



RÉPUBLIQUE FRANÇAISE



**OFFICE PARLEMENTAIRE D'ÉVALUATION
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES**

Note à l'attention des membres de l'Office

Pollution de l'air, gaz à effet serre et crise du COVID-19 : quelles interactions ?

Cette note a été présentée en réunion de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques le 14 mai 2020, par M. Jean-Luc Fugit, député.

A. L'impact du confinement sur la pollution de l'air et les gaz à effet de serre

Le confinement des populations afin de maîtriser l'épidémie de COVID-19 a été appliqué en France à partir du mardi 17 mars 2020 à midi. Une baisse d'activité drastique a suivi sa mise en place, notamment des activités les plus émettrices de pollution, telles que le trafic routier ou aérien. *A contrario*, le fait de confiner les populations à leur domicile, au tout début du printemps, avec des températures souvent basses, a entraîné une hausse de l'utilisation du chauffage résidentiel, lui aussi responsable d'émissions directes - par le chauffage au bois non performant par exemple - ou indirectes – selon le mix énergétique. D'après les premières estimations, en France, le trafic routier a diminué de 60 à 80 %, le trafic aérien autour de 90 % tandis que le chauffage a émis environ 15 à 20 % de plus que la moyenne avant confinement. Ces activités sont émettrices de différents gaz et particules, nocifs pour des raisons différentes, que l'on classera en deux catégories : les gaz à effets de serre (GES), comme le dioxyde de carbone ou le méthane, qui sont principalement suivis en raison de leur impact climatique, et les polluants de l'air intérieur et extérieur, dont les origines sont multiples (transports, industries, secteur résidentiel, agriculture...).

Secrétariats de l'OPECST :

Assemblée nationale : 01 40 63 26 81 – Sénat : 01 42 34 31 07

Parmi les polluants réglementés et suivis, quotidiennement pour certains, via le réseau des AASQA¹, pendant cette période de confinement, on peut citer les oxydes d'azote (NO et NO₂), communément appelés NO_x et majoritairement issus du trafic routier, le monoxyde de carbone (CO), émis par les combustions, et les particules fines connues sous les appellations PM10 et PM2,5 pour celles de taille inférieure, respectivement, à 10 µm et 2,5 µm, et dont les sources sont multiples.

Plusieurs techniques complémentaires permettent d'évaluer les concentrations en polluants dans l'atmosphère : les mesures au sol, qui permettent de mesures locales mais précises ; les modélisations, idéales pour prévoir et caractériser les phénomènes de transport ; et les mesures satellitaires, qui assurent une mesure globale et répétitive.

Dès le début du confinement, plusieurs équipes, en France ou ailleurs dans le monde, ont tenté de quantifier grâce à ces techniques l'impact de cette baisse d'activité inédite, mais non structurelle et temporaire, sur la qualité de l'air et les principaux GES. La présente note a pour but de présenter ces travaux en l'état, deux mois seulement après la mise en place du confinement, ainsi que leurs premiers résultats.

1. Les gaz à effet de serre : dioxyde de carbone (CO₂) et méthane (CH₄)

Au contraire des polluants de l'air, les gaz à effet de serre, notamment le dioxyde de carbone (CO₂) et le méthane (CH₄), connaissent de très faibles variations de concentrations dans l'atmosphère et sont difficilement mesurables par des instruments embarqués sur des satellites par exemple. De plus, leurs cycles saisonniers² demandent un suivi de long terme et donc des missions de longue durée.

Un enjeu supplémentaire consiste à distinguer les émissions naturelles de CO₂ des émissions anthropiques. En accumulant suffisamment d'observations, des schémas d'émissions suivant un cycle diurne/nocturne, correspondant au rythme de l'activité humaine, qui pourraient servir

¹ Les Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air, chargées de mesurer et d'étudier la pollution de l'air dans les différentes régions françaises. Elles sont regroupées au sein de la fédération ATMO France. Grâce à des stations de mesure fixes ou mobiles, elles mesurent au quotidien la qualité de l'air et les principaux polluants réglementés.

² Le CO₂ connaît des cycles saisonniers avec une baisse de sa concentration en été due à une augmentation de la densité des puits de carbone (couverture végétale maximale) et une hausse hivernale due à l'augmentation des activités émettrices.

à caractériser le « CO₂ anthropique », le « CO₂ naturel » ne subissant aucune variation journalière.

Il n'existe cependant à ce jour aucun satellite capable de mesurer avec précision les concentrations atmosphériques en CO₂. Le projet MICROCARB, développé par le CNES et dédié à la mesure du dioxyde de carbone par absorption dans l'infrarouge, sera lancé en 2021. En complément des stations de mesures au sol, il permettra de mesurer depuis l'espace les flux de CO₂ notamment dans des zones vulnérables comme l'Amazonie ou les pôles. Il sera suivi par le projet MERLIN destiné aux mesures de méthane.

Des méthodes complémentaires existent et reposent sur des réseaux de mesures au sol, comme le programme ICOS³ géré principalement par le Laboratoire des sciences du climat et de l'environnement (LSCE)⁴. Les stations, disposées un peu partout en France⁵, permettent d'observer d'une part, les variations saisonnières de la concentration du carbone dans l'atmosphère, dues aux variations de l'émission par les sources et de l'absorption par les puits de carbone, d'autre part, les tendances à long terme. L'accumulation de données permet de distinguer les flux de CO₂ d'origine anthropique des variations naturelles saisonnières, en suivant en parallèle le CO, qui n'est pas émis naturellement. Le LSCE a ainsi mis en évidence un rapprochement des concentrations respectives entre Saclay et le centre de Paris, ce qui suggère une baisse des émissions parisiennes mais cette conclusion reste à confirmer.

Le LSCE a aussi collaboré avec une équipe chinoise pour mesurer la diminution des émissions de CO₂ causée par la pandémie⁶, entre janvier et avril 2020, dans le monde et plus spécifiquement dans les pays les plus émetteurs. Les premiers résultats montrent que les émissions mondiales ont baissé de 6 % sur les trois premiers mois de 2020, soit 542 millions de tonnes de CO₂ évitées (Figure 1). Si le mois d'avril est aussi pris en compte, ce sont 886 millions de tonnes de CO₂ qui ont été évitées, ce qui équivaut à une baisse de 7,3 % sur quatre mois. La France a vu ses émissions diminuer de 7 % sur cette période. Pour rappel, afin de respecter l'Accord de Paris et l'objectif de neutralité carbone d'ici 2050, les émissions totales de CO₂ en France doivent diminuer de 3,3 % par an d'ici 2025⁷.

