

Pollution atmosphérique

Pr Thierry CHINET

Pneumologue, Centre hospitalier Ambroise Paré - Boulogne Billancourt

Je vous présenterai aujourd'hui des données générales sur les polluants et leurs effets à court et long termes sur la santé. Précisons tout d'abord, dans le cadre de cette intervention publique, que je n'ai pas de conflit d'intérêt à déclarer - si ce n'est que je possède un véhicule diesel équipé d'un filtre à particules !

Données générales

Chaque jour, nous devons inhaler 15 000 litres d'air, air dont la qualité détermine la santé de nos poumons. On estime que la pollution cause quelque 2 millions de décès prématurés par an dans le monde.

Il existe plusieurs définitions de la pollution atmosphérique. Je retiens celle du Conseil de l'Europe : « *Il y a pollution de l'air lorsque la présence d'une substance étrangère ou une variation importante de la proportion de ses constituants est susceptible de provoquer un effet nuisible, compte tenu des connaissances scientifiques du moment, ou de créer une gêne* ». Les aérocontaminants, qui restent localisés dans des espaces relativement réduits, ne sont pas considérés comme entrant dans le cadre de la pollution atmosphérique *per se*, mais dans celui de la pollution professionnelle ou domestique.

Sources des agents polluants

Les sources d'agents polluants sont multiples. Elles tiennent d'une part aux activités humaines : transformation d'énergie (combustion d'énergies fossiles), usines, interventions sur l'écorce terrestre (agriculture, constructions, mines...). Elles sont liées aussi à des processus naturels : volcanisme, incendies, océans, pollens, érosion de l'écorce terrestre par les vents, orages, etc.

Ces polluants primaires, d'origine anthropique ou naturelle, connaissent un cycle de vie : ils se déplacent sous l'effet des gradients thermiques et des vents et peuvent subir, au cours de ce processus, un certain nombre de transformations chimiques. Ils peuvent ainsi exercer des effets à des distances assez importantes de leur lieu d'émission.

1. Polluants en cause

a. Polluants primaires

Les polluants primaires sont directement issus des sources de pollution. On y trouve le monoxyde et le dioxyde d'azote, les poussières de diamètre inférieur à 10 microns (inhalables), les poussières fines de diamètre inférieur à 2,5 microns, les nanoparticules, le dioxyde de soufre, le méthane, les composés organiques non volatils (benzène, formaldéhyde), le monoxyde de carbone ou encore les hydrocarbures aromatiques polycycliques (benzo(a)pyrène).

b. Polluants secondaires

Les polluants secondaires résultent de la transformation des polluants primaires : ozone, particules, acides (notamment nitrique et sulfurique), aldéhydes, cétones ou encore les nitrates de peroxyacétyle. La formation de l'ozone par exemple résulte de réactions de photo-oxydation des composés carbonés en présence d'oxyde d'azote et de lumière. A l'occasion de ces réactions se forment également du nitrate de peroxyacétyle, de l'acide nitrique, des aldéhydes et des particules fines (ce qui représente la pollution photochimique).

c. Sources des principaux polluants

- **Particules**

Les sources des particules sont essentiellement les combustions industrielles, le chauffage, les usines d'incinération de déchets ménagers et les véhicules automobiles (combustion de diesel, usure des pneus, usure des freins). Les particules peuvent contenir des métaux lourds (plomb, mercure, arsenic, cadmium, nickel) dont certains ont des effets sanitaires extrêmement délétères.

- **Oxydes d'azote**

Ils résultent de combustions à haute température, notamment par les moteurs des véhicules. A la sortie du pot d'échappement, le mélange NO/NO₂ est de l'ordre de 90 % / 10 %. Au contact de l'oxygène de l'air, il se transforme en NO₂.

- **Polluants dérivés du soufre**

Ils trouvent leur source dans la combustion des fuels, des gazoles et des charbons (activités industrielles, raffinage, production d'électricité, véhicules diesel...).

