«Pollution atmosphérique extérieure Réchauffement climatique et santé respiratoire »

PAPPE

Novembre 2015

1] Source des polluants atmosphériques. Joseph Kleinpeter, directeur de l'association de surveillance de la pollution atmosphérique (ASPA) en Alsace

2] Evolution des concentrations en polluants atmosphériques. Joseph Kleinpeter, directeur de l'association de surveillance de la pollution atmosphérique (ASPA) en Alsace

3] Rôle du réchauffement climatique dans l'évolution des polluants. Denis Caillaud, Professeur des Universités-Praticien hospitalier, CHU de Clermont-Ferrand

4] Mode d'action des polluants atmosphériques sur la santé. Frédéric de Blay, Professeur des Universités-Praticien hospitalier, Hospices civils de Strasbourg

5] Effets aigus des polluants atmosphériques. Denis Charpin, Professeur des Universités-Praticien hospitalier, Assistance publique-hôpitaux de Marseille

6] Effets à long terme. Isabelle Annesi-Maesano, directeur de recherche, EPAR UMR-S 707, INSERM, Paris

7] Bonnes pratiques/ Idées reçues. Denis Zmirou, Professeur des Universités-Praticien hospitalier, CHU de Nancy et directeur du département santé-environnement à l'Ecole des hautes études en santé publique, Rennes

8] Que penser du diesel. Gilles Dixsaut, membre de la Fondation du Souffle

9] Moyens de contrôle/maîtrise Isabelle Roussel. présidente de l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (A.P.P.A.)

Synthèse des textes « Pollution atmosphérique extérieure et santé »

1-LES POLLUANTS

Les sources (J. Kleinpeter) :

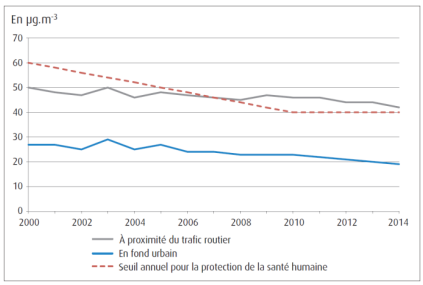
- La pollution a changé de nature : autrefois plutôt d'origine industrielle (poussières, oxydes de soufre), elle est aujourd'hui principalement dominée par les émissions ayant pour origine des installations de chauffage et des échappements de véhicules .

- L'ozone, représentant des polluants secondaires photochimiques, est un polluant particulier : Il n'est pas généré directement par les activités humaines mais formé dans la basse atmosphère à partir de polluants primaires précurseurs et sous l'action des U.V. Il a une diffusion régionale et prédomine en été.

- Le trafic routier est la principale source des oxydes d'azote qui sont toutefois en diminution. Les taux sont plus élevés en hiver et le long des axes routiers. Le chauffage résidentiel et le tertiaire (services dont commerces) représentent la source principale des particules fines (PM10). La part des transports diminue. Les particules plus fines (PM 2,5) génèrent davantage d'effets sanitaires. Les pics de pollution primaire peuvent être engendrés par accumulation locale (conditions anticycloniques) ou transport de polluants à longue distance.

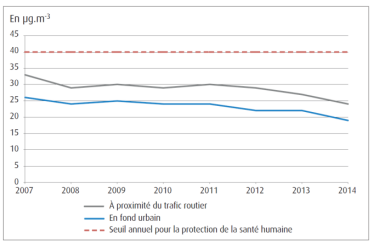
L'EVOLUTION DES TAUX DE POLLUANTS **(J. KLEINPETER)**

- Dans les pays développés, la qualité de l'air s'améliore lentement mais régulièrement, y compris en ce qui concerne les particules fines (PM2,5), mais les taux ne respectent pas encore certaines normes pour la protection de la santé.



Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015

Particules (PM10) : *Évolution des concentrations moyennes annuelles*



Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015

NO_2 - *Évolution des concentrations moyennes annuelles*

- Le réchauffement climatique va augmenter les dépassements des taux d'ozone en été et aussi la pollution particulaire du fait de la multiplication des feux de forêt (D. Caillaud, p. 9-10)

2-Les mecanismes d'action des polluants (F de Blay)

Il s'agit essentiellement de stress oxydant, de remodelage et inflammation des voies aériennes et de mécanismes immunologiques de facilitation de la sensibilisation allergique.

3-Effets sanitaires a court terme (D. Charpin, p.13-15)

- Cet effet est globalement marginal par rapport aux conséquences de la pollution de fond.

- Les conséquences sont de nature respiratoire (symptômes irritatifs, exacerbations d'asthme et de BPCO) et.cardio-vasculaires (troubles du rythme, infarctus), notamment chez le sujet âgé.

- Les nourrissons et les jeunes enfants représentent une population sensible à risque accru de symptômes ORL et bronchiques.

- On parle davantage des pics de pollution car les seuils règlementaires à partir desquels ils sont déclenchés ont été abaissés. Ces seuils ne sont pas toujours respectés.

- La surmortalité suivant un pic de pollution est encore observée, chez des patients souffrant de maladie cardio-vasculaire ou respiratoire chronique, mais n'a plus l'ampleur des années d'après-guerre.

4-Effets sanitaires a long terme (I. Annesi-Maesano)

- En termes d'effets sur la santé, le niveau moyen annuel de pollution, notamment particulaire, a un impact plus important que celui de pics de pollution car les effets chroniques rendent compte de 90% de la morbidité et mortalité observées.

- Les effets sanitaires sont beaucoup mieux connus grâce à des études épidémiologiques puissantes s'appuyant sur des effectifs importants.

- On décrit ainsi de « nouveaux » effets sanitaires (sur la croissance, la reproduction, le risque thrombotique ou diabétique) qui passaient jusqu'alors inaperçus avec les méthodes épidémiologiques traditionnelles.

- 15% des nouveaux cas d'asthme et de cancer bronchique seraient liés à la pollution atmosphérique.

- Il a été calculé que la pollution atmosphérique, notamment particulaire, réduit l'espérance de vie de l'ordre de 6 à 8 mois chez les citadins français.

-A l'inverse, on a pu mettre en évidence l'effet bénéfique de la réduction de la pollution particulaire de fond sur la croissance pulmonaire d'adolescents, sur la mortalité respiratoire et l'espérance de vie en général

5- Que penser du diesel ? (G. Dixsaut)

-La composition des émissions diesel a changé à partir de 2011 avec la mise en place des filtres à particules. Néanmoins, ces filtres n'arrêtent pas toutes les particules les plus fines et génèrent davantage d'oxydes d'azote.

-Le parc diesel commence à se réduire (59% des véhicules neufs en 2015 contre 73% en 2011).

-La diminution de la consommation des nouveaux véhicules à essence et l'évolution de la taxation des combustibles rendent moins attractif l'achat d'un véhicule diesel.

6- Les normes (I. Roussel)

-Même respectées, elles ne mettent pas à l'abri d'un effet sanitaire puisqu'à l'unicité de la norme correspond la grande diversité des expositions.

- Elles représentent un compromis entre ce qui est souhaitable et ce qui est économiquement faisable.

- Aux normes de taux aériens se sont ajoutées, pour les Etats membres de l'U.E., des normes d'émission car, dans une démarche de prévention il est capital de connaître ce qui sort des cheminées ou des pots d'échappement.

Les normes sont le siège de plusieurs tensions : entre l'Etat, responsable du respect des normes et les collectivités locales qui détiennent tous les leviers pour réduire les émissions ; tension entre la gestion par les normes, appuyée sur des critères temporels focalisés sur le court terme et une gestion plus spatiale et territoriale appuyée sur les cartes et les actions déployées sur un temps plus long

7- Les conseils pratiques (D. Zmirou)

-Nécessité d'une information claire et prévisionnelle des épisodes de forte pollution

-Observance rigoureuse des traitements à visée respiratoire et cardiaque lors d'un épisode de forte pollution

- L'activité physique et sportive impliquant une hyperventilation est déconseillée lors des pics de pollution et au voisinage des voies à grande circulation

- Il n'y a pas lieu de garder les enfants à la maison en cas de pic de pollution, notamment du fait de la présence de polluants domestiques, en premier lieu le tabagisme passif

- Les personnes identifiées comme « sensibles » de par leur âge ou leur état de santé font l'objet de conseils plus restrictifs

1] Nature et origine de la pollution atmosphérique

Dr Joseph Kleinpeter, Directeur de l'Association de Surveillance de la Pollution atmosphérique en Alsace (ASPA)

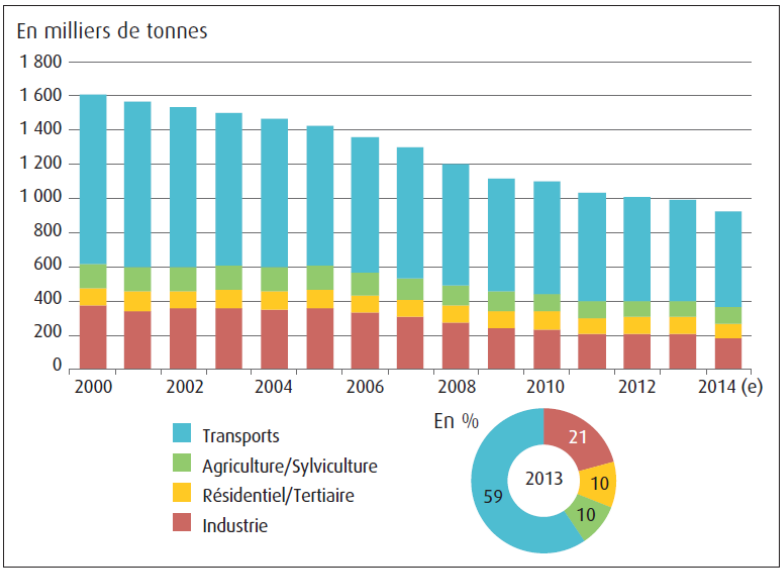
D'origine naturelle ou anthropique, les substances émises peuvent être de nature physique (Radioactivité, énergie, …), chimiques (gaz, particules, aérosols, …) ou biologiques (pollens, acariens, moisissures, …). Cette première partie présente succinctement les sources de la pollution atmosphérique ayant directement ou indirectement un impact sur la santé et en se limitant aux rejets chimiques d'origine anthropique (hors gaz à effet de serre et hors semi-volatils comme les pesticides).

Ces pollutions sont dites primaires lorsqu'elles s'échappent directement des pots d'échappements, des cheminées ou des surfaces agricoles, etc. Elles vont ensuite se disperser, se diluer, se transporter voire se transformer en d'autres composés dits « secondaires » comme l'ozone ou le nitrate d'ammonium.

Les polluants primaires

Le **dioxyde de soufre SO_2**, polluant primaire historique, est connu pour les smogs acides notamment de Londres dans les années 50 avec des surmortalités journalières se comptant en milliers. Les rejets en SO_2 sont dus majoritairement à la combustion de combustibles fossiles soufrés (charbon, coke de pétrole, fioul lourd, fioul domestique etc.). Tous les secteurs utilisateurs de ces combustibles sont concernés (l'industrie, le résidentiel-tertiaire, les transports, l'agriculture, etc.) mais principalement l'industrie et la production d'énergie. En France, les émissions de SO_2 ont été diminuées par 10 passant d'environ 1800 kilotonnes en 1960 à 180 kt en 2014[1]. Il reste quelques problématiques épisodiques de pollution de proximité dans certaines grandes zones industrielles.

Les **oxydes d'azote NOx** (NO+NO2) issus des activités anthropiques proviennent principalement de la combustion de combustibles fossiles (essence, gazole, fiouls, …) ou de biomasse. Ils se forment par combinaison dans l'air de l'azote (N_2) et du dioxygène (O_2) à haute température. Au cours d'une combustion, l'azote de l'air s'oxyde en grande partie en NO puis progressivement en NO_2 à l'air



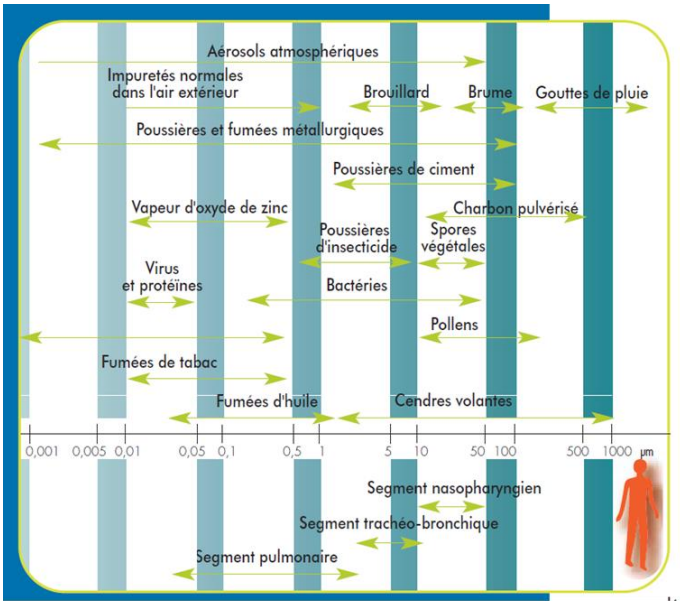
Notes : (e) : estimation préliminaire ; l'industrie regroupe l'industrie manufacturière et la transformation d'énergie ; les transports regroupent le transport routier et les autres transports (aériens, ferroviaires, fluviaux et maritimes hors transports internationaux).
Champ : France métropolitaine.
Source : Citepa, format Secten, mise à jour avril 2015

ques et de gaz à effet de serre en France –

libre. En présence de certains constituants atmosphériques et sous l'effet du rayonnement solaire, les NOx sont également, en tant que précurseurs, une source importante de pollution photochimique à l'ozone. Certains procédés industriels non liés à la consommation d'énergie (production d'acide nitrique, d'engrais azotés, etc.) émettent des NOx. Le trafic routier est le secteur le plus émetteur (illustration xx) notamment à travers les rejets en NOx issus du diesel difficiles à réduire. Les émissions en oxydes d'azote présentent tout de même une tendance à la baisse en majorité grâce au renouvellement du parc automobile de moins en moins polluant.