3 Integrated Carbon Observation System

4 <https://www.lsce.ipsl.fr/Phocea/Page/index.php?id=2>

5 Sur le plateau de Saclay, au Puy de Dôme et sur l'île d'Amsterdam (Terres australes Françaises)

6 <https://arxiv.org/abs/2004.13614>

7 https://www.hautconseilclimat.fr/wp-content/uploads/2019/09/hcc_rapport_annuel_grand_public_2019.pdf

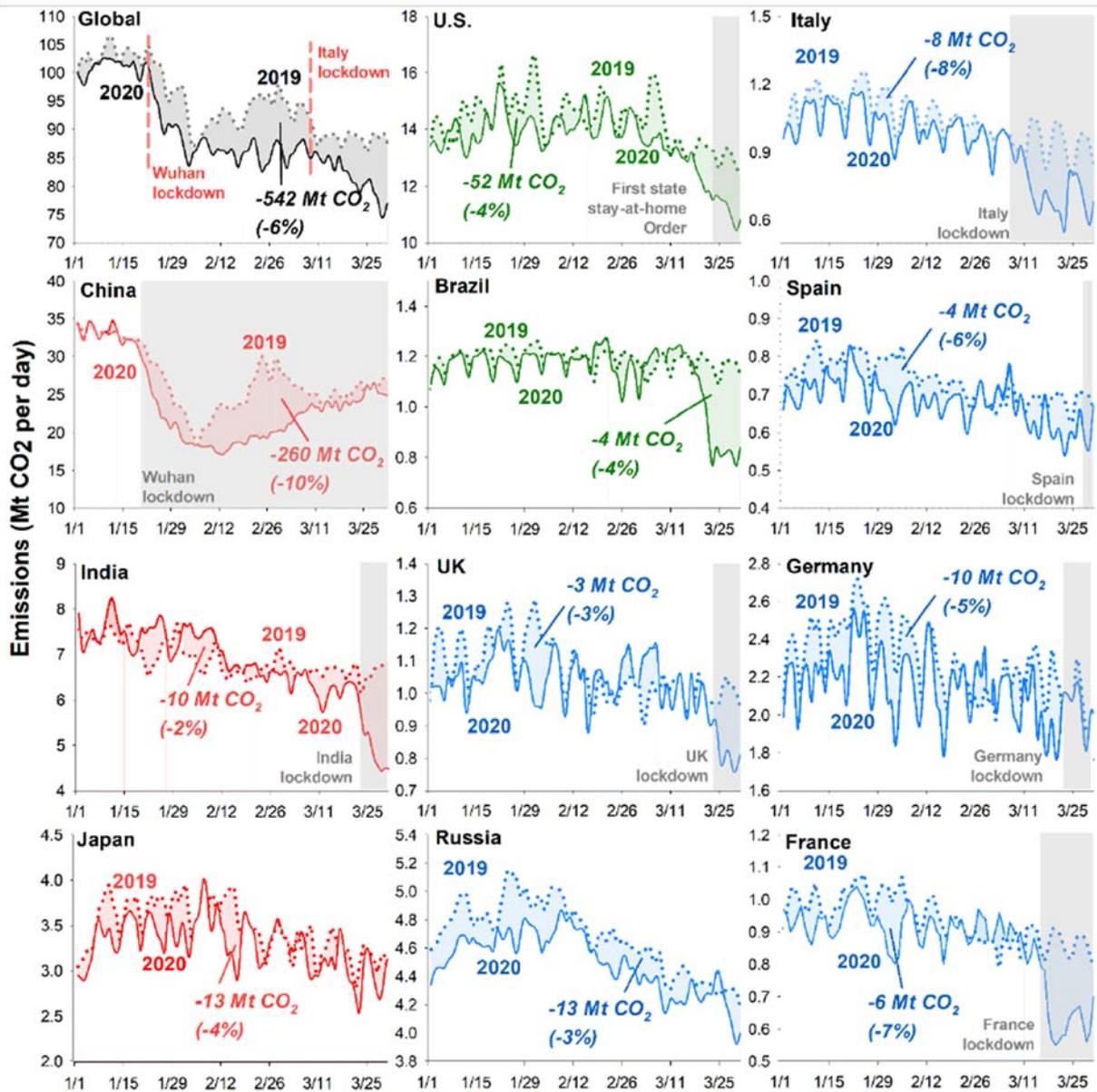


Figure 1. Evolution des émissions de CO₂, en millions de tonnes par jour, en 2019 et en 2020. La partie grisée correspond à la période de confinement.

Une modélisation réalisée par le cabinet de conseil Sia Partners⁸ estime que l'Europe verrait son bilan annuel d'émission de gaz à effet de serre (GES) baisser de 5 %⁹ dans l'hypothèse d'un confinement durant 45 jours. À titre de comparaison, une baisse de 5 % ramène les émissions à leur niveau de 2010.

8 <https://www.lesechos.fr/monde/enjeux-internationaux/le-confinement-reduirait-chaque-jour-les-rejets-de-co2-de-58-en-europe-1192082>

9 Ce qui correspond à 145 millions de tonnes de CO₂.

Pour limiter la hausse de température globale à 1,5° C¹⁰ d'ici 2100, les émissions mondiales de CO₂ doivent diminuer d'environ 8 % par an¹¹. Le fait que la diminution drastique de l'activité économique due au confinement n'ait réduit les émissions que de 6 % permet de mettre en perspective les efforts et les évolutions à mettre en œuvre à l'échelle mondiale pour contrer le réchauffement climatique.

2. Le monoxyde de carbone (CO)

L'instrument IASI embarqué sur le satellite Metop a mis en évidence une diminution des concentrations de monoxyde de carbone (CO) atmosphérique. Ce polluant est issu de réactions de combustion industrielles ou provenant du trafic routier ou du chauffage ; il est ainsi un bon traceur d'activité anthropique mais son impact sanitaire est faible en ce qui concerne la pollution de l'air extérieur¹². Sa durée de vie dans l'atmosphère variant entre un et trois mois, on commence à obtenir de premiers résultats sur l'effet du confinement sur sa concentration atmosphérique.

En Chine et en Italie du Nord, où le confinement a démarré le plus tôt, l'instrument IASI a pu mesurer une évolution nette (Figure 2).

En temps normal, en raison de l'accumulation hivernale - notamment due au chauffage ou à l'industrie - et du faible rayonnement solaire - qui diminue la destruction photochimique du CO - il est usuel d'observer un pic de monoxyde de carbone dans l'atmosphère pendant les mois de mars et avril. Les équipes du LATMOS traitant les données IASI ont comparé l'intensité du pic annuel entre 2018, 2019 et 2020 ; elles notent que, dans la région située entre Pékin et Wuhan, la concentration en CO a chuté de 50 %¹³ en 2020.

L'Italie du Nord a connu une diminution de teneur en CO de 10 à 15 %, et les États-Unis (côtes Est et Ouest) de 10 à 20 %, ce qui est nettement moins important qu'en Chine. Cette observation peut être mise en lien avec le fait que l'industrie du charbon est moins développée en Europe et en Amérique du Nord qu'en Chine.