- **Composés organiques volatils dont les hydrocarbures (benzène, formaldéhyde)**

Ils résultent de la combustion incomplète du carburant et de l'huile, ainsi que des activités de l'industrie pétrochimique.

- **CO**

Il provient de la combustion rapide et incomplète des carburants.

La part des différentes sources d'émission des polluants atmosphériques primaires a évolué au cours des dernières décennies. A titre d'exemple, le transport routier occupe une place plus importante qu'auparavant dans les émissions d'oxyde d'azote, mais sa part dans les émissions de composés organiques volatils s'est réduite. En Ile-de-France en particulier, le transport routier est le principal responsable des émissions d'oxyde d'azote et de monoxyde de carbone, devant les industries. Transport routier et industries émettent à parts égales des composés organiques volatils non méthaniques. Enfin, les industries sont en tête dans l'émission de dioxyde de soufre.

Localisation des polluants secondaires

Les polluants secondaires ne sont pas nécessairement localisés au même endroit que les polluants primaires. Les pics de concentration surviennent souvent à une certaine distance géographique. Ceci tient à plusieurs raisons. D'abord, il se produit un décalage temporel de la formation d'ozone par rapport aux émissions. Lors du pic de trafic automobile du matin, de grandes quantités de NO sont émises, qui sont transformées en NO₂.

Ce n'est que plus tard qu'apparaît l'ozone, avec la lumière - sachant que les vents ont pu décaler sa zone de formation.

Si l'on compare les moyennes annuelles de dioxyde d'azote et d'ozone en Ile-de-France en 2003 et en 2005, on constate une forte concentration de dioxyde d'azote à Paris, en 2003 comme en 2005. En revanche, il y a moins d'ozone dans l'agglomération parisienne que dans le reste de l'Ile-de-France. Cela tient au fait que sous l'effet des vents, l'ozone s'est formé à distance. Ensuite, l'ozone, quand il est formé, peut réagir avec le NO et redonner de l'oxygène et du NO₂.

Evolutions

1. Une baisse des émissions de la plupart des polluants primaires en France

Ces dernières années, l'évolution des polluants primaires en France est plutôt positive du fait des mesures prises par les autorités et des améliorations technologiques. On constate une baisse de la plupart des polluants primaires, en particulier du SO₂, des oxydes d'azote, des composés organiques volatils, du CO et dans une moindre mesure des poussières. En revanche, il s'est produit une augmentation du niveau moyen d'ozone dans l'agglomération parisienne et dans les zones rurales de la région.

2. Une augmentation des concentrations d'ozone

Comment expliquer que le polluant secondaire qu'est l'ozone augmente alors que les polluants primaires ont plutôt tendance à diminuer ? L'une des raisons est que la chimie atmosphérique n'est pas linéaire. La production d'ozone n'est pas strictement proportionnelle à la concentration d'oxyde d'azote mais connaît un pic. Lorsque le NO_x diminue, la réaction chimique favorise la formation d'ozone pendant un certain temps, avant de décroître dans un deuxième temps. Une autre raison est liée aux conditions météorologiques : l'augmentation de la température et de l'ensoleillement favorisent la formation d'ozone.

Changement climatique et pollution atmosphérique

Les experts considèrent que les changements climatiques vont probablement dégrader de manière générale la qualité de l'air. Le climat influence la production, le transport, la dispersion et le dépôt des polluants atmosphériques. Interviennent dans le climat la température, la pression atmosphérique, les vents, l'humidité de l'air et les précipitations. Dans certaines régions, les changements climatiques (augmentation des températures et diminution des précipitations) vont probablement accroître la fréquence et la sévérité des incendies. De même, les changements des vents et la désertification croissante peuvent augmenter le transport à grande distance de polluants atmosphériques. Les précipitations vont s'accroître dans certaines régions (notamment l'Europe du nord) et diminuer dans d'autres (notamment l'Europe du sud). Or la quantité de vapeur d'eau dans l'atmosphère a une influence sur la quantité d'ozone. En outre, les précipitations ont pour effet de laver les particules présentes dans l'air. A l'inverse, la hausse des température peut entraîner une plus grande dégradation chimique de certains polluants. Enfin, nous assisterons à un accroissement de la production de pollens et à une modifications de leur nature.