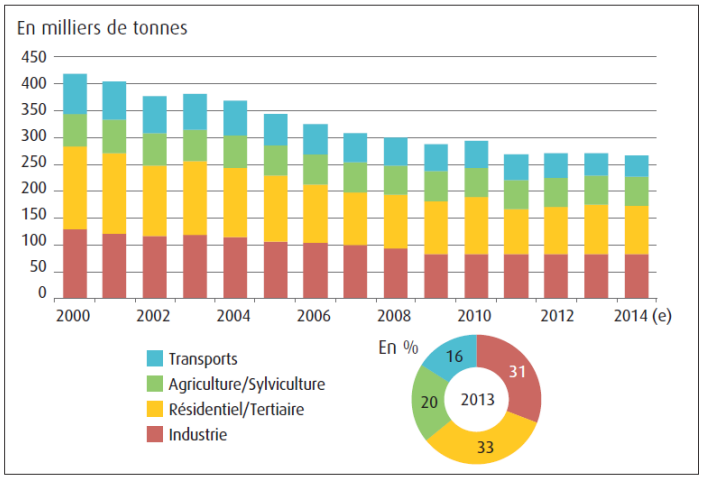
Les **particules atmosphériques primaires** ont des origines distinctes :

- Mécanique : érosion des sols, broyage, concassage, etc.
- Chimique ou thermique : ces particules se forment par changement d'état de la matière par réactions chimiques, par évaporation à haute température suivie d'une condensation. Le spectre granulométrique de ces particules varie de quelques nanomètres à quelques dixièmes de microns.
- Biologique : pollens, champignons, bactéries.



Diamètre de divers types de particules atmosphériques et leur déposition dans le système respiratoire. (source : M. Bisson)

Ces particules sont habituellement classées par leurs tailles du fait de leur pénétration plus ou moins profonde dans le système pulmonaire (Illustration x). L'union européenne a retenu comme polluant à surveiller les PM10 particules en suspension d'un diamètre inférieur à 10 microns et les PM2,5 d'un diamètre inférieur à 2,5 microns (Cf. partie sur les effets sur la santé). Ces particules se trouvent sous forme d'aérosols formant un système particules-air en suspension dans l'atmosphère. Les PM issus de la combustion (diesel, chauffage au bois, ..) sont composées d'un noyau de carbone couvert de composés minéraux (sulfate, …) et organiques (HAP) déjà eux-mêmes nocifs Le noyau minéral carboné est suivi comme carbone-suie sous l'angle Black Carbon (BC). L'attention se porte de plus en plus vers les particules ultrafines ou nanoparticules de diamètre inférieur à 1 micron (PM1).



Notes : (e) : estimation préliminaire ; l'industrie regroupe l'industrie manufacturière et la transformation d'énergie ; les transports regroupent le transport routier et les autres transports (aériens, ferroviaires, fluviaux et maritimes hors transports internationaux).
Champ : France métropolitaine.
Source : Citepa, format Secten, mise à jour avril 2015

Les émissions de particules anthropiques PM10 (illustration xx) mettent au premier plan le résidentiel tertiaire avec notamment les installations anciennes de chauffage au bois mais aussi l'industrie et pour un part l'agriculture (labours et cultures des terres, élevages, engins agricoles). Une évolution à la baisse rend compte des normes de plus en plus exigeantes pour les émissions industrielles (filtres à manches, électrofiltres, ..) et l'échappement des véhicules (meilleure combustion, filtres à particules, …)

Évolution et répartition sectorielle des émissions françaises de PM10

Les émissions anthropiques **de Composés Organiques Volatils (COV** non méthaniques**)** sont à base d'hydrocarbures CxHy légers parfois associés à du chlore ou autres substances. Ils résultent soit de la combustion, soit de l'évaporation par de multiples sources qui touchent tous les secteurs d'activités. Ils entrent ainsi dans la composition des carburants, mais aussi dans de nombreux produits courants contenant des solvants (peintures, colles…). Les activités émettrices de tels COV sont notamment : la combustion de biomasse par des sources fixes, la combustion et l'évaporation de carburants par le transport routier, le recouvrement des routes par l'asphalte, etc. En complément, les émissions d'origine naturelles de COV proviennent des plantes et notamment des forêts de feuillus et de conifères (Ces émissions sont comptabilisées « hors bilan » des inventaires classiques). Certains COV sont suivis pour leur toxicité comme le **benzène** hydrocarbure monocyclique (C6H6 considéré comme le plus nocif en air ambiant) et/ou comme précurseurs de l'ozone secondaire. Les émissions françaises de benzène sont pour plus de 50 % attribuables au secteur résidentiel en particulier du fait de la combustion du bois-énergie. Les émissions en benzène ont été globalement divisées par deux depuis 2000.

Les **Métaux Lourds** restent une préoccupation de surveillance de qualité de l'air.

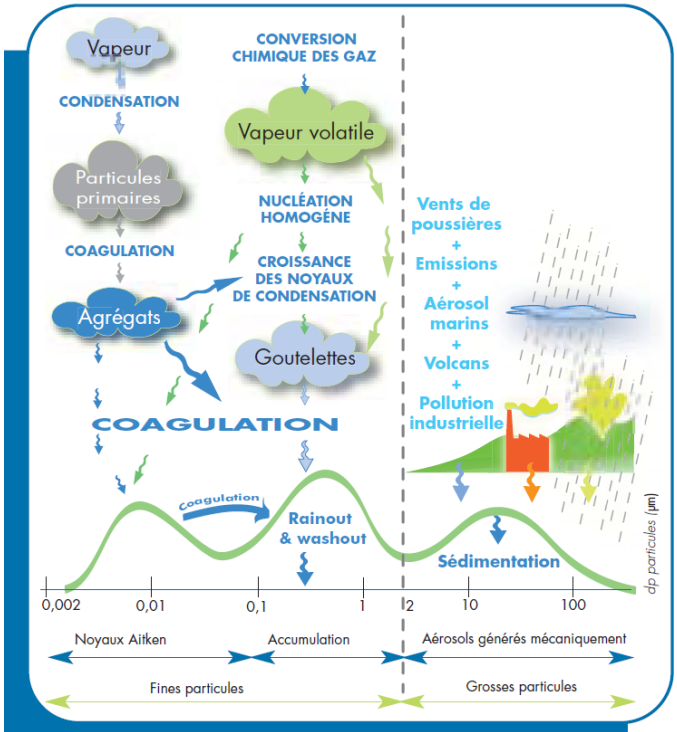
- Historiquement le **plomb (Pb),** interdit dans l'essence en janvier 2000, reste présent dans la combustion de combustibles fossiles comme le charbon, les fiouls, les carburants spéciaux pour l'aviation et dans l'incinération de déchets dans les UIOM. A noter que le plomb est toujours présent en faible quantité dans les plaquettes de frein, les pneus et les batteries de véhicules.
- Les émissions anthropiques d'**arsenic (As)** sont issues notamment de combustibles fossiles tels les fiouls lourds ou le charbon. Certains procédés industriels sont à l'origine d'émissions d'arsenic notamment dans la production de verre et de métaux pour ne citer que les principaux.
- Les émissions de cadmium (Cd) sont induites principalement par le processus de traitement des déchets, le secteur de la métallurgie des métaux et dans une moindre mesure lors de la combustion de charbons, du fioul lourd et de la biomasse.
- Les émissions de **nickel (Ni)** proviennent principalement de la combustion de fioul lourd. Quelques procédés industriels peuvent également émettre des quantités non négligeables de ce composé (procédés de traitements de surface par exemple).

- Les émissions anthropiques de **mercure (Hg)** sont issues de sources multiples : combustion du charbon, brûlage des déchets verts, incinération de déchets, fabrication d'agrégats (fours à ciment notamment). Le mercure est aussi utilisé comme catalyseur dans certains procédés industriels pour produire du chlore et de la soude caustique.

Au cours des 10 à 25 dernières années, ces métaux lourds ont fait l'objet de très fortes réductions (plus de 40 %). D'autres métaux lourds présentent des réductions moins fortes comme le Sélénium (Se) ou avec des émissions restées relativement stables comme pour le cuivre (Cu) mais avec des expositions moindres.

Les **polluants organiques persistants** inventoriés sont principalement les dioxines et furannes (PCDD-F) et les Hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP) à plusieurs noyaux benzéniques (dont le **Benzo(a)pyrène - BaP**). Comme beaucoup de HAP, le BaP est émis lorsque la combustion se fait dans de mauvaises conditions, en particulier pour le bois et les combustibles fossiles utilisés par le secteur résidentiel.

Les polluants secondaires

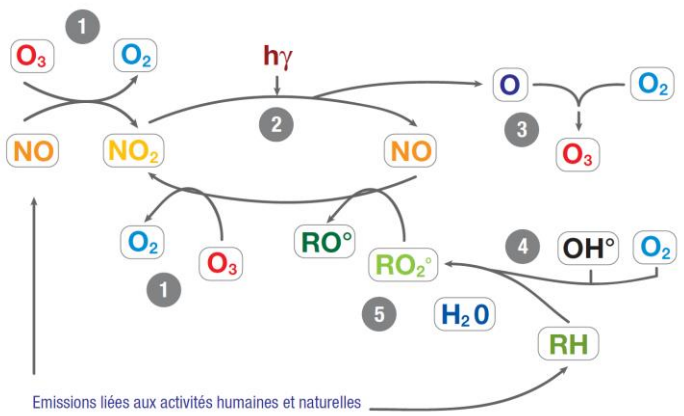


Processus de formation et d'évolution des aérosols dans l'atmosphère (source : A.Renoud & D. Boulaud)

Les **particules secondaires** sont issues de mécanismes d'oxydation, nucléation, condensation, coagulation transformant dans l'atmosphère des composés gazeux en particules liquides ou solides. Les aérosols secondaires organiques (contenant du carbone) se forment par exemples à partir de précurseurs émanant de la végétation. Les aérosols inorganiques comme le nitrate d'ammonium contribuent à l'occurrence de pics de particules printaniers. Le nitrate d'ammonium se forme à grande échelle en faisant réagir deux précurseurs : les oxydes d'azote principalement issus du trafic routier (urbain et interurbain) et l'ammoniac (NH_3) émanant notamment des épandages agricoles d'engrais entre autres organiques (lisiers fumiers) se volatilisant plus facilement par températures douces.

L'**ozone (O_3)** est le polluant emblématique de la famille des photo-oxydants qui résultent de réactions dites photo-chimiques entre des polluants primaires précurseurs que sont principalement les oxydes d'azote et des C.O.V. Composés Organiques Volatils.

Cycle de formation et de destruction de l'ozone
(Uherek, 2004)



❶ Le monoxyde d'azote NO est oxydé notamment par l'ozone O_3 formant ainsi du dioxyde d'azote NO_2 et de l'oxygène O_2 (destruction d'ozone)

❷ Le dioxyde d'azote NO_2 est détruit par la lumière solaire (hν) formant ainsi des atomes d'oxygène O et du monoxyde d'azote NO (photolyse de NO_2)

❸ Les atomes d'oxygène O réagissent avec l'oxygène de l'air formant ainsi de l'ozone O_3 (formation d'ozone)

❹ Les Composés Organiques Volatils RH (H=hydrogène, R=reste organique) réagissent avec des radicaux hydroxyles OH° et l'oxygène de l'air, formant ainsi des radicaux péroxyles RO_2° et del'eau H_2O

❺ NO réagit avec RO_2° et forme de nouveau du NO_2

Ces réactions mettent en jeu des mécanismes de photolyse de molécules par rayonnement solaire comme le NO_2 photolysé par le rayonnement solaire en NO en libérant un atome d'oxygène O (illustrations xx) se recombinant avec le dioxygène de l'air O_2 pour former O_3.

Certains mécanismes à grande échelle géographique ont progressivement chargé la basse atmosphère (troposphère) d'un fond permanent d'ozone avec toutefois des concentrations bien moins élevées que la couche d'ozone de la haute atmosphère (stratosphère).

Les pics d'ozone se produisent alors à l'échelle régionale sous anticyclone estival par fort ensoleillement et forte chaleur en présence des deux familles évoquées de précurseurs (Cf. partie suivante).