10 Dans le cadre des scénarios du GIEC.

11 <https://www.unenvironment.org/interactive/emissions-gap-report/2019/>

12 Le monoxyde de carbone est un gaz hautement toxique pour l'être humain, plutôt connu pour être responsable d'intoxications via des combustions en milieux confinés. Son rôle en tant que polluant atmosphérique est aussi à prendre en compte, notamment à cause des activités de combustion.

13 <https://www.insu.cnrs.fr/fr/cnrsinfo/coronavirus-baisse-de-la-pollution-en-chine-et-en-italie-vue-depuis-lespace-avec-iasi>

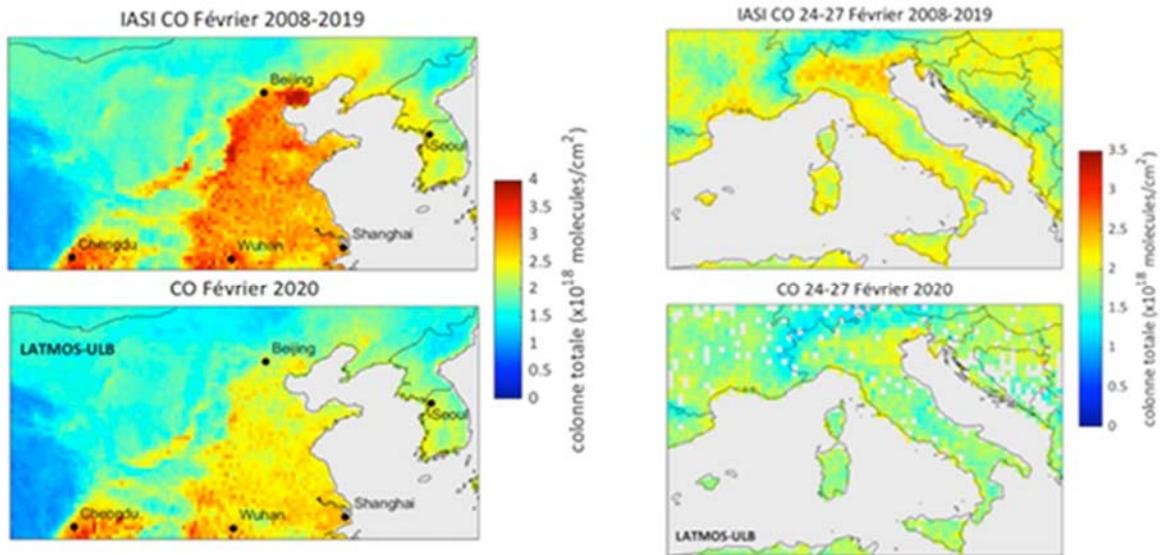


Figure 2 : Comparaison des concentrations atmosphériques en CO au-dessus de la Chine et de l'Italie entre la moyenne 2008-2019 (sans confinement) et février 2020 (période de confinement). Les données proviennent des observations de la sonde IASI.

3. Les oxydes d'azote (NO_x)

Les oxydes d'azote, NO et NO₂, dénommés « NO_x » figurent parmi les principaux polluants anthropiques. Polluants primaires mais aussi précurseurs de l'ozone troposphérique¹⁴, ils proviennent principalement du trafic routier à énergie fossile et industrielle et se retrouvent ainsi en majorité au-dessus de grands centres urbains ou de grandes zones industrielles.

En France, en Italie et en Espagne, les satellites du programme européen Copernicus¹⁵ observent depuis le début du confinement une diminution marquée de la concentration atmosphérique du dioxyde d'azote (Figure 3). Les conséquences de la baisse d'activité anthropique ont été visibles assez rapidement après le début des différents confinements nationaux car le temps de résidence du dioxyde d'azote dans l'atmosphère est évalué à quelques heures en été et un à deux jours en hiver.

14 On distingue l'ozone troposphérique, aussi appelé « mauvais ozone », de l'ozone stratosphérique, « le bon ozone ». Le premier est présent dans les basses couches de l'atmosphère (où nous respirons) et agit comme un polluant et un gaz à effet de serre. Plus présent les jours de fort ensoleillement (il provient de réactions photochimiques), il affecte fortement les voies respiratoires et irrite les yeux. À *contrario*, l'ozone des hautes couches atmosphériques agit comme une barrière protectrice contre les rayons UV solaires les plus agressifs.

15 Le programme Copernicus est le « programme européen de surveillance de la Terre » piloté par l'Agence spatiale européenne (ESA) et l'Union européenne. Il s'agit de mettre à disposition des satellites mais aussi des services, tels que le projet Prev'air qui mesure la qualité de l'air. Parmi les satellites du programme, le satellite Sentinel-5P orbite depuis octobre 2017 à une altitude 800 km. À chaque passage, il mesure la composition de l'atmosphère.

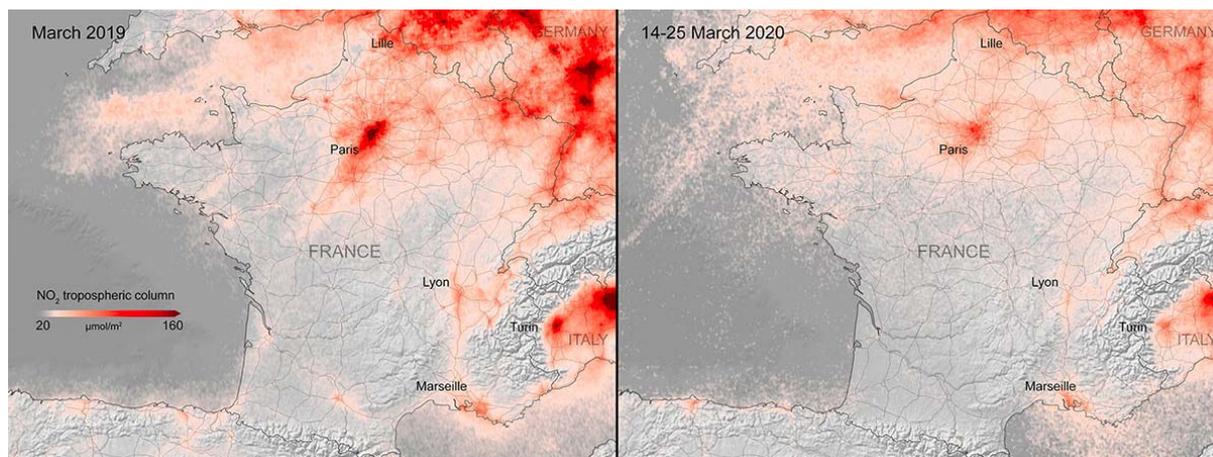


Figure 3. Comparaison des concentrations atmosphériques en NO₂ au-dessus de la France entre mars 2019 (sans confinement) et mars 2020 (période de confinement). Les données proviennent des observations du satellite Sentinel-5P du programme Copernicus (source : <https://copernicus.cnes.fr/fr/covid-19-chute-de-la-pollution-en-europe-avec-le-confinement>)

La comparaison entre la moyenne du mois de mars 2019 et celle de la semaine du 14 au 25 mars 2020 montre une diminution moyenne de 30 % de la concentration en NO₂ en Europe. L'impact du confinement sur cette évolution doit être quantifié précisément, car les mesures dépendent de plusieurs facteurs tels que les conditions météorologiques (situation anticyclonique ou brassage, couverture nuageuse...) et la chimie atmosphérique (réactivité et durée de vie du NO₂ dans l'atmosphère).

