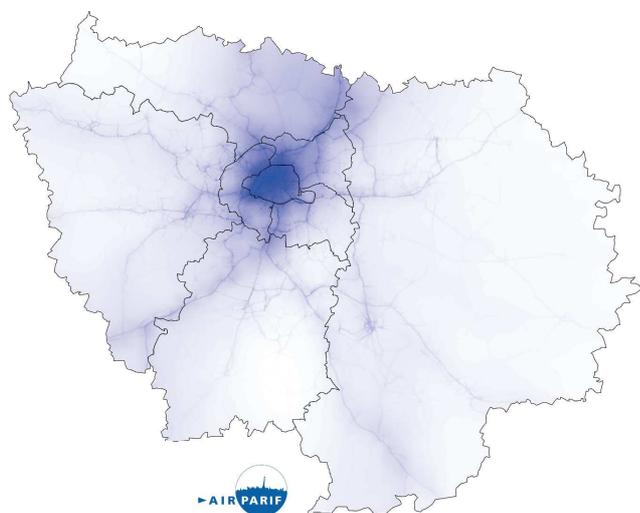
Le deuxième confinement entré en vigueur le 30 octobre 2020 étant moins strict que celui du printemps, avec notamment le maintien des écoles ouvertes et la poursuite d'activités pour un nombre

### Émissions journalières, dues au trafic routier, d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) en Île-de-France par rapport au 9 mars 2020



Pourcentage des émissions journalières d'oxydes d'azote ( $\text{NO}_x$ ) issues du trafic routier en Île-de-France, par rapport au 9 mars 2020

## Dioxyde d'azote ( $\text{NO}_2$ ) - 2<sup>e</sup> confinement



**-10 % en moyenne en situation de fond dans l'agglomération parisienne, et -15 % le long de certains axes.**

Différence de concentrations (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) entre la situation réelle pendant le deuxième confinement et la situation de référence « sans confinement » du 30.10.2020 au 15.12.2020 en Île-de-France, et zoom sur Paris.

## IMPACT DU CONFINEMENT SUR LES PARTICULES ULTRAFINES (PUF)

Au-delà des polluants réglementés comme les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>, Airparif surveille également les particules ultrafines (PUF), particules d'une taille inférieure à 100 nanomètres (nm), depuis 2019. Dans les agglomérations, les PUF sont principalement liées aux activités de combustion (chauffage dont chauffage au bois, mais aussi trafic routier et aérien, deux secteurs fortement impactés par le confinement). Les premières observations exploratoires montrent une baisse des concentrations en nombre de PUF de l'ordre de 30 % pendant le premier confinement par rapport au début de l'année. Toutefois, cette baisse ne peut pas être totalement attribuée au seul impact du confinement. Comme pour les autres polluants, les niveaux de PUF sont influencés par la variabilité saisonnière des émissions et des conditions météorologiques. Mais les connaissances et l'historique sur ce polluant non réglementé nécessitent d'être développés pour pouvoir évaluer l'impact spécifique de mesure de réduction, comme lors du confinement, notamment concernant le trafic. Au-delà des enjeux sanitaires, ces observations confirment la nécessité de poursuivre les mesures de ce polluant émergent avec des campagnes lancées par Airparif fin 2020 à proximité de différentes sources pour compléter la mesure permanente dans Paris.

plus important de secteurs et commerces, l'impact sur la qualité de l'air en Île-de-France est moins marqué.

Ainsi pour le NO<sub>2</sub>, pendant le deuxième confinement, la baisse des concentrations par rapport à la situation de référence est beaucoup moins marquée que lors du premier confinement. En moyenne sur l'agglomération, elle est de -2 µg/m<sup>3</sup> en fond et de -4 µg/m<sup>3</sup> sur les axes routiers. À Paris cependant, l'écart avec la situation de référence est plus perceptible, avec -10 µg/m<sup>3</sup>, soit une diminution de l'ordre de 25 %. Le pourcentage de baisse observé est plus faible que pendant la période de déconfinement, principalement à cause des conditions météorologiques qui, en période hivernale, sont globalement moins favorables à la dispersion des polluants (notamment le matin et le soir) qu'en période estivale.