Pour en savoir plus :

http://www.citepa.org/images/III-1_Rapports_Inventaires/secten_avril2015_sec.pdf

http://www.developpement-durable.gouv.fr/Publication-du-bilan-2014-de-la.html

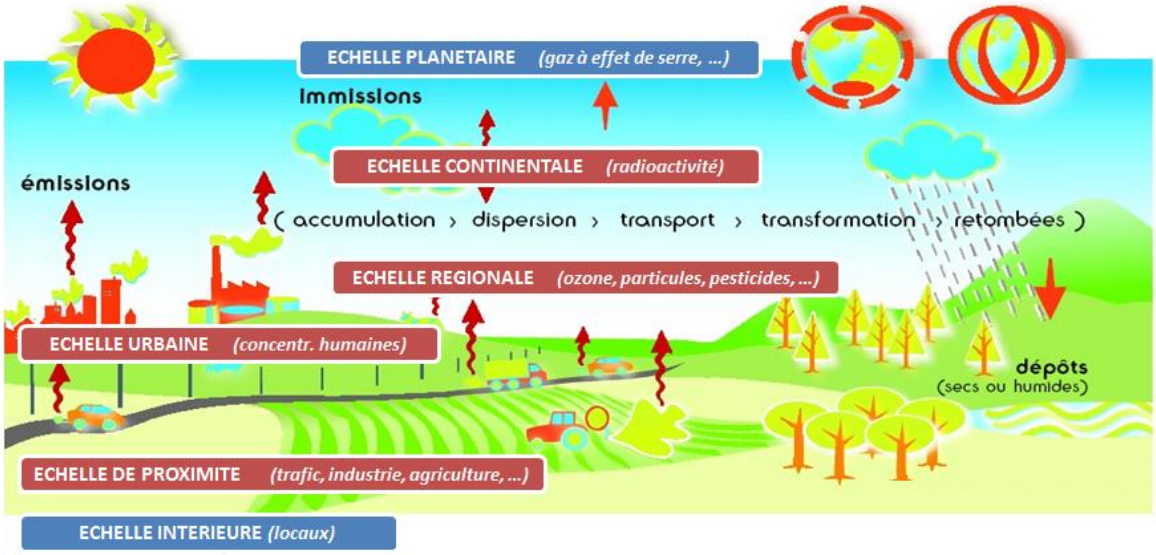
2] Evolution des concentrations en polluants atmosphériques

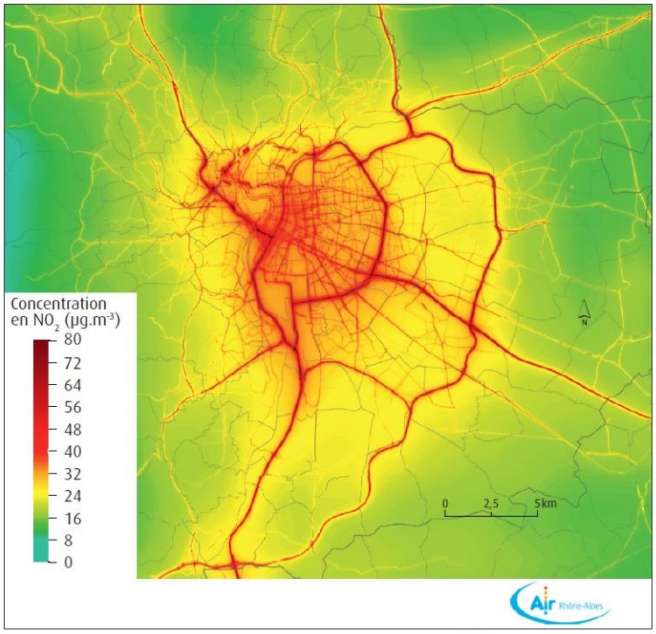
Dr Joseph Kleinpeter, Directeur de l'Association de Surveillance de la Pollution atmosphérique en Alsace (ASPA)

Les évolutions des concentrations en polluants atmosphériques revêtent un aspect temporel et spatial. L'aspect spatial s'intéresse aux échelles géographiques de la pollution de l'air. L'aspect temporel distingue les évolutions tendancielles à long terme et les fluctuations épisodiques à court terme (pics de pollution).

Les échelles géographiques de la pollution de l'air

L'illustration ci-dessous décline les échelles géographiques de la qualité de l'air depuis l'air intérieur jusqu'aux phénomènes planétaires.



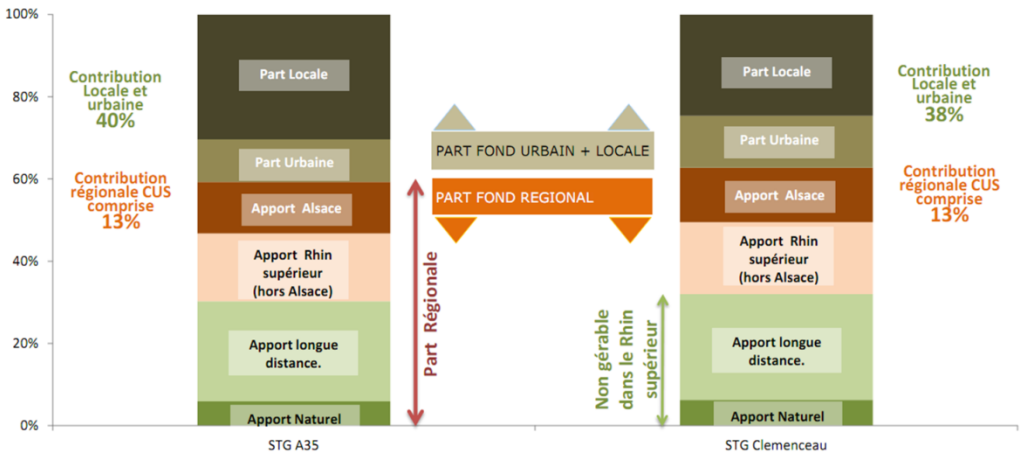


Note : seuil annuel pour la protection de la santé humaine : 40 µg.m^{-3}.
Source : Air Rhône-Alpes

Pour la qualité de l'air que l'on respire dans l'air ambiant, les niveaux les plus élevés s'observent pour les pollutions primaires principalement en hiver (dispersion plus difficile) et dans les endroits influencés à la fois par des sources de pollutions proches (comme les axes routiers denses) et les émissions toutes sources confondues d'une grande agglomération (Illustration xx pour le

dioxyde d'azote sur l'agglomération lyonnaise)

A titre d'exemple, l'illustration ci-dessous décompose pour les particules PM10 en proximité de deux axes chargés à Strasbourg, la contribution des différentes échelles géographiques en moyenne lors de dépassements de valeurs journalières. Cela montre que des actions locales sur le trafic des axes concernés auront comme effet majeur de réduire les inégalités d'exposition sur une agglomération, tout en nécessitant des actions de réduction à l'échelle urbaine et régionale.



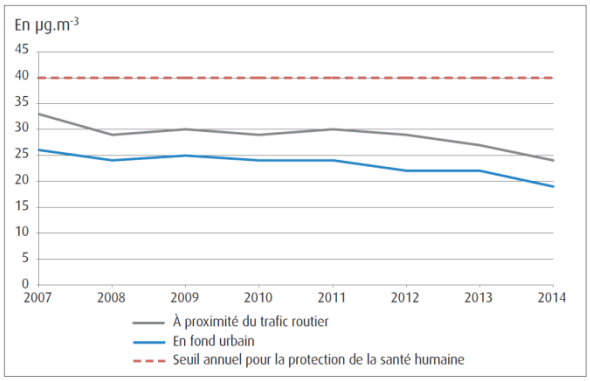
Origine des concentrations en particules PM10 lors des dépassements de la valeur journalière de 50 µg/m³ sur deux stations de mesure en proximité trafic à Strasbourg (Source ASPA –ATMO Alsace)

Les évolutions temporelles de la pollution atmosphérique

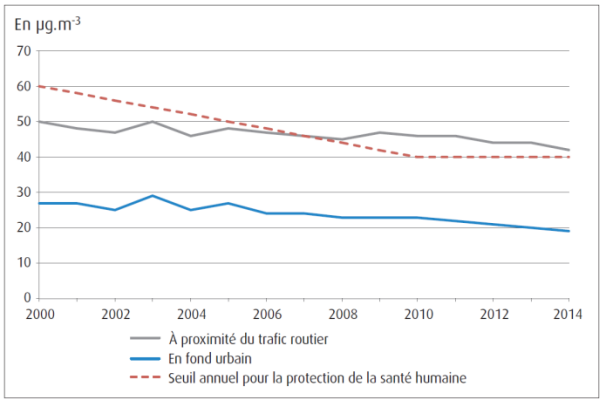
Tendances sur le long terme

Bien que leurs concentrations annuelles moyennes présentent une tendance globale sensible à la baisse en France ces dernières années (illustrations xx et xx), les **particules PM10 et le dioxyde d'azote** font l'objet d'une attention particulière du fait d'un contentieux européen à leur égard pour non-respect de valeurs limites européennes pour la protection de la santé (illustrations xx et xx).

Particules (PM10) : *Évolution des concentrations moy. ann.*	**NO_2** - *Évolution des concentrations moyennes annuelles*

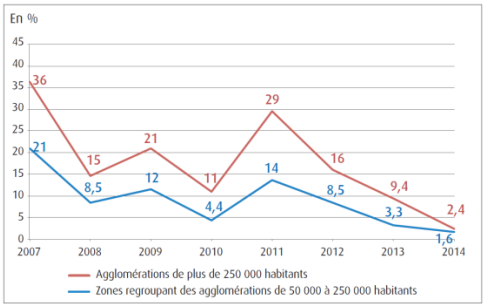


Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015



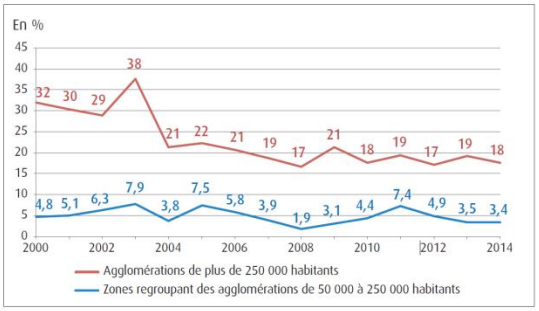
Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015

Particules (PM10) : *Évolution du pourcentage de stations ne respectant pas le seuil journalier en PM10 pour la protection de la santé humaine*



Note : seuil journalier en PM_{10} pour la protection de la santé humaine : 50 µg.m^{-3} à ne pas dépasser plus de 35 jours par année civile.
Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015. Traitements : SOeS, 2015

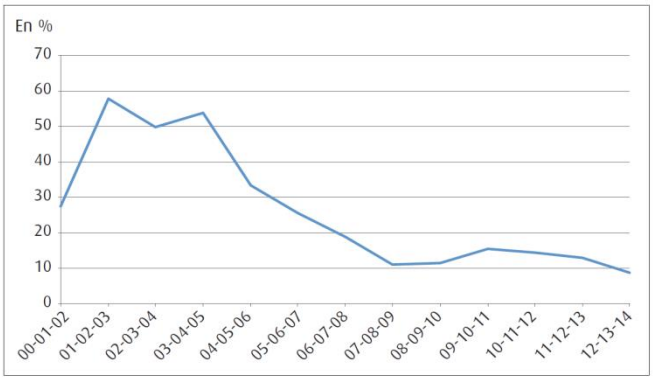
NO_2 - *Évolution du pourcentage de stations ne respectant pas le seuil annuel en NO_2 pour la protection de la santé humaine*



Note : pour chaque année les dépassements sont calculés par rapport au seuil de 40 µg.m^{-3}, en vigueur depuis 2010.
Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015. Traitements : SOeS, 2015

L'occurrence de pics horaires de **pollution à l'ozone** étant tributaire de conditions météorologiques chaudes et ensoleillées variables d'année en année, l'évolution tendancielle des concentrations en ozone est appréhendée à partir du seuil de la protection humaine (120 µg/m^3) en moyenne sur 8 heures et sur trois années civiles (illustration xx) avec une tendance à la baisse à confirmer les prochaines années.

Ozone (O_3) : *évolution du pourcentage de stations ne respectant pas le seuil pour la protection de la santé humaine en fond urbain en moyenne triennale*



Notes : les stations prises en compte sont celles de type fond urbain dont les données sont remontées à la Commission européenne ; seuil : 120 µg.m^{-3} en maximum journalier de la moyenne sur 8 heures à ne pas dépasser plus de 25 jours en moyenne sur trois années civiles.
Champ : France métropolitaine et DOM.
Source : Géod'Air, mai 2015. Traitements : SOeS, 2015

Concernant les **métaux lourds**, un site en proximité industrielle en Rhône-Alpes ne respecte pas en 2014 la réglementation européenne pour l'Arsenic. Et pour les **HAP** hydrocarbures aromatiques polycycliques, deux sites sur les 68 suivis en France dépassent une norme européenne pour le Benzo(a)pyrène B(a)P : l'un en proximité industrielle en Moselle et l'autre dans la vallée alpine de l'Arve influencée par des émissions industrielles et du chauffage individuelle au bois.