L'INERIS a mis en place des outils de simulation¹⁶ qui prennent en compte ces paramètres et permettent de calculer quelle était la concentration en dioxyde d'azote attendue au printemps 2020 – sans confinement - étant données les émissions et les conditions météorologiques. L'INERIS estime ainsi que le confinement a permis de réduire en moyenne de 50 % la pollution au NO₂ dans 100 des plus grandes villes françaises¹⁷.

Dans les différentes régions françaises, les mesures effectuées par les AASQA ont montré que la réduction des concentrations en dioxyde d'azote varie de 30 à 75 %, en fonction des spécificités locales¹⁸ (ce qui rejoint la moyenne de l'INERIS à 50 %).

¹⁶ <https://www.ineris.fr/fr/ineris/actualites/confinement-qualite-air-pollution-dioxyde-azote-baisse-plus-grandes-villes>

¹⁷ Si le confinement n'avait pas eu lieu, une concentration de l'ordre de 50 μg/m³ était attendue. Les mesures effectuées en période de confinement ont indiqué une valeur d'environ 25 μg/m³ dans les grands centres urbains (donc une baisse de 50 %).

¹⁸ <https://atmo-france.org/covid-19-focus-sur-lexposition-des-riverains-a-la-pollution-automobile-pres-des-grands-axes-avant-pendant-le-confinement/>

À Paris et dans la région Ile de France, où le trafic routier a diminué de près de 80 %, l'agence de surveillance de qualité de l'air AirParif a enregistré « *une amélioration de la qualité de l'air de l'ordre de 20 à 30 % dans l'agglomération parisienne, consécutive à une baisse des émissions de plus de 30 % pour les oxydes d'azote. Le long des axes de circulation, cet impact peut être encore plus important.* »¹⁹ (Figure 4).

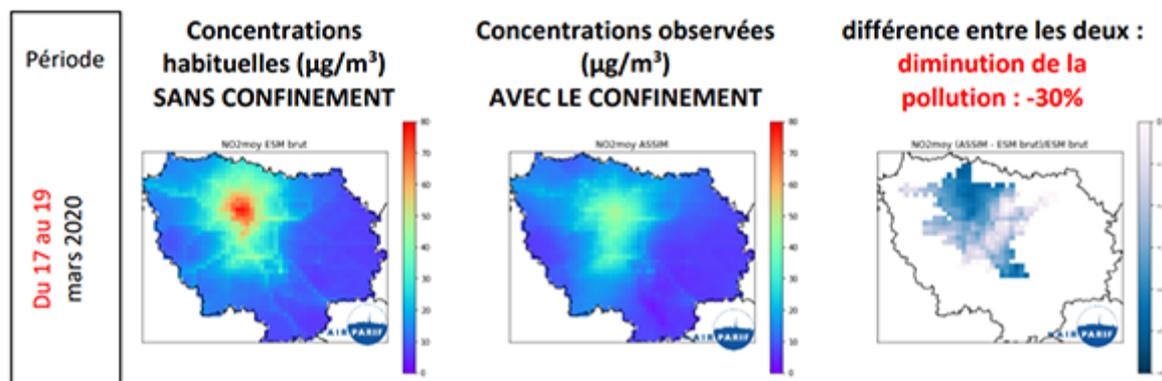


Figure 4 : Evolution de la concentration en dioxyde d'azote dans la région Ile de France entre une moyenne dans une situation sans confinement et la moyenne des trois premiers jours de confinement du 17 au 19 mars 2020 (source : AirParif).

Les conditions météorologiques, plutôt anticycloniques, prévalant au début du confinement, ont empêché une baisse plus significative. Il est très probable que la région parisienne aurait connu un épisode de pic de pollution pendant cette période sans le confinement, donc avec des conditions de trafic routier normales.

Les études françaises et européennes donnent des résultats très proches, avec une diminution de l'ordre de 30 % des concentrations en NOx, ce qui pourrait confirmer que les mesures de confinement relativement homogènes en Europe sont bien à l'origine de cette diminution.

4. Les particules fines

Les particules fines – PM10 ou PM2,5 – sont des polluants à fort impact sanitaire. En raison de leur petite taille (les PM10 sont 6 à 8 fois plus petites qu'un cheveu), ces particules peuvent pénétrer les voies respiratoires et, pour les PM2,5, atteindre les alvéoles les plus profondes.

¹⁹ <https://www.airparif.asso.fr/actualite/detail/id/280>

Leur concentration atmosphérique n'a pas diminué drastiquement après les premiers jours du confinement en France. Les sources de particules fines sont nombreuses et transfrontalières et toutes n'ont pas été impactées par l'arrêt des activités, par exemple le chauffage résidentiel non performant et les épandages agricoles. Le printemps reste la saison la plus propice aux pics de pollution, d'une part à cause des épandages agricoles et des conditions anticycloniques et, d'autre part, à cause de l'accumulation de polluants hivernaux, dus au chauffage non performant par exemple.

Un pic de pollution aux particules fines a même été observé sur le nord de la France le samedi 28 mars (Figure 5). En complément, les satellites du programme Copernicus ont pu mesurer ces concentrations précisément et surtout aider à retracer l'origine de ces particules fines.