Illustration : exposition à la pollution à proximité du boulevard périphérique

Une étude réalisée en 2006 par la Mairie de Paris et Airparif a analysé l'exposition à la pollution à proximité du boulevard périphérique, entre les portes d'Arcueil et d'Italie (1,7 kilomètres). Ont été mesurés les polluants (NO₂, benzène, particules PM₁₀ et PM_{2,5}) en air ambiant et à l'intérieur de bâtiments recevant du public de part et d'autre de l'axe routier.

1. Déterminants des niveaux de polluants

L'étude révèle que les niveaux de polluants dépendent de plusieurs facteurs.

- **La distance à l'axe routier**

La décroissance liée à la distance varie selon les polluants : elle est rapide pour le benzène, moins rapide pour les particules et plutôt lente pour le NO₂ (qui diffuse donc plus loin).

- **La hauteur du prélèvement**

Quand on se trouve près de la source, le fait d'être en hauteur est plutôt favorable. Mais cet effet disparaît quand on s'éloigne de la source.

- **L'intensité du trafic routier**

Les teneurs les plus fortes en dioxyde d'azote sont relevées là où le trafic routier est le plus intense.

- **L'urbanisme**

L'urbanisme est moins important au nord du périphérique qu'au sud. Or la décroissance des niveaux de pollution est plus rapide au nord grâce à une meilleure dispersion.

- **La topographie spécifique de l'axe de circulation**

La configuration en tranchée entraîne une canalisation des émissions et par conséquent une influence spatiale plus limitée. La hauteur du boulevard périphérique joue également : lorsqu'on se trouve en contrebas du boulevard, les teneurs en polluants sont abaissées de 35 % pour le NO₂ et de 45 % pour le benzène.

- **Les conditions météorologiques**

La vitesse du vent joue un rôle dispersif. La direction du vent a également un impact sur les zones touchées par la pollution.

2. Conséquences sur l'air intérieur

Le délai de transfert des polluants de l'air extérieur vers l'air intérieur des locaux est d'environ une heure pour les différents polluants mesurés, avec des variations en fonction du taux de renouvellement d'air dans les bâtiments notamment.

Les concentrations de polluants mesurées à l'intérieur dépendent :

- de l'éloignement des locaux par rapport à l'axe de circulation ;
- de la hauteur des locaux ;
- de l'aération des locaux ;
- du pouvoir de dégradation du polluant : adsorption au contact des matériaux et du mobilier, réactivité chimique ;

- des sources d'émissions intérieures.

Effets cliniques des principaux polluants

Les données que je vais vous présenter reposent sur un faisceau d'informations apportées par des études épidémiologiques (cohortes, cas témoins) et des études expérimentales (physiopathologie, toxicologie, biologie) qui fournissent des explications aux phénomènes observés.

La nature et l'intensité des effets sanitaires de la pollution atmosphérique dépendent de plusieurs facteurs :

- le type de pollution : le mélange d'agents polluants varie selon les zones ;
- la susceptibilité individuelle : âge, facteurs génétiques, etc. ;
- la dose absorbée par le sujet, qui dépend de la concentration des agents polluants dans l'air, de la durée de l'exposition du sujet aux agents polluants (temps passé à l'extérieur) et de sa ventilation (exercice physique).

1. Effets cliniques à court terme

Les effets à court terme sont ceux que l'on constate quelques jours ou quelques semaines après exposition. Des études ont essayé de corréler au jour le jour le nombre d'événements médicaux ou de décès avec le niveau des polluants ambiants, en tenant compte des facteurs de confusion (jours fériés, épidémie de grippe, facteurs météorologiques). La littérature est très riche à cet égard.