Le **dioxyde soufre SO_2, le monoxyde carbone CO et le benzène C_6H_6** présentent depuis des années des évolutions tendancielles fortement à la baisse partout en France, sans dépassements de normes européennes hormis un site industriel en Lorraine pour le benzène.

Le tableau ci-dessous résume les évolutions tendancielles et le respect des valeurs réglementaires.

	Principales sources primaires	Évolution des concentrations	Respect de la réglementation en 2014
SO_2		→	✓
NO_2		→	✗
O_3		→	✗
PM_{10}		→	✗
$PM_{2,5}$		→	✗
CO		→	✓
C_6H_6		→	✗
As		nd	✗
Cd		nd	✓
Ni		nd	✓
Pb		nd	✓
B[a]P		nd	✗

Notes : nd = pour les métaux et le B[a]P les évolutions ne sont pas disponibles ; l'O_3 n'a pas de sources directes.
Source : SOeS

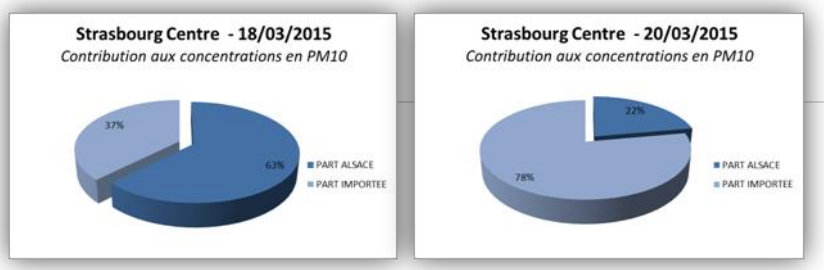
Occurrence de pics de pollution

Les pics de pollution aux **particules PM10** s'apprécient à partir du seuil d'information (50 µg/m^3/jour) et du seuil d'alerte (80 µg/m^3/jour). Il convient en préalable de préciser que l'impression de recrudescence de dépassement des seuils pour ce polluant est en grande partie due à deux faits : d'une part la méthode de mesure a changé en 2007 en intégrant la fraction volatile donnant des taux plus élevés, et d'autre part les seuils réglementaires ont baissé (de 80 à 50 pour le premier et de 125 à 80 pour le second) augmentant mécaniquement la fréquence des dépassements déclenchant des procédures préfectorales.

Trois grands types d'épisodes aux particules peuvent se mettre en place.

- Le premier type se développe dans des conditions météorologiques hivernales très stables favorisant l'accumulation de la pollution notamment sous inversion de températures plaquant les masses d'air au sol avec prédominance de l'influence de la pollution locale.
- Le second type advient par transport de pollution à longue distance libérant des poches de pollution formées ailleurs par exemple en Europe de l'Est, ces masses d'air parvenant encore bien chargée jusqu'en France par le Nord-Est.
- Le troisième type à la sortie de l'hiver est appelé « épisode printanier » produisant des particules secondaires tel le nitrate d'ammonium (Cf. Chapitre 1).

Ces trois types d'épisodes peuvent s'enchaîner comme ce fut le cas en mars 2015 (illustration xx).



Part des particules importées pour les journées du 18 mars (part minoritaire) et du 20 mars (part majoritaire)

S'agissant de **l'ozone**, à chaque instant et à chaque endroit la concentration de ce polluant secondaire est la résultante de trois mécanismes :

- A grande échelle, l'influence du fond permanent d'ozone de la basse atmosphère (cf. chapitre précédent) lorsque le brassage de l'air le permet. C'est lui qui prédomine par grand vent et notamment sur les sommets des montagnes.
- En proximité de trafic, la destruction de l'ozone en présence de monoxyde d'azote NO qui sort principalement des pots d'échappement en se transformant rapidement en NO_2 (oxydation accélérée par l'ozone).
- La production photochimique par beau temps par photolyse du NO_2 en présence de COV.

Il est donc compréhensible que :

- les taux d'ozone soient en moyenne sur une année plus élevés en montagne qu'en plaine, qu'en milieu urbain et qu'en proximité automobile.
- les pics de pollution estivaux atteignent leur paroxysme en milieu d'après-midi au plus fort de l'insolation et en milieu rural dans les panaches d'agglomération à distance des zones d'émissions principales des précurseurs.

Pour en savoir plus :

http://www.developpement-durable.gouv.fr/Publication-du-bilan-2014-de-la.html

3] Rôle du réchauffement climatique dans l'évolution des polluants atmosphériques

Professeur Denis Caillaud, PU-PH, Service de Pneumologie, CHU Clermont-Ferrand, Université d'Auvergne.

Le rôle du réchauffement climatique dans l'évolution des polluants atmosphérique extérieurs affectant la santé cardio-respiratoire associés concerne essentiellement l'ozone et les particules. Ces 2 polluants sont en effet responsables de la majeure partie des dépassements des valeurs recommandées pour la qualité de l'air, notamment aux USA (1).

Les variations météorologiques régionales affectent la qualité régionale de l'air, notamment urbaine (2) et doivent être gérées à l'échelon de la région affectée (3).

Les prévisions concernant l'augmentation de **température** d'ici la fin du siècle varient suivant les projections d'émission (4) des facteurs responsables de l'effet de serre : de 2 à 3,6 °C en cas de baisse des émissions actuelles ou jusqu'à 4 à 6 °C en cas de poursuite ou d'augmentation des émissions actuelles (5).

L'ozone est un polluant atmosphérique secondaire, qui n'est pas émis directement dans l'atmosphère, mais est formé par l'interaction des oxydes d'azote avec les composés organiques volatiles (émis par la combustion des énergies fossiles) en présence de chaleur et de soleil. Ces polluants proviennent de sources variées, comprenant notamment les moteurs d'automobile, les usines, les raffineries, certains produits du commerce, ainsi que de sources naturelles, comme la végétation, et des processus biologiques du sol. Les pics de concentration d'ozone ambients sont observés pendant les mois d'été, quand les conditions météorologiques régionales favorisent la production photochimique, comme les valeurs élevées de la température, les hautes pressions persistantes, la stagnation de l'air et le ciel clair. Au dessus de 32°C, une association forte a été mise en évidence entre la température et des valeurs d'ozone ambient > 75 ppb (6).

Sans diminution des gaz à effets de serre à leur niveau actuel, l'EPA (7) projette aux Etats-Unis en 2100 une diminution *annuelle* moyenne légère de la concentration d'ozone ambiant de 1,3 ppb (Intervalle de confiance ± 0,5), mais avec une augmentation dans les zones polluées et à population dense, comme le Nord-Est, le Mid-West et le Sud des Etats-Unis. En revanche, l'EPA projette une augmentation de la concentration moyenne d'ozone maximale ambiante sur 8 heures, en particulier *pendant les mois d'été*, de juin à août, de 4,7 ppb (Intervalle de confiance ± 0,5 ppb) et en augmentant la durée de la « saison ozone. Enfin, des vagues de chaleur de plusieurs jours (appelées épisodes) récentes ont été associées à des niveaux d'ozone, qui dépassent les valeurs limites de la qualité de l'air (8). C'est pendant la période estivale et en particulier pendant les pics d'ozone que le retentissement sur la morbidité et la mortalité respiratoire est le plus à craindre. Les fronts froids propres terminent ces épisodes en refoulant l'air chaud de la surface du sol.

Les **particules fines** (PM<2,5 µm) proviennent du diesel, des moteurs automobiles, des usines à charbon, et de l'industrie, des feux de forêts, des tempêtes de sable. De nombreux pays ont un taux de particules fines supérieur aux valeurs guides de 10 µg/m3 recommandée par l'OMS.

Le changement climatique peut aussi entraîner une augmentation de la concentration des $PM_{2,5}$ atmosphériques, bien que l'effet de l'augmentation de la température soit complexe, du fait des différents types des constituants chimiques des particules. Le taux des particules fines est diminué par les précipitations, car la plupart de ses constituants sont solubles, et par le vent, avec des taux plus élevé en cas de stagnation de l'air (9). Sans diminution des gaz à effets de serre, l'EPA projette aux Etats-Unis une augmentation moyenne annuelle de la concentration des $PM_{2,5}$ atmosphériques des $PM_{2,5}$ de 0,3 $\mu g/m^3$ (Intervalle de confiance ± 0,1) en 2050 et de 0,7 $\mu g/m^3$ (±.0,1) en 2100. L'augmentation pendant les mois d'été (juin-août) pourrait atteindre 3,0 $\mu g/m^3$ dans la région Est des Etats-Unis.

Les concentrations de particules fines sont affectées par les feux de forêts (10) notamment. Les modèles climatiques montrent qu'avec une augmentation de la température de 1°C, les risques de feux de forêts ont augmenté de 2 à 6 fois entre 1950 et 2003, dans la plupart des Etats Américains à l'Ouest du Mississipi. Bien que les feux de forêts soient le plus souvent localisés, la fumée dégagée peut s'étendre sur de grandes distances. Il a été estimé que 339.000 décès prématurés/an en moyenne dans le monde sont attribuables à la pollution dégagée par les feux de forêt, notamment du fait des particules (11).

Pendant les vagues de chaleur, la consommation d'électricité augmente pour assurer la climatisation. Quand l'électricité est fournie par les centrales à charbon, les émissions de particules tendent à augmenter.

REFERENCES

1. Fiore AM, Naik V, Leibensperger EM. Air quality and climate connections. *Journal of the Air & Waste Management Association* 2015; 65: 645-685.
2. Jacob D, Winner D. Effect of climate change on air quality. *Atmos Environ* 2009; 43: 51-63.
3. Ravishankara AR. New directions: adapting air quality management ot climate change: a must for planning. *Atmos Environ* 2012; 50: 387-389.
4. Intergovernmental Panel on Climate Change. *Climate Change 2014: Synthesis Report,* Contribution of Working Groups 1, II and III to the Fifth Assessment Report of the Intergovernment Panel on Climate Change. Core writing team, R.K Pachauri and L.A Meyer, ed. Geneva, Switzerland, IPCC; 2014.
5. Monier E, Gao X, Scott J, Solokov A, Schlosser A. A framework for modeling uncertainty in regional climate change. *Clim Change* 2014; 131: 51-66.

6. Patz JA, Frumkin H, Holloway T, Vimont DJ, Haines A. Climate change: challenges and opportunities for global health. *Jama* 2014; 312: 1565-1580.
7. U.S. EPA. Climate change in the United States. Benefits of global action. *United States Environmental Protection Agency, Office of Atmospheric Programs* 2015; EPA 430-R-15-001.
8. Doherty RM, Heal MR, Wilkinson P, Pattenden S, Vieno M, Armstrong B, Atkinson R, Chalabi Z, Kovats S, Milojevic A, Stevenson DS. Current and future climate- and air pollution-mediated impacts on human health. *Environ Health* 2009; 8 Suppl 1: S8.
9. Tai A, Mickley L, Jacob D. Correlation between fine particulate matter (PM2.5) and meteorological variables in the United States: implication for the sensitivity of PM2.5 to clmate change. *Atmos Environ* 2010; 44: 3976-3984.
10. Spracklen DV, Mickley L, Logan J, Hudman R, Yevich R, Flannigan M, Westerling A. Impact of climate change from 2000 to 2050 on wildfire activity and carbonaceous aerosol concentrations in the western United States. *J Geogr Res* 2009; 114: D20031.
11. Johnston FH, Henderson SB, Chen Y, Randerson JT, Marlier M, Defries RS, Kinney P, Bowman DM, Brauer M. Estimated global mortality attributable to smoke from landscape fires. *Environmental health perspectives* 2012; 120: 695-701.

4] Pollution et maladie respiratoires : mécanismes physiopathologiques

Professeur Frédéric De Blay, Docteur Naji Khayat, Pôle de pathologie thoracique, Hôpitaux Universitaires de Strasbourg, Fédération de Médecine Translationnelle, Université de Strasbourg

Depuis le « smog tueur » en 1952 à Londres qui a fait 4000 victimes, la pollution extérieure d'abord puis par la suite la pollution intérieure ont été reconnues comme responsables de maladies respiratoires telles que l'asthme, la BPCO et le cancer du poumon.

Pour la pollution extérieure, les mécanismes responsables sont multiples, on en distingue cependant 4 principaux : la réponse au stress oxydant, le remodelage des voies aériennes, les mécanismes inflammatoires et les réponses immunologiques particulières et l'augmentation des sensibilisations vis-à-vis des allergènes. La pollution extérieure va agir sur les gènes qui régulent ces 4 mécanismes favorisant l'apparition de l'asthme ou l'exacerbation d'un asthme préexistant.
Le stress oxydatif correspond à un déséquilibre entre oxydants et antioxydants se traduisant par la production de radicaux libres responsables d'altérations de la structure et des fonctions cellulaires : diminution de l'activité enzymatique, lésions cellulaires, mutation au niveau de l'ADN et modification des récepteurs, oxydation des lipoprotéines circulantes.
Il peut être aggravé par certaines carences nutritionnelles ou lors de l'exercice physique, par le tabagisme, l'exposition aux radiations ionisantes et UV.