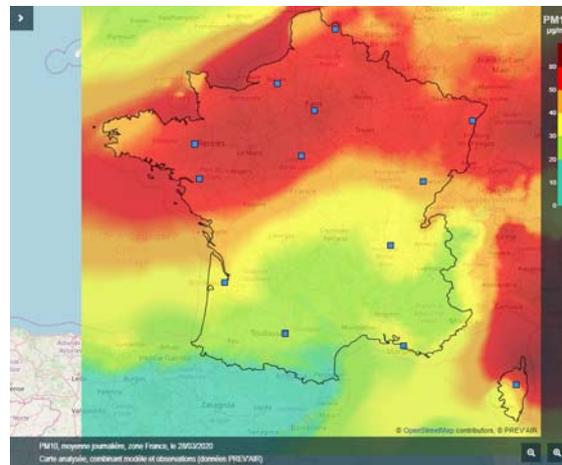


Figure 5. Pic de pollution aux particules fines observé dans le nord de la France le samedi 28 mars 2020. Données Prev'air

D'après les données Copernicus, le 28 mars, plus de 85 % de la pollution aux particules fines n'avait pas été émise sur le territoire français²⁰ et était due à des poussières telluriques, qui se déplacent par mouvements de masses d'air en haute altitude, et qui provenaient principalement d'Europe de l'Est. Ces mesures ont mis en exergue l'impact des contributions transfrontalières, qui sont loin d'être négligeables et qui, en temps normal, peuvent représenter jusqu'à 50 % des concentrations en particules fines lors d'épisodes de pic de pollution, notamment au printemps.

20 <http://labs.itk.fr/2020/03/29/pic-de-pollution-en-plein-confinement-le-28-mars-a-paris-lagriculture-doit-elle-etre-pointee-du-doigt/>

En région parisienne, l'agriculture et ses épandages printaniers de fertilisants à base d'ammoniac (NH_3)²¹ ont représenté ce jour-là un tiers de la pollution aux PM_{10} ²².

Même si sa durée de vie n'est pas très longue (quelques jours), l'ammoniac (NH_3) est aussi un précurseur d'autres polluants et particules fines²³ (Figure 6), notamment via des réactions chimiques avec les NO_x . Cette contribution saisonnière se répète chaque année au moment des épandages (de mars à mai environ) et peut ainsi apporter, à l'échelle régionale, une contribution majeure aux pics de pollution aux particules fines²⁴.

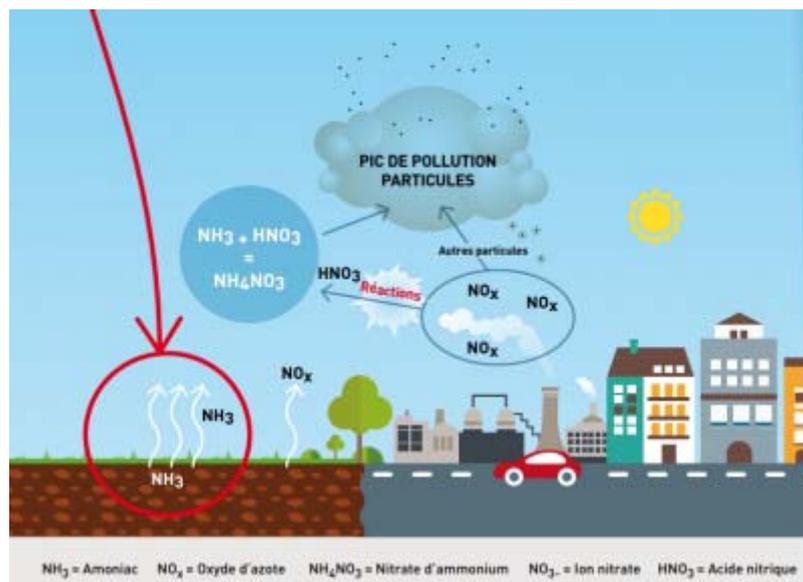


Figure 6. Cycles de réactions chimiques dont l'ammoniac NH_3 est le précurseur. En présence de NO_x à proximité, il est peut être responsable de pics de pollution aux particules fines. Source : <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/agriculture-et-qualite-de-lair>

Avec le confinement, la baisse du trafic routier et l'arrêt d'une partie de l'activité industrielle a permis de mieux caractériser les autres sources de pollution aux particules fines, en prenant en compte les spécificités régionales (météorologie, géographie, relief... etc.) et saisonnières (printemps). Du côté des activités anthropiques, en plus des épandages agricoles, les brûlages de biomasse et le chauffage résidentiel au bois non performant sont largement contributeurs. Il convient d'y ajouter les contributions « naturelles », que sont le sable²⁵, les poussières ou le sel de mer.

21 Pour en savoir plus sur le lien entre agriculture et pollution aux particules fines : <https://www.atmo-auvergnerhonealpes.fr/article/agriculture-et-qualite-de-lair>

22 <http://labs.itk.fr/2020/03/29/pic-de-pollution-en-plein-confinement-le-28-mars-a-paris-lagriculture-doit-elle-etre-pointee-du-doigt/>

23 On notera que l'ammoniac ne fait pas partie des polluants réglementés.

24 Le nitrate d'ammonium (NH_4NO_3), dérivé de l'ammoniac, peut représenter jusqu'à 70 % de la concentration totale en particules fines dans l'atmosphère.

25 Le sable du Sahara contribue régulièrement aux pics de pollution aux particules fines en France.

Conclusion :

La situation inédite que représente le confinement engagé à la mi-mars a eu des effets quantifiables sur la qualité de l'air à différentes échelles que ce soit dans le monde, en Europe ou en France mais aussi à des échelles plus locales. La complémentarité des moyens satellitaires, des modélisations et des mesures au sol a permis de caractériser ces effets sur les gaz à effet de serre et sur les polluants de l'air. Pour ces derniers, la diminution des activités les plus polluantes, telles que le trafic routier, le trafic aérien ou l'industrie, a eu un impact direct sur les concentrations atmosphériques en NO_x ou en CO, les deux étant fortement irritants pour les voies respiratoires. Les particules fines sont un cas particulier : elles proviennent de différentes sources, naturelles (sable, sel marin...) ou anthropiques (chauffage résidentiel non performant, épandages agricoles, brûlages de déchets verts, transports utilisant des énergies fossiles...). La baisse de certaines activités n'a pas suffi pour faire diminuer de façon significative la concentration atmosphérique en particules fines, et un pic de pollution a même été observé fin mars.

En ce qui concerne les gaz à effet de serre, leur dynamique lente et à grande échelle impose des études sur des temps longs, et après deux mois de confinement, les premiers résultats proviennent principalement de modélisations. Les baisses d'émissions de CO₂ calculées – 5 % pour l'Europe et 7 % pour la France – sont à mettre en regard des limitations d'activités résultant du confinement et des objectifs de réduction des émissions de GES fixés pour respecter les engagements climatiques d'ici 2050.

B. La pollution de l'air, facteur aggravant de l'épidémie de Covid-19 ?

L'effet sur la santé de la pollution de l'air est une cause croissante de préoccupation, en particulier dans les grandes agglomérations. Il est légitime de s'interroger sur une éventuelle sensibilité supérieure des individus exposés à la pollution atmosphérique lors de l'actuelle crise du Covid-19, notamment dans la perspective de mesures spécifiques de protection passant par une réduction des émissions de polluants atmosphériques pour mieux lutter contre les effets de l'épidémie.