Ces observations sont également cohérentes avec l'estimation de la baisse des émissions issues du trafic routier, secteur beaucoup moins affecté pendant le deuxième confinement que pendant le premier. Ainsi sur la période, la baisse des émissions du trafic était d'environ 20 %, contre jusqu'à 70 % pendant le premier confinement.

Sur la période du 30 octobre au 15 décembre 2020, aucune baisse significative des concentrations de particules n'a été observée, les niveaux mesurés étant équivalents aux niveaux de la situation de référence.

Cela s'explique par le fait que les réductions d'émissions du trafic routier sont bien plus faibles pendant le deuxième confinement que lors du confinement du printemps. Ces baisses d'émissions sont légèrement plus importantes que celles observées pendant le déconfinement, mais elles sont de nouveau compensées en partie par la hausse des émissions du chauffage résidentiel (ce qui n'était pas le cas aux mois de mai et juin) ●

## UN ÉPISODE DE POLLUTION EN PLEIN CONFINEMENT, COMMENT L'EXPLIQUER ?

Le 28 mars 2020, un dépassement du seuil d'information pour les particules PM<sub>10</sub> a été déclaré en Île-de-France, alors même que de nombreux secteurs d'activités étaient à l'arrêt ou fortement ralentis. L'analyse de la composition chimique des particules a permis de remonter à leurs sources, et d'identifier l'impact de secteurs d'émissions qui, contrairement au trafic routier, n'avaient pas été impactés par le confinement : le chauffage résidentiel, et en particulier le chauffage au bois ; et le secteur agricole, en particulier avec des épandages d'engrais azotés caractéristiques du début du printemps. De plus, la météo printanière a favorisé les réactions chimiques et la formation de particules secondaires (notamment à partir des oxydes d'azote liés au chauffage, et dans une moindre mesure au trafic routier, et de l'ammoniac d'origine agricole). Cet épisode de pollution illustre bien le fait que, contrairement au NO<sub>2</sub> qui est principalement un traceur du trafic routier, les particules proviennent de sources très diverses (trafic, mais aussi chauffage, agriculture, réactions chimiques et transport sur de longues distances). Avec des conditions de trafic normales, les niveaux de pollution observés auraient sans doute été encore plus conséquents.



## CE QU'IL FAUT RETENIR

- Le confinement du printemps a eu un impact sans précédent sur la qualité de l'air en Île-de-France, avec des baisses inédites des concentrations en NO<sub>2</sub> (jusqu'à -50 % sur certains axes), polluant émis principalement par le trafic routier. En revanche, l'impact sur les particules PM<sub>10</sub> était plus limité (environ -7 % à Paris), du fait de sources d'émissions plus nombreuses dont certaines n'ont pas été impactées par le confinement (chauffage dont chauffage au bois, agriculture).
- Cette amélioration inédite de la qualité de l'air en Île-de-France a également été observée dans d'autres régions françaises (voir Communiqué de presse d'Atmo France p.15).
- Pendant le déconfinement, un retour à la normale progressif a été constaté, sans que la pollution retrouve son niveau habituel dans Paris.
- L'impact a été plus limité pendant le deuxième confinement, les activités et en particulier le trafic ayant été moins impactés.

# Quelle aurait été la qualité de l'air en Île-de-France en 2020 sans mesures de restriction d'activités ?

## Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)

Par rapport à l'année 2019, l'année 2020 est marquée par une forte baisse des concentrations en NO<sub>2</sub>. Cette baisse est différenciée suivant les zones : -30 % à Paris, et environ -20 % en petite couronne. Ces diminutions sont plus conséquentes que la baisse tendancielle observée ces trois dernières années, qui était de l'ordre de -5 % à -10 % par an.

Les cartes suivantes représentent les concentrations moyennes en NO<sub>2</sub> de l'année 2020 en Île-de-France : à gauche, la carte de la situation réellement observée en 2020, et à droite, la carte de la situation telle qu'elle aurait été sans restrictions d'activités liées à la crise sanitaire.