Le stress oxydatif peut également être la cause initiale de la pathologie (cancer, BPCO, asthme) ou provoquer l'aggravation d'une maladie déjà existante.

La pollution en modifiant les gènes capables de produire des antioxydants en réponse aux agents oxydants contenus dans la pollution atmosphérique va provoquer des lésions inflammatoires de épithélium bronchique qui vont favoriser l'apparition de l'asthme ou son aggravation (1).

A côté du stress oxydatif, des phénomènes dits épigénétique peuvent modifier les gènes qui régulent les réponses immunologiques de l'inflammation allergènique. Par exemple, au contact de la pollution atmosphérique, les gènes responsables de la fonction régulatrice des lymphocytes Trégulateurs seront inhibés, favorisant ainsi une augmentation de la réponse inflammation allergènique.

De plus, l'inhalation d'allergènes tels que les pollens associés à des particules diesel ou des gaz comme le ozone, le NO2, le SO2 pourront favoriser la pénétration des allergènes au travers des bronches. La résultante de l'inflammation dûe au stress oxydant et aux mécanismes immunologiques est le remodelage bronchique qui se traduit par la fibrose sous épithéliale provoquant une obstruction bronchique non réversible.

L'environnement intérieur est également source de polluants tels que les allergènes, les endotoxines et les substances chimiques et particulaires. Les allergènes, outre leur action directe grâce au système immunitaire adaptatif sur des cellules telles que les mastocytes via les IgE qui y

sont fixées, peuvent activer directement de système immunitaire inné grâce à certains Toll Like Receptors (TLR4) et favoriser une réponse inflammatoire de type allergique non IgE médiée. Ceci est particulièrement vrai pour les acariens qui sont les allergènes les plus souvent responsables d'asthme allergique. Les endotoxines, quant à elles, sont par définition les stimulants du système immunitaire inné.

A côté de l'asthme et des maladies allergiques respiratoires, les polluants particulaires et gazeux de l'habitat peuvent favoriser la BPCO chez la femme et des bronchites chez l'enfant lors de la combustion de biomasse dans les pays en voie de développement (2).

Les mécanismes moléculaires impliqués dans la génèse et la progression de la BPCO associés à la pollution intérieure, restent encore inconnus. Des études chez l'animal et l'homme suggèrent un rôle du stress oxydant dans ces processus. Chez le rat il a été montré que la combustion de la biomasse pouvait causer de l'emphysème et de la bronchite chronique de manière similaire à celle causée par la fumée de cigarette. Ainsi, une hausse des biomarqueurs de l'inflammation et du stress oxydant secondaire à l'inhalation de fumée issue de la combustion de la biomasse seraient responsables de la production de fibronectine par les fibroblastes et de la fibrose qui caractérise les BPCO non liées à la fumée de cigarettes (3).

Le tabac est le polluant chimique de l'environnement intérieur. Les mécanismes cellulaires et moléculaires conduisant au développement de la BCPO et de l'emphysème post tabagiques sont mieux connus. Les voies de l'inflammation y sont particulièrement impliquées. De même, la dérégulation de la balance protéase/inhibiteurs de protéase y est également impliquée, tout comme les voies d'activation de l'apoptose. Le stress oxydant est un autre facteur majeur. Ainsi des souris surexprimant la superoxyde dismutase (SOD) étaient protégées du développement d'un emphysème après exposition au tabac. D'un autre côté la fumée tabac induirait la surexpression du gène qui favorise le stress oxydant.

Au total, deux principaux mécanismes semblent agir pour l'asthme et la BPCO induits par la pollution avec cependant des nuances entre les 2 maladies. Pour l'asthme, après avoir surtout décrit pendant des années la responsabilité des mécanismes immunologiques, il est admis depuis quelques années le rôle déterminant du stress oxydant dans sa génèse. En revanche, dans la BPCO, l'évolution est plutôt inverse, le stress a été mis en avant et plus récemment les désordres immunitaires sont désormais admis.

1) Guarnieri M, Balmes J. Lancet 2014, 383 :1581-1592
2) Khayath N, de Blay F, Rev Mal Resp, in press
3) Krimmer D, Ichimaru Y, Burgess J, Black J, Oliver B. Exposure to biomass smoke extract enhances fibronectin release from fibroblasts. PLoS One. 2013 26;8-38.

5] Effets à court terme des polluants atmosphériques sur la santé

Professeur Denis Charpin, PU-PH, Assistance publique – Hôpitaux de Marseille

Généralités

Dans le domaine des effets sanitaires des polluants atmosphériques, il est classique de séparer les effets à court et long termes, bien que cette distinction soit un peu artificielle dans la mesure où la répétition des effets à court terme peut conduire à des effets à long terme.

Il faut signaler en exergue que les connaissances scientifiques dans ce domaine ont été bouleversées, depuis une trentaine d'années, par le développement de nouvelles méthodologies statistiques. Ces méthodes, appelées études des séries temporelles ou des séries chronologiques, consistent en mettre en relation 2 séries de données engrangées dans des banques de données : historique des taux de pollution mesurés quotidiennement au cours des mois ou des années passées, historique d'indicateurs sanitaires mesurés dans une zone géographique donnée, tels que hospitalisation, passages au service d'accueil des urgences, consultation médicale, appel à SOS médecins, consommation de médicaments, tous évènements consignés au jour le jour sur des registres informatiques au cours des jours, mois ou années précédentes. L'analyse statistique consiste à rechercher s'il existe une association entre l'exposition aux polluants atmosphériques et les indicateurs sanitaires. L'avantage de telles études est qu'elles concernant des groupes de population très importants « suivis » pendant des périodes de temps parfois très prolongées. La puissance statistique de ces études est donc considérable. Elles permettent de mettre en évidence des risques statistiquement significatifs mais d'amplitude extrêmement faibles. Par exemple, un risque relatif de 1,02 signifie que les personnes exposées ont un risque de voir survenir, en réponse à l'augmentation de l'exposition aux polluants d'une valeur donnée, l'évènement sanitaire à l'étude augmenté de 2%. C'est ainsi que la littérature a mis en évidence, ces dernières années, des effets sanitaires qui n'avaient jusqu'alors jamais été décrits. Il ne s'agit à l'évidence pas de « nouveaux » effets mais d'effets qui ne pouvaient pas être jusqu'alors être démontés par les méthodes d'étude jusqu'alors à notre disposition. Il n'en reste pas moins que le public à qui on présente régulièrement de « nouveaux » effets a le sentiment que la situation de la pollution atmosphérique s'aggrave constamment, alors que la situation réelle est différente.

Il faut souligner par ailleurs que les fluctuations à court terme des taux de pollution atmosphérique ont soulevé davantage d'intérêt de la part des pouvoirs publics que les taux moyens. Cet état de fait provient probablement notamment du fait qu'au départ, au début des années 70, les premiers réseaux de surveillance de la qualité de l'air, installés dans des régions très industrialisées, avaient pour vocation de surveiller, voire de prévenir, l'installation d'épisodes de forte pollution.

Un dernier point à rappeler : il ne peut y avoir de pointe de pollution si les conditions météorologiques ne s'y prêtent pas, à savoir vent faible et inversion de température qui favorisent la stagnation des polluants à leur lieu de production. En conséquence, on peut prévoir les pointes

de pollution, au même titre que les inversions de température. Cela est à la base des procédures STERNES par lesquelles le préfet peut demander aux industriels de limiter leurs rejets de polluants dans l'atmosphère lorsqu'un épisode d'inversion de température est anticipé.

Conséquences sanitaires

Par ordre de gravité croissant, ces effets à court terme concernent des symptômes respiratoires, une baisse de la fonction respiratoire ou des épisodes infectieux survenant chez le sujet sain, une exacerbation d'une pathologie préexistante, respiratoire et /ou cardiaque conduisant éventuellement au décès.

1- Conséquences des fluctuations/pics de pollution en population générale.

On trouve, dans la plupart des études, une corrélation entre les fluctuations des polluants gazeux et particulaires et les symptômes de toux, notamment toux nocturne, les sibilances thoraciques et la survenue de bronchites. L'association est plus marquée chez le nourrisson. L'exercice physique augmente les valeurs spirométriques, même lorsqu'il réalisé en atmosphère fortement polluée (1). Des publications récentes font par ailleurs état, chez les adolescents, d'une diminution de l'attention soutenue en relation avec une augmentation des taux de polluants. Dans le domaine de la pathologie infectieuse, on met en évidence une augmentation du taux d'incidence des rhino-sinusites, bronchites, bronchiolites à VRS et pneumonies chez les enfants jusqu'à l'âge de 4 ans, en relation avec l'augmentation des taux d'ozone et de particules de diamètre inférieur à 10 µg et à 2,5 µg.

2- Exacerbation chez les patients atteints de pathologie respiratoire ou cardiaque (tableau)

-Pathologie cardio-vasculaire : la survenue de syndromes coronariens, sous la forme de douleurs thoraciques mais aussi d'infarctus du myocarde et d'insuffisance cardiaque congestive est liée au taux d'oxydes d'azote et surtout de particules fines. Au plan vasculaire, le risque d'accident vasculaire cérébral est accru en période de forte pollution avec une augmentation des admissions hospitalières pour ce motif
Une récente méta-analysis conclue que l'augmentation du risque est d'environ 1% pour une élévation de 10 µg/m3 du taux de PM_{10} ou de $PM_{2,5}$ (2). L'association avec le risque de phlébite et embolie pulmonaire, plus récemment suggéré, est encore controversée.
-Asthme : la littérature incluse de très nombreuses études, la plupart ayant été réalisées chez l'enfant asthmatique. Toutes ces études mettent en évidence une association statistique entre l'augmentation du taux journalier de polluants et le risque d'exacerbations, le plus souvent évalué par le passage de l'enfant au service d'accueil des urgences. Parmi les polluants, tous sont associés au risque mais les plus souvent considérés sont les particules en suspension. L'augmentation du risque est souvent décalée de 24 heures par rapport au moment où le taux de polluant

commence à s'élever. Pour donner un ordre de gradeur, le risque d'exacerbation augmente de 2 à 6% quand le taux de polluants s'élève de 10 µg/m3 d'air. Une étude conduite à l'hôpital Bichat en 1998 (3) avait montré que les enfants souffrant d'asthme persistant qui ne suivaient pas un traitement anti-asthmatique de fond étaient plus sensibles aux fluctuations des taux de polluants que les enfants traités, comme si, chez ces derniers, le traitement de fond « gommait » les effets nocifs de l'exposition aux polluants. Des auteurs britanniques (4) ont évalué la fonction respiratoire d'asthmatiques lors d'une marche de 2 heures à Londres, en zone polluée par des émanations diesel ou en zone verte et observé une diminution des valeurs spirométriques de l'ordre de 6%, chute plus marquée chez les patients qui asthmatiques ayant un asthme « modéré » que ceux atteints d'asthme « léger ».

-B.P.C.O. les fluctuations des taux de polluants atmosphériques sont reconnues comme influençant les symptômes de la BPCO, le taux de passage aux urgences et les hospitalisations pour exacerbations. Toutefois, une méta-analyse récente (5) estime que ce facteur de risque intervient dans seulement 1% des hospitalisations pour exacerbation de BPCO en Chine et dans les pays de la communauté européenne et 2% aux Etats-Unis. Dans ces études, il faut prendre compte des variations de température. Dans une étude récente (6), le taux d'hospitalisation pour exacerbation de BPCO n'est pas statistiquement lié aux fluctuations des taux de polluants, si l'on prend en compte les variations de températures au jour le jour.

3- Mortalité globale, cardio-vasculaire et respiratoire

L'augmentation de mortalité est de l'ordre de 1% pour une élévation de 10 µg/m3 du taux de PM 2,5 dans une méta-analyse mondiale (7), avec des variations régionales plus importantes pour la mortalité respiratoire que pour la mortalité cardio-vasculaire. Les groupes de population les plus à risque sont les personnes âgées de plus de 65 ans, ceux qui ont une maladie chronique cardio-vasculaire ou respiratoire préexistante, les femmes et les sujets inactifs professionnellement. En France, l'étude PSAS-9 (Programme de surveillance air et santé, au départ dans 9 grandes villes françaises), sous l'égide de l'Institut de la Veille Sanitaire, a eu pour objectif de surveiller l'impact à court terme des fluctuations des polluants atmosphériques sur la mortalité et les hospitalisations. L'augmentation de la mortalité, qui survient avec un délai de 24 à 48 heures par rapport au pic de pollution, engendre une augmentation de 1 à 3% de la mortalité. Cette augmentation est plus marquée chez les personnes âgées de plus de 65 ans et plus importante par cardiopathie ischémique que par maladie respiratoire.