1. La pollution de l'air favorise-t-elle la propagation du virus ?

1.1- La transmission du SARS-Cov-2 : une contamination humaine de proximité.

Comme le rappelle le Haut Conseil de la santé publique (HCSP) dans son avis du 8 avril 2020²⁶, les virus respiratoires peuvent se transmettre de différentes façons. Les principales modalités de transmission du SARS-CoV-2 sont **l'inhalation de gouttelettes** contenant des particules virales (d'une taille d'environ 5 à 10 µm) émises par des patients infectés lorsqu'ils toussent, éternuent, ou même tout simplement parlent, et la **transmission par contact** de ces mêmes particules, avec la bouche, le nez, ou les muqueuses des yeux.

Le HCSP distingue deux modes de contamination :

- Il indique dans son avis que « *la transmission de personne à personne se produit lorsqu'une personne infectée émet des gouttelettes contenant des particules virales en toussant, en éternuant et en parlant. Ces gouttelettes atterrissent sur la muqueuse respiratoire ou la conjonctive d'une autre personne, généralement à une distance d'environ deux mètres, mais peut-être plus loin* ».

- Il ajoute que « *les gouttelettes peuvent également se déposer sur des objets fixes ou mobiles et peuvent être transférées à une autre personne lorsqu'elle entre en contact avec ces objets. Bien que les données soient peu nombreuses, les éléments disponibles suggèrent que le virus*

²⁶ <https://www.hcsp.fr/Explore.cgi/AvisRapportsDomaine?clefr=808>

peut rester infectieux sur des surfaces à température ambiante pendant une période pouvant aller jusqu'à 9 jours. Cette durée est plus courte à des températures supérieures à 30°C ».

La transmission peut aussi se faire à travers des aérosols, qui sont des microgouttelettes plus stables dans l'air que les gouttelettes. Si la stabilité des aérosols dans l'air est beaucoup plus grande que les gouttelettes, le HCSP rappelle que la demi-vie d'élimination du virus est d'environ 1,1 heure sur des particules fines en suspension dans l'air générées expérimentalement. Il y a une **réduction rapide de l'infectiosité virale dans les aérosols**. Par ailleurs, si les particules virales diffusées par une personne infectée peuvent rester dans l'air en suspension :

- d'une part, **l'effet de dilution** en milieu extérieur va être prépondérant et la probabilité qu'une particule aéroportée contenant des virus soit inhalée avec une charge infectante suffisante paraît faible²⁷.

- d'autre part, les **UV contribuent en milieu extérieur à une disparition rapide des virus**.

La transmission du SARS-CoV-2 est donc **principalement une transmission de proximité et relativement rapide**, par inhalation de particules virales portées par des gouttelettes ou par contact avec des surfaces sur lesquelles le virus a été déposé.

1.2- Le rôle discutable des particules fines dans la propagation du SARS-CoV-2.

Une étude publiée par des scientifiques italiens²⁸ à la mi-mars a analysé le **lien entre la pollution aux particules fines (PM₁₀ et PM_{2,5}) et la progression du nombre de cas de patients infectés** en Italie. Cette étude fait référence à des études antérieures, notamment celle montrant qu'il existe une corrélation entre la diffusion du virus respiratoire syncytial chez des jeunes enfants et une forte concentration de particules fines dans l'air. Elle fait aussi référence à une étude de 2010 montrant que le virus de l'influenza aviaire peut être diffusé sur longue distance lors de tempêtes. Les auteurs de l'étude suggèrent que les **particules fines constituent un vecteur efficace pour le transport, la propagation et la prolifération des infections**

27 Il convient cependant de réserver le cas des personnes intervenant en milieu clos, notamment les personnels de santé affectés dans des services qui accueillent des patients du Covid-19. Pour ces personnels de santé, le risque de contamination par aérosol est plus important que pour la population générale.

28 http://www.simaonlus.it/wpsima/wp-content/uploads/2020/03/COVID19_Position-Paper_Relazione-circa-l%E2%80%99effetto-dell%E2%80%99inquinamento-da-particolato-atmosferico-e-la-diffusione-di-virus-nella-popolazione.pdf

virales et qu'elles sont un **substrat propice** à la diffusion du virus. En observant la progression des cas de Covid-19 en Lombardie et le niveau de pollution aux particules fines constaté 14 jours auparavant, **l'étude italienne conclut que le taux d'augmentation des cas de contagion pourrait être lié à la pollution par ces particules atmosphériques, qui exercerait ainsi un effet « vecteur » et « amplificateur » de l'épidémie.**

Les conclusions de l'étude italienne font cependant l'objet d'un certain nombre de réserves et critiques :

- la société italienne des aérosols (IAS) a rapidement estimé que la **corrélation observée n'impliquait pas une relation de causalité**, en soulignant que des facteurs météorologiques pouvaient aussi expliquer les phénomènes observés²⁹.

- il existe en outre un **biais important dans l'étude italienne : les régions les plus polluées sont aussi les plus denses**, et cette densité pourrait aussi expliquer une propagation plus forte du virus.

En l'état des connaissances actuelles, **la transmission du virus par les particules fines n'apparaît pas établie**. Il conviendrait toutefois de vérifier l'hypothèse d'une stabilisation des aérosols contenant le virus si celui-ci s'associait à des particules fines en suspension.

2. Le rôle de la pollution de l'air dans la mortalité par Covid-19 commence à être documenté.

2.1- La pollution de l'air, facteur de détérioration de la santé des populations.

Le lien entre santé et qualité de l'air est reconnu par l'OMS³⁰. En France, Santé Publique France estime que 48 000 personnes décèdent chaque année de la pollution de l'air. Les effets délétères des polluants atmosphériques sur la santé résultent non seulement d'épisodes aigus ayant des conséquences à court terme, mais aussi de l'exposition à une pollution chronique.

29 http://www.iasaerosol.it/attachments/article/96/Nota_Informativa_IAS.pdf

30 [https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-\(outdoor\)-air-quality-and-health](https://www.who.int/fr/news-room/fact-sheets/detail/ambient-(outdoor)-air-quality-and-health)

Les pics de pollution, déclencheurs et accélérateurs des risques sanitaires

Comme le rappelle Santé Publique France, l'exposition à des polluants atmosphériques peut produire à court terme, c'est à dire le jour même ou dans les jours qui suivent, des effets sanitaires délétères chez les individus :

- **symptômes irritatifs** au niveau des yeux, du nez et de la gorge ;
- **aggravation des pathologies respiratoires chroniques** (asthme, bronchite...) ou survenue d'un **infarctus du myocarde**.