À Paris, l'importante baisse observée pour les concentrations moyennes annuelles de NO<sub>2</sub> entre 2019 et 2020 (-30 %) est attribuable pour 2/3 à la baisse des émissions liée spécifiquement aux mesures de restrictions, et pour 1/3 à l'évolution tendancielle et à l'influence des conditions météorologiques (particulièrement dispersives en 2020 et notamment en période hivernale, lorsque les concentrations de NO<sub>2</sub> sont habituellement maximales). En petite couronne, les concentrations moyennes annuelles ont diminué d'environ -20 % (dont une moitié est attribuable aux mesures de confinement, et l'autre à la baisse tendancielle et à la météorologie dispersive de 2020).

## MÉTHODOLOGIE

Pour évaluer ce qu'aurait été la qualité de l'air en Île-de-France en 2020 sans les mesures de confinement et de réduction de certaines activités, il est nécessaire de distinguer l'impact de ces mesures sur les émissions de polluants dans l'air, de l'impact de l'évolution tendancielle des niveaux de pollution liés à la fois à la quantité de polluants rejetés dans l'air (émissions), et aux conditions météorologiques. En effet, les niveaux de pollution sont liés à la quantité de polluants rejetés dans l'air et aux conditions météorologiques. La pollution urbaine en Île-de-France montre une nette évolution à la baisse ces dernières années, en lien principalement avec la baisse des émissions du trafic routier (renouvellement technologique du parc de véhicules, Zones à Faibles Émissions parisienne et métropolitaine, mesures de réduction du trafic au cœur de l'agglomération...). En ce qui concerne la météo, qui influence fortement les niveaux de pollution, l'année 2020 a globalement bénéficié de conditions météorologiques favorables à la dispersion des polluants, avec de plus des températures chaudes, notamment pendant l'hiver, ce qui a limité les émissions du chauffage résidentiel.

Cette évaluation porte sur le NO<sub>2</sub> et sur les particules. L'ozone (O<sub>3</sub>), polluant estival dont les pics sont généralement observés en juin-juillet-août, a été peu impacté étant donné que ces trois mois n'ont pas (ou peu) été concernés par les restrictions sanitaires. Par conséquent, ce polluant n'a pas été intégré à cette étude. Pour rappel, les recommandations de l'OMS pour l'ozone sont dépassées tous les ans pour l'ensemble de l'Île-de-France (pour plus d'informations, se référer au Bilan de la qualité de l'air 2020 – lien p.15).