Bibliographie

1. Kubesch NJ, de Nazelle A, Westerdahl D, Martinez D, Carrasco-Turigas G, Bonso L, et *al*. Respiratory and inflammation responses to short-term exposure to traffic-related air pollution with and without moderate physical activity. Occup Environ Med 2015; 72: 284-293.
2. Shah AS, Lee KK, McAllister DA, Hunter A, Nair H, Whiteley W, et *al*. Short-term exposure to air pollution and stroke: systematic review and meta-analysis. BMJ 2015 Mar 24; 350: h1295
3. Mc Crenor J, Cullinan P, Nieuwenhuissen MJ, Stewart-Evans J, Malliarou E, Jarup L, et *al*. Respiratory effects of exposure to diesel traffic in persons with asthma. N Engl J Med 2007; 357: 2348-2358.
4. Segala C, Fauroux B, Just J, Pascual L, Grimfeld A, Neukirch F. Short-term effects of winter air pollution on respiratory health of asthmatic children in Paris. Eur Resp J 1998; 11: 677-685
5. Song Q, Christiani DC, Xiaorang W, Ren J. The global contribution of outdoor air pollution to the incidence, prevalence, mortality and hospital admissions for COPD: a systematic review and meta-analysis. Environ Public Health 2014; 11: 11822-11832
6. Almagro P, Hernandez C, Martinez-Cambor P, Tresseras R, Escarrabill J. Seasonality, ambient temperature and hospitalization for acute exacerbation of chronic obstructive pulmonary disease: a population-based study in a metropolitan area. Int J Chronic Obstruc Pul Dis 2015 May 8
7. Atkinson RW, Kang S, Anderson HR, Mills IC, Walton HA. Epidemiological time series studies of PM2.5 and daily mortality and hospital admissions: a systematic review and meta-analysis. Thorax 2014; 96: 660-665

6] Effets à long terme

Isabella Annesi-Maesano, Sorbonne Universités, UPMC Univ Paris 06, INSERM, Institut Pierre Louis d'Epidémiologie et de Santé Publique (IPLESP UMRS 1136), Epidemiologie des maladies allergiques et respiratoires. Faculté de Médecine Saint Antoine, Paris

Impact des polluants atmosphériques sur la santé respiratoire

L'ensemble des effets respiratoires à long terme de la pollution atmosphérique peut être schématisé par une pyramide tenant compte à la fois de la gravité des effets ainsi que du pourcentage de la population qui en est atteint (Figure 1) [1]. Les polluants atmosphériques peuvent avoir des effets faibles au niveau individuel mais non négligeables au niveau de la population, pour des indicateurs de santé respiratoire comme les décès, les hospitalisations, l'asthme, la bronchopneumopathie obstructive chronique (BPCO), le cancer du poumon ou la fonction respiratoire (Tableau 1). Alors que dans le cas des effets à court terme, l'effet sanitaire se produit dans les jours suivant l'exposition, dans le cas des effets à long terme, qui font suite à une exposition chronique, l'effet sanitaire se produit au bout de plusieurs années. Cependant, la séparation entre les effets à court terme et ceux à long terme n'est pas nette et l'hypothèse a été soulevée que les effets aigus pourraient s'additionner et donner lieu à des effets chroniques. Les effets à long terme sont observés alors que les normes en vigueur sur la qualité de l'air sont en général respectées, ce qui signifie que chez certains individus, même de faibles doses peuvent être toxiques. De plus, il existe des effets de la pollution dès les concentrations les plus faibles et il ne semble pas exister de seuil protecteur en deçà duquel il n'est plus observé d'effet sanitaire. Au total, l'essentiel de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est de type chronique et est dû aux jours de pollution « habituelle ».

L'impact sur la santé respiratoire a été documenté à la fois pour la pollution de l'extérieur et de l'intérieur des locaux. Cependant, à ce jour, la majorité des études sur les effets respiratoires à long terme de la pollution atmosphérique a considéré les polluants atmosphériques de l'extérieur des locaux. Dans celles-ci, l'exposition aux polluants a été déterminée par le biais des mesures objectives (fond, proximité, *in situ*) ou modélisée (modèles STREET, ADMS, CHIMERE…) ou la proximité aux sources (axes routiers avec une circulation véhiculaire importante, combustion …).

Effets des expositions prolongées des polluants atmosphériques de l'extérieur des locaux

Les effets des expositions prolongées sont plus difficiles à étudier que ceux des expositions aigües [2, 6-9]. Le rôle du tabac est si puissant qu'il induit un bruit de fond élevé au sein duquel il est délicat d'identifier un signal clair lié à la pollution atmosphérique.

Morbidité : Les résultats des premières études nord-américaines, publiées au début des années 1990, ont été confortés depuis par plusieurs travaux européens, dont le suivi à long terme de l'enquête PAARC (Pollution Atmosphérique et Affections Respiratoires Chroniques) en France. Quelques études ont montré que l'exposition prolongée à la pollution urbaine pouvait augmenter

la morbidité (symptômes, maladies, recours aux urgences à la suite de celles-ci…) et diminuer de façon durable la fonction respiratoire, notamment lors du suivi des sujets. Le fait de résider à proximité d'axes avec un trafic important a été mis en relation avec l'asthme [voir rapport du Health Effect Institut : http://pubs.healtheffects.org/getfile.php?u=553] et la BPCO. En France, le fait de résider dans des zones avec des teneurs élevées des particules de diamètre inférieur à 2,5 µm ($PM_{2.5}$), de NO_2 et COV a été lié à un risque accru d'asthme à l'effort, d'asthme, de rhinite allergique et de sensibilité allergique chez les enfants de 6 villes françaises, même après prise en compte de l'exposition à la pollution aux adresses d'habitation en employant la modélisation (Etude des 6 Villes). De plus, l'exposition à des concentrations élevées des polluants urbains estimées à proximité de l'adresse de résidence a été reliée aux symptômes évocateurs de bronchite chronique parmi les résidents âgés de plus de 65 ans de l'agglomération de Bordeaux (Etude 3C). Plus récemment, l'étude APHEKOM (Improving Knowledge and Communication for Decision Making on Air Pollution and Health in Europe) a montré que, dans les villes étudiées, vivre à proximité de routes était responsable de 15 à 30% de nouveaux cas d'asthme chez les enfants ainsi que de BPCO (www.aphekom.org).Quelques études ont montré un lien entre la pollution due au trafic automobile et l'asthme et les allergies de façon prospective, la seule démarche qui permette d'établir la responsabilité de la pollution liée au trafic routier dans l'augmentation de la fréquence de ces pathologies. Dans la cohorte PIAMA (Prevalence and Incidence of Asthma and Mite Allergy), à l'âge de 4 ans on observait un risque accru de développer plusieurs indicateurs de santé allergique et respiratoire parmi les enfants ayant été exposés à des concentrations élevées des traceurs du trafic à la naissance. De même, les données provenant de l'intégration des études de cohorte GINI (German Infant Nutritional Intervention) et LISA (Influences of Lifestyle-related factors on the Immune System and the Development of Allergies) ont montré une association significative entre l'exposition aux $PM_{2.5}$ et l'asthme chez les enfants [1,1-2,6]).

Mortalité : En raison des effets aigus de la pollution atmosphérique et des interactions existantes entre pathologies aigues et chroniques, il n'est pas facile de distinguer les effets chroniques de la pollution sur la mortalité de ceux aigus. Typiquement dans des zones urbaines, on observe une augmentation de 9 % du risque de décéder d'une pathologie cardiopulmonaire pour un incrément de 10 µg/m^3 de particules fines et de 4 % pour un incrément de 10 ppb d'ozone. Plusieurs études de cohortes américaines et européennes, dont une française, suggèrent aussi une augmentation significative du risque de cancer du poumon, bien qu'inférieure à celle causée par le tabac : un accroissement de la pollution particulaire de 10 µg/m^3 est associé à un risque relatif significatif de 1,1 à 1,5. Une méta-analyse a estimé à entre 15-21 % l'augmentation du risque de décès par cancer du poumon pour chaque augmentation de 10 µg/m^3 des $PM_{2.5}$. Les effluents diesel sont particulièrement suspects et à l'issue d'une réunion de spécialistes internationaux, le Centre international de Recherche sur le Cancer (CIRC), qui fait partie de l'Organisation mondiale de la Santé (OMS), a classé les gaz d'échappement des moteurs Diesel comme étant cancérogènes pour l'homme (Groupe 1), sur la base d'indications suffisantes prouvant qu'une telle exposition est associée à un risque accru de cancer du poumon.

Effets des expositions des polluants atmosphériques de l'intérieur des locaux

La majorité des études a investigué les variations des prévalences de symptômes et maladies en fonction des variations de la pollution atmosphérique intérieure (Tableau 1).

Morbidité : La pollution de l'air à l'intérieur des locaux peut accroître le risque de phénomènes d'irritation, de sensibilisation allergique, de symptômes et maladies respiratoires aigus ou chroniques et d'atteinte fonctionnelle pulmonaire [10]. Plus aucun doute n'existe sur la nocivité du tabagisme passif *in* utero et environnemental qui constitue une autre source de particules respirables. Les enfants de mères fumeuses ont un risque accru d'asthme, de symptômes respiratoires, de baisse de la fonction respiratoire, d'otites et de mort subite du nourrisson et chez l'adulte le tabagisme environnemental a été mis en relation avec les cancers du poumon et de la sphère ORL même chez les femmes non-fumeuses dont les époux fument. Les particules respirables (PM_{10} et 2,5 µm ($PM_{2.5}$)) ont été reliées à plusieurs symptômes et maladies respiratoires, mais peu sont les études les ayant mesurées directement. Cependant, l'utilisation domestique de bois et de charbon, autre source connue de particules respirables, a été impliquée dans les sifflements de la poitrine accompagnés par une gêne respiratoire, la toux, le crachat, la bronchite et les cancers bronchiques même dans les pays industrialisés [11]. Le dioxyde d'azote a été mis en relation avec les infections respiratoires aiguës, les symptômes respiratoires et l'asthme. D'autres études ont mis en relation la présence de cuisinières et chauffages à gaz, source d'NO_2, avec un excès de symptômes respiratoires dont la dyspnée chez l'adulte. Les produits ménagers qui représentent un mélange de COV ont été mis en relation avec l'asthme chez des femmes au foyer ainsi que chez des enfants dont les mères les avaient utilisés pendant la grossesse. L'effet d'une exposition aux COVs à l'école a été retrouvé parmi des écoliers français (Etude des 6 Villes) [12]. Des nouvelles données mettent en relation sur le long terme l'asthme avec une exposition prolongée aux polluants émergeants (phtalates, retardateurs de flamme halogénés, bromés surtout, polluants organiques persistants (POP) retrouvés dans l'air, tels que BPC (Biphényles Polychlorés), DDT, dioxines et furanes. L'interprétation des études doit toujours tenir compte du fait que les polluants ne sont jamais isolés.

Mortalité : l'exposition au tabagisme passif et à la biomasse a été associée avec un excès de mortalité par cancer et BPCO. Des estimations conservatrices minimales récentes ont montré que dans le monde la pollution de l'air intérieur est responsable chaque année d'environ 4,3 millions de décès, imputables aux infections respiratoires aiguës chez les enfants âgés de moins de 5 ans à la broncho-pneumopathie chronique obstructive (COPD) et du cancer pulmonaire davantage chez les femmes surtout parmi celles exposées à la biomasse.

Population à risque accru

Si l'ensemble de la population humaine est concerné par la qualité de l'air, il existe une grande variabilité dans l'exposition aux polluants, dans la réponse à ceux-ci ainsi que dans la susceptibilité des individus. Certains groupes de population, tels que les enfants, les personnes âgées et les individus souffrant de pathologies chroniques (cardiopulmonaires, diabète II…), ont été identifiés

comme plus concernés par les effets de la pollution atmosphérique. Il faut aussi tenir compte des variations dans la susceptibilité de l'hôte à l'agression des polluants atmosphériques dans le cas de susceptibilité génétique, par exemple la famille des gènes de la GST (glutathion superoxyde dismutase) impliqués dans la réponse aux polluants par le biais d'un mécanisme antioxydant De plus, il y a les sujets lesquels en fonction de leur caractéristiques socio-économiques sont exposés de façon excessive à la pollution atmosphérique.

Mécanismes impliqués

Le mécanisme d'amorçage est bien compris : toute altération de l'environnement aérien, même à des taux minimes, cause une charge polluante substantielle et peut entraîner des dommages biologiquement significatifs. Successivement, plusieurs mécanismes d'actions peuvent se produire. En premier lieu, il y a le mécanisme du stress oxydant au niveau des cellules de l'appareil respiratoire pouvant engendrer une inflammation chronique au niveau des voies aériennes et du poumon susceptibles de favoriser et d'aggraver les manifestations respiratoires allergiques et la BPCO (O_3, particules). Successivement dans le cas de l'allergie respiratoire on observe en cas d'exposition à la pollution: 1) une sensibilisation primaire aux allergènes inhalés (particules surtout diésel ; 40 à 70 % des émissions de particules fines proviennent du diesel), 2) un effet adjuvant dans le déclenchement de la réponse allergique aux allergènes inhalés (particules diesel, NO_2, SO_2 et O_3); 3) une réponse inflammatoire non spécifique des voies respiratoires (particules diesel, O_3 et NO_2).