Ces études montrent que les pics de pollution atmosphérique :

- augmentent la mortalité chez les malades atteints d'affections cardio-respiratoires chroniques ;
- augmentent les consultations en urgence et les admissions hospitalières pour causes respiratoires et cardio-vasculaires chez les malades atteints d'insuffisance respiratoire chronique, d'asthme ou de BPCO ;
- sont associés à une diminution de la fonction respiratoire chez l'enfant.

Le risque individuel est relativement faible, mais l'impact sanitaire collectif n'est pas négligeable.

Illustration : « *National Mortality and Morbidity Air Pollution Study (NMMAPS)* »

Une étude a porté sur 50 millions de personnes vivant dans les vingt plus grandes villes des Etats-Unis. Elle a constaté une augmentation de 0,21 % de la mortalité totale et de 0,31 % de la mortalité cardio-pulmonaire par augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} . Est également constatée une augmentation des admissions hospitalières de 1,5 % pour BPCO et de 1,1 % pour cause cardio-vasculaire par augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} . Il existe donc une relation démontrée entre les pics de pollution atmosphérique, et la morbidité et la mortalité totales et par maladies cardio-respiratoires. Les effets sont surtout observés en association avec l'ozone, les particules ainsi que les oxydes d'azote et de soufre. Rappelons toutefois que la pollution est plus complexe car elle mêle divers composants : les polluants mesurés ne sont

que des indicateurs. Les pathologies respiratoires principalement en cause sont l'asthme, la BPCO et les infections respiratoires. Les niveaux de pollution couramment observés dans les grandes métropoles urbaines entraînent un excès de risque sanitaire pour la population.

2. Effets cliniques à long terme (dix à vingt ans)

Les études à long terme sont moins nombreuses et difficiles à mener. En effet, il faut un certain nombre d'années pour que des maladies soient cliniquement décelables (par exemple le cancer bronchique). Les données actuelles sont susceptibles de refléter une exposition à une pollution datant d'il y a 10 à 20 ans. Il existe de nombreux facteurs de confusion potentiels, variables dans le temps et dans l'intensité. Les populations ont, en effet, des habitudes, des conditions de vie et des niveaux d'exposition à la pollution variables avec le temps.

Parmi les études de cohorte, les études transversales et les études cas témoins, on peut citer l'*American Cancer Society Study* (500 000 adultes résidant dans cinquante Etats des Etats-Unis suivis entre 1982 et 1998), qui a montré un lien entre l'exposition chronique et la mortalité en tenant compte de l'âge, du sexe, de l'origine ethnique, du tabagisme, du niveau éducatif, du statut marital, de l'indice de masse corporelle, de la consommation d'alcool, des habitudes alimentaires et des expositions professionnelles. L'étude révèle une augmentation de 6 % de la mortalité totale, de 9 % de la mortalité cardio-pulmonaire et de 14 % de la mortalité par cancer bronchique par augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$. L'effet de la pollution sur la mortalité par maladie cardiopulmonaire ou par cancer est plus important chez les non-fumeurs que chez les fumeurs.

Autre étude, la cohorte néerlandaise NLCS a suivi 4 500 adultes pendant huit ans. Elle a montré une relation statistiquement significative entre la mortalité cardiopulmonaire et le fait de vivre à proximité d'une route à grande circulation (risque relatif de 1,95).

L'étude française PAARC (Pollution Atmosphérique et Affections Respiratoires Chroniques) a porté sur 14 000 adultes suivis entre 1974 et 1999, vivant dans sept villes françaises. Elle fait apparaître un risque relatif de mortalité par cancer du poumon de 1,48 par augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 , et un risque relatif de mortalité cardiopulmonaire de 1,27 et de 1,06 par augmentation respectivement de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de NO_2 et de particules.