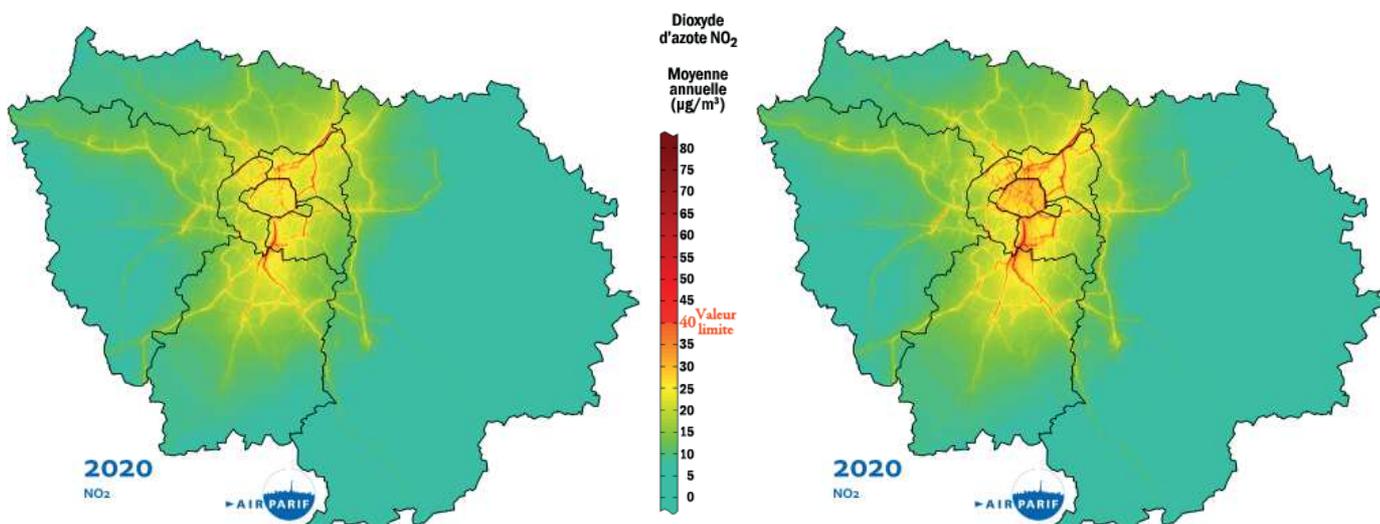
**-30%**

de baisse des concentrations annuelles de NO<sub>2</sub> à Paris en 2020 dont **2/3** liés aux mesures de restrictions (confinement...)

## Dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) - sur toute l'année 2020

Situation 2020 réelle  
avec mesures de restriction

Situation théorique 2020  
sans mesures de restriction

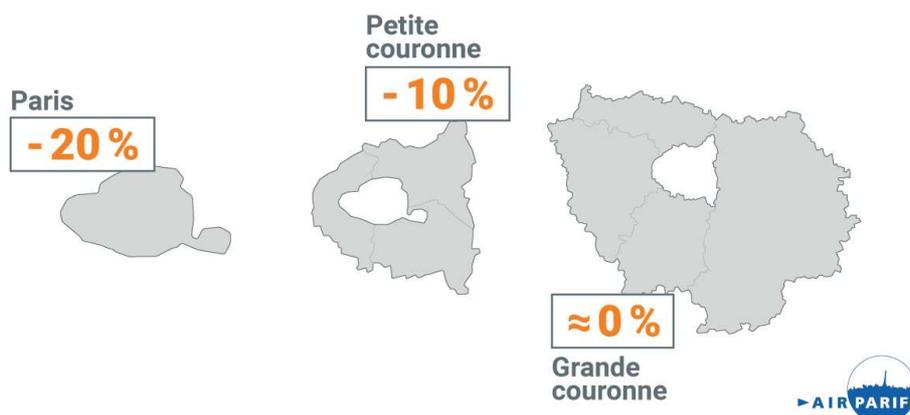


En revanche, en grande couronne, la baisse enregistrée est essentiellement liée à l'évolution tendancielle et l'impact conjoncturel des mesures de restriction est marginal.

Malgré ces baisses de concentrations notables, en particulier dans le coeur de l'agglomération, la valeur limite réglementaire en NO<sub>2</sub> (qui correspond également au seuil recommandé par l'OMS) est toujours dépassée à proximité des principaux axes routiers en 2020, particulièrement dans le coeur dense de l'agglomération parisienne. Cependant, le nombre de personnes potentiellement exposées

à ce dépassement est en forte diminution en 2020 par rapport à l'année 2019 (près de 500 000 habitants en 2019 et moins de 100 000 en 2020). Cela s'explique par un effet de seuil, les concentrations moyennes annuelles enregistrées sur de nombreux axes étant passées en-dessous de la valeur limite (40 µg/m<sup>3</sup>). Ce phénomène aurait été observé également sans mesures de confinement en 2020, du fait de l'évolution tendancielle et de conditions météorologiques particulièrement dispersives ; il a néanmoins été accentué de manière conjoncturelle par les mesures de restriction d'activités liées à la pandémie.

### IMPACTS DES MESURES DE RESTRICTION LIÉES À LA SITUATION SANITAIRE SUR L'ENSEMBLE DE L'ANNÉE 2020 pour la pollution de fond en dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>)



## INTERVIEW DE SYLVIA MEDINA, COORDINATRICE DU PROGRAMME DE SURVEILLANCE POLLUTION DE L'AIR ET SANTÉ À SANTÉ PUBLIQUE FRANCE.



### Quels ont été les bénéfices pour la santé en lien avec la baisse des niveaux de pollution observée pendant le confinement du printemps 2020 ?