Prévention

La prévention et la prise en charge des maladies respiratoires et la promotion de la santé respiratoire dépendent d'une compréhension claire des interactions entre l'individu et les polluants de l'environnement immédiat. Une prévention efficace peut être basée sur l'éviction des sources, la réduction des émissions ainsi que sur la ventilation à l'intérieur des locaux. L'effet de la réduction de la pollution atmosphérique sur l'impact sanitaire a été montré dans plusieurs situations de vie réelle. Parmi d'autres exemples, à Dublin une diminution significative des taux de mortalité standardisés respiratoires Aucoïncidait avec l'interdiction de la vente de charbon [13]. Ensuite en Suisse, la diminution de la teneur en PM_{10} a été mise en relation avec une amélioration des symptômes chez les enfants [5]. A noter qu'aucun seuil d'effets indésirables n'était observé puisque les effets bénéfiques existaient pour des changements relativement faibles des niveaux de PM_{10} plutôt modérés. Et la fermeture du centre à la circulation automobile lors des jeux olympiques d'Atlanta a conduit à une réduction des concentrations d'ozone et du recours aux soins pour asthme [14]. Plus récemment, en France l'étude APHEKOM conduite dans 9 villes françaises a estimé les bénéfices sanitaires et économiques potentiels associés à une amélioration de la qualité de l'air. L'espérance de vie à 30 ans pourrait augmenter de 3,6 à 7,5 mois selon la ville, ce qui équivaut à différer près de 3 000 décès par an, si les concentrations moyennes annuelles de $PM_{2,5}$ respectaient la valeur guide de l'OMS (10 µg/m^3).

De même, une soixantaine de décès et une soixantaine d'hospitalisations respiratoires par an dans les neuf villes pourraient être évités si la valeur guide de l'OMS pour le maximum journalier d'ozone (100 µg/m^3) était respectée [www.aphekom.org]

Références

1. Annesi-Maesano I, Dab W. [Air pollution and the lung: epidemiological approach]. Med Sci (Paris). 2006;22:589-94.
2. Pénard-Morand C, Annesi-Maesano I. Maladies allergiques et respiratoires et pollution atmosphérique extérieure. Rev Mal Respir 2008;25:1013-26.
3. Dominici F, McDermott A, Daniels M et als. Revised analyses of the national mortality and air pollution study: mortality among residents of 90 cities. J Toxicol and Environ health 2005;68:1071-92.
4. Rom WN, Samet JM. Small particles with big effects. Am J Resp Crit Care Med 2006;173:365-66.
5. Bayer-Oglesby L, Grize Leticia, Gassner M et al. Decline of ambient air pollution levels and improved health in Swiss children. Environ Health Perspect 2005;113:1632-37.
6. Dab W, Ségala C, Dor F, et al. Air pollution and health: correlation or causality? The case of the relationship between exposure to particles and cardiopulmonary mortality. J Air Waste Management Assoc 2001;51:220-35.
7. Pénard-Morand C, Raherison C, Charpin D, Kopferschmitt C, Lavaud F, Caillaud D, Annesi-Maesano I. Long-term exposure to close-proximity air pollution and asthma and allergies in urban children. Eur Respir J 2010;36:33-40.
8. Jerrett M, Burnett RT, Pope CA 3rd, Ito K, Thurston G, Krewski D, Shi Y, Calle E, Thun M. Long-term ozone exposure and mortality. N Engl J Med. 2009;360:1085-95.
9. Chen H, Goldberg MS, Villeneuve PJ. A systematic review of the relation between long-term exposure to ambient air pollution and chronic diseases. Rev Environ Health 2008;23:243-97.
10. Hulin M, Simoni M, Viegi G, Annesi-Maesano I. Respiratory health and indoor air pollutants based on measurement exposure assessments. Eur Resp J 2012 (sous presse)
11. Sigsgaard T, Forsberg B, Annesi-Maesano I, Blomberg A, Bølling A, Boman C, Bønløkke J, Brauer M, Bruce N, Héroux ME, Hirvonen MR, Kelly F, Künzli N, Lundbäck B, Moshammer H, Noonan C, Pagels J, Sallsten G, Sculier JP, Brunekreef B. Health impacts of anthropogenic biomass burning in the developed world. Eur Respir J. 2015 Sep 24.
12. Annesi-Maesano I, Hulin M, Lavaud F, Raherison C, Kopferschmitt C, de Blay F, André Charpin D, Denis C. Poor air quality in classrooms related to asthma and rhinitis in primary schoolchildren of the French 6 Cities Study. Thorax 2012 Aug;67(8):682-8. .
13. Clancy L, Goodman P, Sinclair H, Dockery DW. Effect of air-pollution control on death rates in Dublin, Ireland: an intervention study. Lancet. 2002;360:1210-4.

14. Friedman MS, Powell KE, Hutwagner L, Graham LM, Teague WG. Impact of changes in transportation and commuting behaviors during the 1996 Summer Olympic Games in Atlanta on air quality and childhood asthma. JAMA. 2001;285:897-905.

7] Conseils à donner aux patients concernant la pollution atmosphérique

Denis Zmirou-Navier, Université de Lorraine (Faculté de Médecine de Nancy) et Ecole des Hautes Etudes en Santé Publique, Unité Inserm 1085-IRSET

Quel médecin n'a pas été interrogé par ses patients sur les effets d'une mauvaise qualité de l'air ? Tout d'abord, relativisons. La pollution atmosphérique, qui demeure un important enjeu de santé publique aujourd'hui dans les pays dits « avancés » comme la France, est pourtant bien moindre que celle que nos parents et grand parents ont subie et dont nombreux sont morts. Nous ne subissons plus aujourd'hui ces situations de pollution lourde (cette poisse épaisse et acide) qui ont emporté tant de victimes jusque dans les années 70-80 du siècle dernier. En revanche, ces épisodes catastrophiques font désormais l'actualité dans les grandes mégapoles des pays émergents et en développement d'Asie du Sud et du Sud-Est ou d'Afrique. Moindre, la pollution a surtout changé de nature : aux émissions de l'industrie lourde d'alors se sont substituées celles des pots d'échappement des millions de véhicules à moteur qui arpentent les grandes voiries de nos cités ; autres polluants où prédominent les particules fines et les polluants oxydants (ozone, oxydes d'azote), résultant souvent de transformations photochimiques dans l'air. Sauf au voisinage de sites industriels, où cette pollution « à l'ancienne » peut encore être présente, ce sont le chauffage des bâtiments (bureaux et habitations) et le trafic automobile (véhicules utilitaires et voitures, mais aussi deux-roues motorisées) qui sont les principales sources de pollution dans nos villes. Bien que la pratique soit dorénavant interdite, les feux des feuilles tombées et d'autres déchets organiques sont aussi une source importante de pollution en zone péri-urbaine ou rurale. Mais, libre comme l'air, la pollution peut se déplacer sur des centaines voire des milliers de kilomètres et constitue une « couche de fond » à laquelle s'ajoute la pollution locale ; chacun pollue chacun, mais là aussi, « certains sont plus égaux que d'autres » ...

Les effets connus (et moins connus) de la pollution atmosphérique.

La littérature scientifique est très abondante et de nombreuses sociétés savantes (en pneumologie, en cardiologie, maintenant aussi en obstétrique, neurologie …) consacrent régulièrement des sessions de leurs réunions professionnelles au sujet. L'Organisation Mondiale de la Santé peut ainsi annoncer qu'en « diminuant les niveaux de pollution atmosphérique, les pays peuvent réduire la charge de morbidité imputable aux accidents vasculaires cérébraux, aux cardiopathies, au cancer du poumon et aux affections respiratoires, chroniques ou aiguës, y compris l'asthme »[2]. Des travaux plus récents indiquent aussi que certaines morts fœtales, des

[2] Qualité de l'air ambiant (extérieur) et santé. Aide-mémoire N°313. Mars 2014. (http://www.who.int/mediacentre/factsheets/fs313/fr/)

issues défavorables de grossesse (prématurité, retard de croissance intra-utérin)[3], voire des retards du développement cognitif chez l'enfant[4] ou aux âges avancés[5] pourraient être en jeu.

Docteur, qu'est-ce qui est le plus dangereux : les « pics » ou le « fond » ?

La réponse est claire. Contrairement à ce que suggèrent les brusques montées de température médiatique à l'occasion de « pics » de pollution (ces épisodes durant lesquels, en raison de phénomènes météorologiques qui facilitent l'accumulation des polluants émis localement, les concentrations de certains indicateurs de qualité de l'air dépassent pendant quelques jours les « normes » de la réglementation), c'est bien la pollution « de fond » (c'est-à-dire chronique, au jour le jour sur le long terme) qui a les impacts sanitaires les plus forts. De plus, il est démontré que c'est en réduisant cette pollution de fond que l'on est le plus efficace pour éviter ou réduire la fréquence des épisodes de « pics »[6].

Pour autant, il est du devoir du médecin d'informer ses patients à l'occasion des épisodes car certains sont plus vulnérables. Il s'agit des personnes souffrant de pathologies cardiovasculaires, des insuffisants cardiaques ou respiratoires, des asthmatiques, mais aussi des femmes enceintes, des nourrissons et des jeunes enfants (l'âge de la crèche ou de la maternelle), ainsi que toute personne se reconnaissant comme sensible lors des pics de pollution et dont les symptômes apparaissent ou sont amplifiés lors de tels épisodes ; le médecin doit d'ailleurs inviter ses patients et leurs proches à s'identifier ainsi comme « sensibles » afin d'agir en conséquence lorsque les messages *d'information*, voire *d'alerte* (les « pics » les plus élevés), sont diffusés par les médias locaux, eux-mêmes informés par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air et les autorités sanitaires. Le conseil à prodiguer est de réduire les activités physiques et sportives « intenses » (celles qui obligent à respirer par la bouche, le nez ne suffisant plus). Dans le cas particulier des épisodes de pollution par l'ozone, ces activités physiques et sportives peuvent cependant être maintenues lorsqu'elles sont pratiquées à l'intérieur de locaux (car, pour ce polluant particulier, les concentrations y sont réduites par rapport à l'extérieur). Hormis ce cas particulier, il n'y a pas lieu de faire rentrer les enfants dans les locaux, que ce soit à la maison ou dans les classes d'écoles, car de toute façon la teneur en polluants est semblable à ce qu'elle est dehors. Ces personnes vulnérables seront aussi invitées à limiter leurs déplacements aux abords des grands axes routiers aux moments de grande affluence du trafic automobile. En règle général, pratiquer des activités physiques impliquant une forte ventilation (jogging …) au voisinage des voiries fortement chargées n'est jamais une très bonne idée, pour quiconque, que ce soit lors des pics ou en dehors. Bien entendu, les patients sous traitement veilleront à bien suivre leur prescription et à

[3] Proietti E[1], Röösli M, Frey U, Latzin P. Air pollution during pregnancy and neonatal outcome: a review. J Aerosol Med Pulm Drug Deliv. 2013;26(1):9-23.
[4] Lilian Calderón-Garcidueñas, Ricardo Torres-Jardón, Randy J. Kulesza, Su-Bin Park, Amedeo D'Angiulli. Air pollution and detrimental effects on children's brain. The need for a multidisciplinary approach to the issue complexity and challenges. Front Hum Neurosci. 2014; 8: 613.
[5] Peters R, Peters J, Booth A, Mudway I. Is air pollution associated with increased risk of cognitive decline? A systematic review. Age Ageing. 2015 ;44(5):755-60.
[6] Haut Conseil de la Santé Publique (2012). Pollution par les particules dans l'air ambiant : recommandations pour protéger la santé. (http://www.hcsp.fr/explore.cgi/avisrapportsdomaine?clefr=265)

consulter si des symptômes apparaissent (par exemple fatigue, mal de gorge, nez bouché, toux, essoufflement, sifflements, palpitations)[7].

Vos patients sont également des citoyens : questions de fond

N'agir qu'à l'occasion des « pics », c'est se condamner à subir. On l'a dit : la pollution atmosphérique est la conséquence de choix (ou de non-choix) de société : les modes de transport des personnes (la voiture individuelle versus les transports en commun ou les déplacements « actifs », marche à pied et vélo, moins polluants et toujours bénéfiques pour la santé), l'urbanisme (la séparation entre la localisation des lieux d'habitation et des activités économiques, l'implantation des lieux scolaires), les bâtiments économes en énergie etc. Il s'agit de choix que font les élus au cours de leur mandat et qui engagent les générations futures. Ces élus sont sensibles aux questions et remontrances de leurs électeurs. Vos patients sont ces électeurs ; leur expliquer qu'une cause de leur mal-être réside dans l'air qu'ils respirent et en dénoncer les sources peut à terme s'avérer aussi pertinent que de rajouter une ligne sur l'ordonnance. Quant aux caprices de la météorologie, *homo economicus* ne sait pas encore les dompter, c'est pourquoi il doit agir sur les sources de la « pollution de fond » …

Phrases de Synthèse

Par rapport aux années 70-80 du siècle dernier la pollution a changé de nature : aux émissions de l'industrie lourde d'alors se sont substituées celles des pots d'échappement des millions de véhicules à moteur

Ce sont le chauffage des bâtiments (bureaux et habitations) et le trafic automobile (véhicules utilitaires et voitures, mais aussi deux-roues motorisées) qui sont les principales sources de pollution dans nos villes.