Il existe donc une relation entre l'exposition chronique aux particules fines et aux oxydes d'azote principalement et la mortalité globale (non accidentelle), la mortalité cardio-pulmonaire et la mortalité par cancer bronchique. Il est important de noter qu'il est difficile de rapporter les effets observés à tel ou tel polluant, la population étant exposée à un mélange de polluants et tous les polluants n'étant pas mesurés. La distance de l'habitation aux grands axes routiers paraît un élément déterminant pour la mortalité. Les personnes qui vivent dans les zones les plus polluées ont une espérance de vie réduite. Les effets cliniques observés dans les études à long terme sont plus importants que les effets de l'exposition à court terme. Enfin, il n'existe pas de seuil, c'est-à-dire de niveau de polluant au-dessous duquel il n'y aurait pas d'effet. En France, on estime que l'exposition aux particules fines $\text{PM}_{2,5}$ réduit de 9,3 mois l'espérance de vie (contre 11,6 mois en Allemagne et 8,7 mois au Royaume-Uni).

Des cofacteurs contribuent aux effets délétères de la pollution atmosphérique : facteurs individuels (âge, caractères génétiques, etc.), type de pollution et notamment combinaison de plusieurs agents polluants (par exemple particules + SO_2 + pollens), temps passé à l'extérieur,

niveau d'exercice physique, maladies chroniques de l'individu (notamment respiratoires et cardiaques), pollution intérieure et tabagisme.

3. Populations particulièrement à risque

Les enfants sont particulièrement exposés à la pollution car ils ont des poumons en pleine croissance, passent plus de temps à l'extérieur que les adultes, font davantage d'exercice physique et respirent plus par la bouche. Leurs défenses contre les toxiques inhalés ne sont pas totalement fonctionnelles, et leurs voies aériennes sont plus perméables. Il existe donc chez les enfants une relation entre l'exposition chronique à la pollution atmosphérique et un ralentissement de la croissance pulmonaire (effet qui semble réversible). On compte en outre de nombreux asthmatiques chez les enfants. Enfin, nombre de polluants atmosphériques ont été isolés dans le sang de cordon, témoignant de l'exposition des nouveau-nés avant leur naissance.

Les statistiques des hospitalisations au service des urgences à Madrid en fonction de la quantité de PM_{10} en $\mu g/m^3$ chez les enfants de zéro à neuf ans montrent une relation très nette entre les admissions hospitalières et le niveau de PM_{10} .

A l'échelle individuelle, une étude anglaise a inclus 64 enfants de huit à quinze ans non atteints d'affection respiratoire chronique. Leurs macrophages alvéolaires ont été recueillis par expectoration induite. Il s'avère qu'en fonction du contenu en carbone des macrophages alvéolaires, les paramètres de la fonction respiratoire de l'enfant diminuent.

Les autres populations à risques sont les personnes âgées et les personnes atteintes de maladies chroniques (en particulier cardiaques et pulmonaires).

4. Effets de la réduction de l'émission de polluants sur la santé

De nombreuses études ont montré que la réduction des polluants avait un effet sanitaire bénéfique. Lorsque le chauffage au charbon a été interdit à Dublin, on a constaté dans les mois suivants une diminution de la mortalité non traumatique et de la mortalité cardiovasculaire. Lorsqu'a été réduit le contenu en soufre des fuels à Hong-Kong, les concentrations atmosphériques en SO_2 ont diminué de 53 % dès la première année et on a observé une réduction des maladies respiratoires chez l'enfant et de la mortalité dans la population.

5. Conclusion

Dans les zones urbaines, le trafic routier est devenu la principale source d'émission des agents polluants, avec une augmentation de la pollution photo-oxydante. Les changements climatiques aussi vont modifier la pollution atmosphérique. Les personnes les plus fragiles sont les enfants, les personnes âgées et les malades atteints de maladies cardio-pulmonaires chroniques. La pollution atmosphérique augmente les risques de décompensation d'asthme, d'exacerbation de BPCO, d'infection respiratoire, de cancer bronchique et de mortalité globale. Les mécanismes biologiques en cause sont dominés par le développement d'un stress oxydatif intense qui entraîne une forte réponse inflammatoire locale et systémique.