Une étude épidémiologique portant sur 17 villes françaises publiée en 2015³¹ montrait qu'une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de PM₁₀ du jour et des cinq jours précédents se traduisait par une augmentation de 0,5 % de la mortalité non accidentelle. L'excès de risque est doublé pour les personnes de 75 ans et plus. Au-delà des particules fines, ces études montrent que l'augmentation du taux d'ozone et de dioxyde d'azote dans l'air accroît la mortalité et les hospitalisations pour causes respiratoires en été.

L'exposition chronique aux polluants atmosphériques, cause de multiples pathologies

De nombreuses études montrent aussi le rôle à long terme de la pollution atmosphérique sur la perte d'espérance de vie et la mortalité. La pollution de l'air est ainsi reconnue comme étant à l'origine du développement de maladies cardiovasculaires, de maladies respiratoires ou encore du cancer du poumon.

Plusieurs mécanismes ont été mis en évidence : une **toxicité directe** sur les cellules pouvant entraîner des altérations génétiques, une **action indirecte** à travers une réaction inflammatoire et un stress oxydatif, ou encore un affaiblissement des mécanismes de défense de l'organisme.

Santé Publique France indique ainsi **qu'au niveau cardiovasculaire**, on observe une réduction de la variabilité du rythme cardiaque, une augmentation de la pression artérielle et de la coagulabilité sanguine et une progression de l'athérosclérose conduisant au développement de maladies coronariennes (infarctus du myocarde) et d'accidents vasculaires cérébraux.

Au niveau respiratoire, on observe une réduction de la capacité respiratoire, une augmentation de la réactivité bronchique, une croissance cellulaire anormale pouvant conduire au développement d'une bronchopneumopathie chronique obstructive, de l'asthme, d'infections respiratoires inférieures, et dans certains cas à un cancer du poumon.

De nouvelles études montrent aussi un rôle de la pollution de l'air sur les **troubles de la reproduction, les troubles du développement de l'enfant, les affections neurologiques et le diabète de type 2**.

³¹ <https://www.santepubliquefrance.fr/determinants-de-sante/pollution-et-sante/air/documents/article/impact-a-court-terme-des-particules-en-suspension-pm10-sur-la-mortalite-dans-17-villes-francaises-2007-2010>

2.2- Le précédent du SARS-Cov-1.

Apparu fin 2002, un coronavirus causant un syndrome respiratoire aigu sévère avait circulé en Asie jusqu'en 2004. Une étude chinoise³², publiée en novembre 2003 dans la revue *Environmental Health* avait alors analysé le lien entre la pollution de l'air et les décès liés à ce nouveau virus. Elle **mettait en évidence un lien entre pollution de l'air et mortalité du fait du SARS-CoV-1** ainsi quantifié :

- un risque de décès augmenté de 84 % pour les patients des régions modérément polluées par rapport à ceux des régions peu polluées ;
- un risque doublé pour les patients des régions très polluées par rapport à ceux des régions peu polluées.

2.3- Des informations encore très limitées sur un risque accru de mortalité par Covid-19 des personnes exposées à un épisode aigu de pollution atmosphérique.

Les mécanismes biologiques généraux à l'œuvre sur le système respiratoire lors des épisodes de forte pollution atmosphérique laissent penser que le SARS-CoV-2 serait susceptible de se développer plus facilement lors de ce type d'épisode : une inflammation bronchique pourrait en effet faciliter l'entrée des virus dans l'épithélium respiratoire.

On dispose cependant de peu d'études sur l'association entre le Covid-19 et une exposition de court terme à la pollution de l'air. Une étude chinoise³³ en cours de publication dans la revue *Science of the Total Environment* portant sur 6 polluants de l'air (PM_{2.5}, PM₁₀, SO₂, CO, NO₂ and O₃) relevés dans 120 villes chinoises entre le 23 janvier et le 29 février 2020 met en évidence **qu'une augmentation de 10 µg/m³ de ces polluants entraîne 14 jours plus tard une hausse des cas de Covid-19 confirmés**, sauf pour le SO₂. Cette étude ne permet toutefois pas de conclure sur la gravité de ces cas.

32 <https://ehjournal.biomedcentral.com/articles/10.1186/1476-069X-2-15>

33 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S004896972032221X>

2.4- L'exposition chronique aux polluants atmosphériques, possible facteur d'une gravité accrue du SARS-Cov-2.

2.4.1- Un risque accru lié à l'exposition aux particules fines.

Les **particules fines ont une action pro-inflammatoire et oxydative** au niveau de l'appareil respiratoire et du reste de l'organisme, et affaiblissent le système immunitaire. On peut ainsi penser qu'elles entravent la capacité de l'organisme à lutter contre le Covid-19.

Une étude publiée au début du mois d'avril 2020 par des chercheurs de l'école de santé publique de l'université d'Harvard³⁴ montre que l'exposition chronique à un niveau de pollution particulaire (PM_{2,5}) préexistant élevé augmente le risque de mortalité par le Covid-19.

L'étude s'appuie sur des données assez complètes, puisqu'elle couvre 3 000 comtés représentant 98 % de la population des États-Unis. Les auteurs ont adopté une méthodologie permettant de neutraliser certains biais d'analyse : densité de population, obésité, niveaux de pauvreté, tabagisme ou encore nombre de lits d'hôpitaux et de tests disponibles. New-York a été exclue des résultats de l'étude du fait de ses spécificités dans la crise du Covid-19 ainsi que les comtés ayant connu moins de 10 cas de Covid-19 confirmés.

Les auteurs calculent qu'une augmentation de l'exposition chronique des individus de seulement 1 µg/m³ de PM_{2,5} conduit à une **augmentation de 8 % du taux de mortalité par Covid-19**. Or, une augmentation de 1 µg/m³ de PM_{2,5} est relativement faible. Pour mémoire, les pics de pollution peuvent entraîner une augmentation de pollution de plusieurs dizaines de µg/m³. L'exposition à long terme aux particules fines serait donc un facteur de risque important de mortalité par Covid-19 pour les patients infectés.

Une étude portant sur 324 villes en Chine, prenant en compte les habitudes de déplacement, le climat, l'âge, la pauvreté et le tabagisme va dans le même sens : elle estime qu'une augmentation de 10 µg/m³ du taux de PM_{2,5} au cours des 5 années précédant l'apparition du SARS-CoV-2 augmente de 15 % les cas de patients infectés et de 10 % le nombre de cas sévères³⁵.

34 <https://projects.iq.harvard.edu/covid-pm>

35 <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.21.20073700v1>

2.4.2- Un risque également accru lié à l'exposition au dioxyde d'azote.

Une exposition chronique plus forte au dioxyde d'azote semble également constituer un facteur aggravant pour les malades du Covid-19. Gaz irritant, le dioxyde d'azote provoque une **augmentation de l'inflammation des voies respiratoires avec une réduction de la fonction pulmonaire** et de l'immunité face aux infections.