Au niveau national, les bénéfices en termes de mortalité peuvent être estimés à environ 2 300 décès évités grâce à une diminution de l'exposition aux particules  $PM_{10}$ , et à environ 1 200 décès évités grâce à une diminution de l'exposition au dioxyde d'azote ( $NO_2$ ). Ces impacts sont majoritairement dus à des effets à long terme (diminution de la contribution de la pollution dans le développement de maladies chroniques pouvant conduire au décès), et dans une moindre mesure à des effets à court terme (diminution de la contribution de la pollution dans l'aggravation des symptômes de pathologies préexistantes). Il est à noter également que les bénéfices observés sont particulièrement marqués dans les zones urbanisées, qui ont connu les baisses de pollution les plus importantes. Ainsi environ 50 % des décès évités se concentrent dans les agglomérations urbaines de plus de 100 000 habitants. Ces bénéfices pourraient être encore plus importants pour les populations riveraines des grands axes de circulation.

Ces chiffres montrent qu'une baisse des niveaux de pollution permet des bénéfices immédiats et non négligeables pour la santé. Cette baisse est intervenue dans un contexte, celui de mesures de confinement prises en réponse à la crise épidémique, qui n'est évidemment pas souhaitable. Cependant, elle souligne qu'il est possible d'agir sur les niveaux de pollution liés aux activités humaines ; de nombreux enseignements peuvent être tirés de cette période, aussi bien en termes de politiques publiques, pour réduire la pollution à la source, que de comportements individuels (recours accru au télétravail, report sur les mobilités actives).

### Particules ( $PM_{10}$ ) et particules fines ( $PM_{2.5}$ )

À l'échelle de toute l'année 2020, l'impact des mesures de restriction sur les concentrations moyennes en particules est plus faible que pour le  $NO_2$ . Cela s'explique par une plus grande diversité des sources de particules. Le trafic routier représente ainsi seulement 17 % des émissions annuelles de particules primaires  $PM_{10}$  en Île-de-France. De plus, les baisses des émissions du trafic ont été en partie compensées par une augmentation des émissions du chauffage, notamment au bois, par rapport à une situation normale, les Franciliens ayant été davantage présents à leur domicile. Ce secteur représente 35 % des émissions primaires annuelles de particules  $PM_{10}$ . Enfin, certains secteurs émetteurs, comme l'agriculture, n'ont pas été concernés par les restrictions.

Compte-tenu des faibles baisses de concentrations attribuées aux mesures de restriction, celles-ci n'ont pas eu d'impact sur le dépassement des valeurs limites annuelles pour les  $PM_{10}$  et pour les  $PM_{2.5}$ , qui auraient probablement été respectées même sans la crise sanitaire et ses effets sur la réduction d'activités.

En revanche, la recommandation de l'OMS concernant les concentrations journalières de particules  $PM_{2.5}$  est toujours dépassée sur la quasi-totalité de la région Île-de-France en 2020 ; celle pour les  $PM_{10}$  est dépassée pour un Francilien sur deux. L'évaluation réalisée par Airparif montre que la proportion de population exposée à un dépassement de la recommandation annuelle de l'OMS en  $PM_{10}$  passe de 30 % en 2019 à 10 % en 2020. Sur cette baisse de 20 %, 15 % sont liés à l'évolution tendancielle et 5 % sont en lien avec les mesures de restrictions liées à la situation sanitaire (soit un bénéfice supplémentaire pour près de 500 000 personnes) ●



La Place du Panthéon (75005) pendant le premier confinement.

## CONCLUSION

La qualité de l'air s'améliore en Île-de-France depuis plusieurs années pour les polluants réglementés que sont le NO<sub>2</sub> et les particules PM<sub>10</sub> et PM<sub>2,5</sub>. Cependant, des dépassements des valeurs limites réglementaires ainsi que des recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) restent récurrents.

Il importe donc de distinguer les effets de cette amélioration tendancielle des effets conjoncturels occasionnés par les mesures de restrictions de certaines activités imposées par la crise sanitaire. C'est l'objet du travail d'évaluation fourni par Airparif. Cette évaluation de l'impact des mesures de restriction (notamment confinements et déconfinement) sur la qualité de l'air permet de tirer plusieurs enseignements : premièrement, qu'une réduction importante du trafic entraîne une amélioration conséquente de la qualité de l'air, et donc une baisse de l'exposition des habitants à des niveaux dangereux pour la santé ; deuxièmement, qu'une action multisectorielle est cependant nécessaire à une amélioration globale de la qualité de l'air, et que les secteurs du chauffage, dont le chauffage au bois, et de l'agriculture, doivent également faire l'objet de politiques publiques ambitieuses de réduction des émissions. Il apparaît en effet plus que jamais, à la lumière de l'épidémie de COVID-19, que la qualité de l'air reste un enjeu primordial de santé publique. Les liens avec le changement climatique ont également été mis en lumière par cette période sans précédent, avec une baisse de 30 % des émissions de CO<sub>2</sub> observée pendant le premier confinement. Si cette baisse n'engendrera pas de bénéfices à long terme, à cause de l'inertie climatique, elle démontre cependant que l'action publique sur les secteurs d'activité liés aux énergies fossiles (trafic routier et aérien en particulier), permet de faire baisser de manière significative les émissions de gaz à effet de serre.

## POUR ALLER PLUS LOIN

Scannez le QRcode pour pouvoir lire le document.



**SARS-CoV-2** : coronavirus 2 du syndrome respiratoire aigu sévère (acronyme de l'anglais *Severe Acute Respiratory Syndrome Coronavirus 2*, SRAS en français).

**COVID-19** : maladie infectieuse à coronavirus (acronyme de l'anglais *Coronavirus Disease 2019*), causée par le virus du SARS-CoV-2.

**Gouttelettes** : émises par l'activité respiratoire (parole, toux, chant...), les gouttelettes respiratoires sont en grande majorité composées d'eau et sont de taille relativement importante (10 µm et plus).

**Aérosols** : formés à partir de l'évaporation des gouttelettes respiratoires, ou émis directement par l'activité respiratoire, les aérosols contiennent des composés secs et sont de taille plus petite que les gouttelettes (entre 10 nm et 10 µm).

**PM<sub>10</sub>** : mélange de composés solides et liquides en suspension dans l'air ambiant, dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 10 µm.

**PM<sub>2.5</sub>** : mélange de composés solides et liquides en suspension dans l'air ambiant, dont le diamètre aérodynamique est inférieur à 2.5 µm.

## LE SAVIEZ-VOUS ?

Airparif est une association loi 1901, agréée par le Ministère de la Transition Écologique pour la surveillance et l'information sur la qualité de l'air en Île-de-France. Elle compte au sein de ses quatre collèges les différents acteurs de la qualité de l'air sur le territoire : services de l'État, collectivités territoriales, acteurs économiques ainsi qu'associations et personnalités qualifiées. Airparif rassemble donc autour d'elle tout un écosystème d'experts et d'acteurs de la recherche sur des domaines variés allant de la chimie de l'atmosphère à la santé publique (ORS Île-de-France, DIM QI<sup>2</sup>, LCSE...).

Association à but non lucratif, loi de 1901

7 rue Crillon 75004 PARIS / +33 1 44 59 47 64

[www.airparif.fr](http://www.airparif.fr)



Directeur de la publication : Jean-Félix Bernard

Rédaction/coordination éditoriale & graphique :

Airparif

Crédits photo : Airparif

Airparif est une association cofinancée de manière équilibrée par des subventions de l'État, des collectivités territoriales et des acteurs économiques, et des missions d'expertise.

Remerciements : Airparif tient à remercier tous les intervenants à la matinale AIRLAB sur les liens entre COVID-19 et qualité de l'air, et en particulier Sabine Host, Jean-François Doussin et Fabien Squinazi ; ainsi que Gilles Forêt, coordinateur DIM QI<sup>2</sup> (réseau de recherche francilien « Qualité de l'air, Impacts sanitaires et Innovations technologiques et politiques), pour son appui à l'organisation de cette matinale.