Une étude préliminaire de Yaron Ogen, chercheur à l'Institut des sciences de la terre de l'Université Martin Luther de Halle, publiée dans la revue *Science of Total Environment*, analyse ainsi le lien entre l'exposition au NO₂ et la mortalité durant l'épidémie de Covid-19 en France, Allemagne, Italie et Espagne³⁶. Elle indique que 78 % des morts résidaient dans seulement 5 régions situées en Italie du Nord et autour de Madrid, où l'on observe les plus fortes concentrations de NO₂ et une géographie particulière qui empêche la dispersion de la pollution atmosphérique. Elle établit un lien entre forte concentration de NO₂ et mortalité par Covid-19.

L'étude précitée sur 324 villes en Chine indiquait pour sa part qu'une différence de 10 µg/m³ au cours des 5 années précédant l'apparition du SARS-CoV-2 du taux de concentration de NO₂ entraînait une hausse de 22 % des patients infectés par le Covid-19 et de 19 % des cas sévères.

Dans le même sens, une autre étude du 28 avril 2020 de l'unité de toxicologie de l'Université de Cambridge portant sur les cas de Covid-19 et les décès par Covid-19 en Angleterre³⁷ estime qu'une augmentation de la concentration en oxyde d'azote (NO) et en dioxyde d'azote (NO₂) a un effet significatif sur les cas et sur les décès liés au Covid-19 et que l'ozone (O₃) n'a pas d'effet sur le nombre de cas mais en a un sur la mortalité par Covid-19.

Les premiers résultats de ces études suggèrent que **l'exposition au dioxyde d'azote est un facteur de gravité du Covid-19 plus important encore que l'exposition aux particules fines**, alors que celles-ci sont considérées en général comme posant davantage de problèmes à long terme pour la santé des populations.

36 <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S0048969720321215>

37 <https://www.medrxiv.org/content/10.1101/2020.04.16.20067405v3>

Conclusion : une nécessaire prudence dans l'interprétation des études disponibles

D'une manière générale, l'exposition à une pollution atmosphérique forte **favorise le développement de maladies chroniques et diminue la réponse immunitaire de l'organisme face à des infections**. Le stress respiratoire chez les personnes infectées par le SARS-CoV-2 pourrait être accru par cette fragilisation préalable due à la pollution et aggraver l'infection. Par ailleurs, les patients souffrant de maladies pulmonaires et cardiaques chroniques causées ou aggravées par une exposition durable à la pollution atmosphérique paraissent moins capables de lutter efficacement contre les infections pulmonaires et risquent davantage de décéder.

Si la pollution de l'air ne semble pas jouer massivement sur la transmission du virus, elle peut être considérée comme un **cofacteur du risque de mortalité par Covid-19** des personnes infectées.

Nous manquons encore d'études pour apporter un éclairage solide. Les études publiées ces dernières semaines n'ont pas été revues par les pairs. Par ailleurs, des études étiologiques seront nécessaires pour affirmer avec certitude le rôle des polluants atmosphériques dans la mortalité par Covid-19 et mettre en évidence les mécanismes d'action à l'œuvre. De nombreux travaux de recherche ont été initiés depuis le début de la crise du Covid-19 et il conviendrait de coordonner à l'échelle européenne les efforts en faveur d'une meilleure connaissance de l'effet des différents polluants de l'air sur les patients de Covid-19.

Si les facteurs environnementaux jouent un rôle dans la gravité de la maladie provoquée par le virus, la perspective d'une seconde vague doit conduire, en plus des gestes barrières destinés à limiter la propagation de l'infection, à **s'interroger sur la nécessité de mesures de réduction des polluants de l'air afin de réduire la gravité de l'infection**.

Qualité de l'air intérieur et confinement

Cette période de confinement nous rappelle aussi l'importance de la qualité de l'air intérieur, facteur essentiel à notre santé.

Nous passons généralement plus de 80 % de notre temps en espace clos, et en ce moment, une grande partie de la population ne se rend plus sur son lieu de travail mais est confinée dans son habitation.

C'est l'occasion de rappeler les « bons gestes » du quotidien pour garantir la bonne qualité de l'air intérieur que nous respirons : bien renouveler l'air de son logement ; vérifier les systèmes de chauffage et de climatisation ; utiliser des produits d'entretien ou de bricolage qui émettent peu de polluants dans l'air ; éliminer les poussières par chiffon, aspiration ou aération ; limiter les émissions dans l'air lorsque l'on cuisine ; éviter de fumer à l'intérieur...

C. Conclusion générale :

Un certain nombre de travaux, en France et dans le monde, s'intéressent aux interactions entre la pollution de l'air, les gaz à effet de serre et la crise sanitaire liée à l'épidémie de COVID-19. Les premiers résultats ont permis de mettre en évidence des interactions, mais les réponses restent encore, pour certaines, partielles et à confirmer.

A ce stade, l'OPECST recommande :

- que les travaux sur le sujet continuent, la fin de l'année 2020 pouvant être l'occasion d'en effectuer une nouvelle synthèse ;
- que la France prenne toute sa part à ces études, notamment au regard de son expertise en matière de mesures atmosphériques, qu'elles soient satellitaires, au sol ou via des modélisations ;
- que l'impact des polluants atmosphériques en situation de crise sanitaire soit mieux connu, en vue d'ajuster l'arsenal des réponses à la crise. Dans cette optique, il conviendrait de faciliter le rapprochement des données gérées par le système d'information sur la qualité de l'air et des données de santé.

Liste des experts auditionnés :

Mme Francelyne Marano, professeur émérite Université de Paris CNRS UMR8251.

M. Jean-Yves Le Gall, Président du Centre national d'études spatiales (CNES) ;
Mme Laurence Monnoyer-Smith, Conseillère Climat et Environnement auprès de M. Le Gall ;
M. Pierre Trefouret, directeur du cabinet de M. Le Gall.

Mme Cathy Clerboux, directrice de recherche au Laboratoire Atmosphères, Milieux, Observations Spatiales (LATMOS)/Institut Pierre Simon Laplace (IPSL).

Mme Sylvia Medina, Coordinateur du programme "Air et santé" et **M. Sebastien Denys**,
Directeur Sante-Environnement-Travail à Santé Publique France.

Mme Florence Rouil, Responsable du Pôle Modélisation Environnementale et Décision (DECI) à l'INERIS.

Mme Marine Tondelier, directrice générale d'ATMO France et les directeurs régionaux des AASQA.

M. Michel Ramonet, Chercheur CNRS, Coordinateur du réseau national de mesure des gaz à effet de serre (LSCE) ; **M. Philippe Ciais**, Directeur de recherche au CEA (LSCE), Membre de l'Académie des Sciences ; **M. Léonard Rivier**, Chercheur CEA, Directeur du Centre thématique Atmosphérique d'ICOS (LSCE).