En diminuant les niveaux de pollution atmosphérique, les pays peuvent réduire la charge de morbidité imputable aux accidents vasculaires cérébraux, aux cardiopathies, au cancer du poumon et aux affections respiratoires, chroniques ou aiguës, y compris l'asthme

C'est la pollution « de fond » qui a les impacts sanitaires les plus forts, et il est démontré que c'est en réduisant cette pollution de fond que l'on est le plus efficace pour éviter ou réduire la fréquence des épisodes de "pics".

Le conseil à prodiguer est de réduire les activités physiques et sportives « intenses pendant les périodes de pic pour les personnes les plus vulnérables

[7] Arrêté du 20 août 2014 relatif aux recommandations sanitaires en vue de prévenir les effets de la pollution de l'air sur la santé, publié au JORF n°0201 du 31 août 2014

8] Que faut-il penser du diesel ?

Docteur Gilles Dixsaut, Fondation du souffle contre les maladies respiratoires, Centre de pneumologie Cochin Hôtel Dieu.

Des années 60 aux années 90 la motorisation diesel est restée cantonnée aux véhicules à usage essentiellement utilitaire, ou à de gros rouleurs pour ce qui concerne les véhicules particuliers. Dès cette époque le gazole était sous taxé en France, mais aussi dans la plupart des pays car considéré comme un carburant à usage essentiellement professionnel. C'étaient alors des véhicules globalement bruyants, malodorants et réputés pour émettre des fumées noires dont on se tenait à l'écart. En même temps ils produisaient peu de CO, qui était le polluant majeur des véhicules à essence. Cette pollution des véhicules essence a été considérablement réduite avec la généralisation du pot catalytique à 3 voies au début des années 90. Maintenant on nous dit que les véhicules diesel sont « propres », est ce qu'une pollution moins visible et moins odorante serait moins nocive notamment pour notre santé ? Le rapport de la Commission d'enquête du Sénat sur le coût économique de la pollution atmosphérique publié en juillet 2015 évalue ce coût à 103 milliards d'Euros par an et donne une bonne place au diesel dans ce coût[1]

1 Pourquoi tant de véhicules diesel ?

Dans les années 90 l'objectif, développé notamment par les autorités européennes, était la réduction des émissions de CO2, qui comme on le sait est un gaz à effet de serre. En Europe certains constructeurs automobiles et en particulier les constructeurs français ont répondu à cette attente par le développement d'une technologie diesel à injection directe à très haute pression permettant un contrôle plus fin de l'injection et donc une moindre consommation. Ce développement a conduit à une diésélisation généralisée du parc automobile français des véhicules particuliers avec plus de 70% du marché. Les autorités françaises et européennes ont accompagné cette évolution avec de fortes incitations fiscales par le biais des bonus et du maintien de la sous taxation du gazole qui n'était plus vraiment un carburant professionnel, tant pis pour les particules et le NO_2. D'autres ont choisi d'autres voies qui permettaient de remplir ces objectifs, notamment en France les ministères de la santé et de l'environnement tentaient, avec les pétroliers, de développer la filière GPL aussi économe en CO2 mais sans pollution. C'est le choix qui a été fait par la Corée du sud avec plus de 20 millions de véhicules GPL et dans une moindre mesure chez certains de nos voisins européens chez qui le GPL représente 30 à 40% du marché (Pologne, Pays Bas, Italie). Le Japon a choisi de bannir totalement le diesel (moins de 1% du marché) et de développer l'hybride essence avec une division par 2 de la pollution particulaire et très peu de NO2. En Chine le diesel représente moins de 1% du marché (mais ils ont d'autres sources de pollution). En Allemagne les camions fonctionnant au gaz (GNV), à usage urbain ou

routier, ont été introduits depuis une quinzaine d'années et on croise même maintenant sur nos routes des gros porteurs allemands fonctionnant au GPL.

Une tentative d'introduction de bus à gaz à la RATP (comme dans les grandes villes américaines ou européenne), initiative soutenue par plusieurs ministères, s'est heurtée à des oppositions de principe et l'expérimentation sur deux lignes de bus est restée sans suite. Parallèlement l'évolution technologique des moteurs à essence s'est ralentie et les pouvoirs publics en France ont voulu développer la voiture électrique avec le succès mitigé que l'on sait et alors que les ingénieurs en prospective technologique nous disent depuis 10 ans que l'avenir de l'électrique passera par l'hybride rechargeable, ce qu'aucun constructeur français n'a fait, alors de nombreux constructeurs étrangers sont en train de développer cette filière.

2 Quelles pollutions en rapport avec les moteurs diesel ?

La pollution qui vient d'abord à l'esprit lorsque l'on évoque les moteurs diesel est la pollution particulaire (le diesel qui fume). Mais l'évolution de la technologie a permis de modifier considérablement les caractéristiques des particules émises, grâce à l'injection haute pression et aux filtres à particules obligatoires depuis 2011. On produit ainsi des particules infiniment plus fines et en quantité massique beaucoup plus faible. Mais on sait que, par exemple, l'interaction particules-pollens[2] est fonction du nombre de particules, lequel est à masse égale de particules, proportionnel à l'inverse du cube du rayon des particules (considérées par simplification comme des sphères) et que la réactivité des particules, notamment sur les voies respiratoires ou dans le système cardio vasculaire est fonction de leur surface, proportionnelle à l'inverse du carré du rayon des particules. Donc exprimer la quantité de particules émises par les moteurs diesel (ou toute autre source de particules, notamment les combustions du fuel, du bois…) sous forme de masse n'a pas de sens en termes d'effet sur la santé. C'est pourtant la seule référence réglementaire. Ce qui compte c'est le nombre ou la surface des particules. Quand le diamètre des particules est divisé par 10 leur surface augmente d'un facteur 100 et leur nombre d'un facteur 1000. Ainsi lorsque l'on passe de particules de 10µm à des particules de 0,1µm leur nombre est multiplié par un facteur 10^6. On sait aussi que les particules dont la pénétration dans le système respiratoire est la plus importante sont celles dont le diamètre est de l'ordre de 0,2 à 0,3 µm, les particules d'un diamètre supérieur à 2,5µ ou inférieur à 0,1µ étant retenues par les voies aériennes supérieures. L'effet des particules sur les pollens est de deux ordres, d'une part en se fixant sur la surface des pollens les particules augmentent l'allergénicité de surface, d'autre part en faisant éclater les pollens elles libèrent des allergènes contenus dans les pollens. Les particules diesel ont été classées comme cancérogène certain par le Centre international de recherche sur le cancer en juin 2012, et la pollution atmosphérique en octobre 2013.

3 Quels effets sur la santé de la pollution par les moteurs diesel ?

En ce qui concerne les effets à court terme de la pollution particulaire sur la mortalité, une étude récente de l'InVS[3] montre dans 17 villes françaises qu'une augmentation de 10 µg/m3 des niveaux de Pm 10 entraîne avec un retard de 0 à 1 jour ou 2 à 5 jours une augmentation de 0,51% de la mortalité toutes causes et de 0,55% de la mortalité cardiovasculaire. L'effet est plus important avec un retard de 2 à 5 jours traduisant un effet retardé (sauf en été où l'effet est plus rapide :confusion possible avec l'ozone). Pour les effets à long terme, l'étude européenne Aphekom a montré que les dépassements de niveaux de PM 2,5 par rapport aux directives de l'OMS, sont responsables de 2900 décès annuels prématurés dans les villes françaises participant à l'étude. Cette même étude a montré que le gain d'espérance de vie, si les lignes directrices de l'OMS étaient respectées pour les seules PM 2,5 (10µg/m^3), conduirait à un gain d'espérance de vie de 0 à Stockholm à 22 mois à Bucarest (6 mois dans les grandes villes françaises).

Le rapport *Baseline Scenario for the Clean Air for Europe Analysis* (CAFE) pour le compte de la Commission Européenne, estime que 100 000 décès prématurés et 725 000 années de vies perdues par an sont attribuables aux particules fines en Europe (toutes pathologies confondues). Pour l'année 2002 et pour la France, 600 à 1100 décès par cancers du poumon (2 à 4% de la mortalité par cancer du poumon) et 3000 à 5000 décès par maladies cardiovasculaires seraient attribuables à cette exposition chronique. Un total de 6 000 à 9 000 décès toutes causes confondues pourrait lui être attribué, soit 3 à 5 % de la mortalité totale de la population. Sur ce plan les filtres à particules, obligatoires sur les véhicules diesel depuis 2011 n'ont pas été la panacée attendue. En effet on voit souvent des véhicules récents, notamment taxis et petits utilitaires urbains, équipés de filtres à particules, qui fument noir au démarrage. La raison est qu'un filtre à particule doit être régénéré régulièrement par roulage à vitesse régulière et soutenue pendant au moins 60 kms, ce que ne permet pas de faire un usage purement urbain. La régénération se fait soit par pyrolyse à haute température (avec une forte production d'oxydes d'azote), soit par action catalytique d'un liquide injecté dans le filtre à particule (sans que l'on connaisse le devenir des composés issus de cette réaction).

La pollution particulaire n'est pas la seule cause de pollution en rapport avec la motorisation diesel. L'autre pollution assez spécifique (depuis l'utilisation des pots catalytiques 3 voies sur les véhicules à essence) est la pollution par le NO2 dont les moteurs diesels sont de gros pourvoyeurs. Globalement les NOX ont diminué au cours des 30 dernières années, mais le rapport NO2 /NO a beaucoup augmenté, c'est un traceur de la pollution liée à la motorisation diesel. Les véhicules diesel bénéficient sur ce point de larges dérogations dans les réglementations européennes par rapport aux véhicules essence, mais cette différence est vouée à s'atténuer. Le dioxyde d'azote est un fort irritant bronchique, mais en outre dans la « soupe atmosphérique » ce composé est à l'origine de deux polluants secondaires préoccupants. D'abord, en été lors d'épisodes d'inversion de température, l'ozone, fort irritant des voies aériennes et des muqueuses. C'est un polluant secondaire issu de la réaction des ultraviolets sur des polluants primaires et principalement le

NO2. En période estivale on peut difficilement accuser le chauffage d'être à l'origine de cette pollution secondaire dont la source principale est alors le trafic routier, notamment les moteurs diesel. L'augmentation des concentrations moyennes d'ozone a été parallèle à la diésélisation du trafic alors que d'autres polluants ont notablement été réduits, notamment ceux issus de l'industrie ou des véhicules à essence (SO2, CO, COV). L'autre polluant secondaire est constitué par les particules secondaires. La réaction du NO2 avec les nitrates de l'agriculture en période d'épandage, conduit à la création de particules secondaires de nitrate d'ammonium. Ainsi les épisodes de pollution particulaire de mars 2014 et de mars 2015 étaient essentiellement liés à la formation de particules secondaires et relativement peu de particules primaires issues de combustions [4]. Les épisodes de pollution de particules carbonées liés notamment au trafic routier ont été suivis de périodes plus longues et plus intenses de pollution par des particules secondaires. Ces épisodes survenaient à l'occasion d'épandages agricoles concomitants avec des périodes d'inversions de températures et de fort trafic routier. En mars 2015 des vents d'est amenant des pollutions industrielles notamment en provenance d'Allemagne ont conduit à étendre cette pollution sur l'ensemble du quart nord-est de la France.

4 Une sur-diésélisation du parc : une hérésie économique

Lors du raffinage du pétrole brut, et pour une qualité de pétrole donnée, le rapport entre la quantité de produits légers (propane, butane, essences) et de produits lourds (gazole, kérosène, goudrons) est fixe. Si la demande en gazole est trop importante on se retrouve avec un excédent de produits légers pour lesquels il faut trouver des débouchés. Les Etats Unis n'achètent maintenant plus d'essence car ils sont devenus auto suffisants grâce à la production de gaz de schistes. Donc on ne sait quoi faire des produits légers et il faut acheter du gazole, notamment à la Russie qui n'est pas forcément un fournisseur très fiable. Cette situation de déséquilibre a conduit globalement à une augmentation des prix des carburants et à la fermeture de raffineries françaises qui ne pouvaient pas répondre à cette demande déséquilibrée. On croit généralement que rouler au gazole est économique. En fait le prix de revient du kilomètre, pour la majorité des utilisateurs (parcourant en moyenne 12700 kms par an) est maintenant inférieur avec des véhicules essence. Cela est dû à l'évolution récente des moteurs à essence : les constructeurs, notamment français, ont développé des technologies d'injection directe sur des moteurs turbocompressés, comme ils avaient fait sur les moteurs diesel il y a 20 ans. Ils y ont été obligés, ils n'auraient pas vendu de véhicules diesel sur les marchés émergents qui constituent maintenant un débouché important. La technologie est plus simple la dépollution maîtrisée depuis longtemps, donc le coût à l'achat et à l'entretien nettement inférieur aux véhicules diesel équivalents. Malgré la sous taxation du gazole, et le bonus accordé aux véhicules diesel, sur les 30 véhicules les plus économiques au kilomètre, il n'y a qu'un seul véhicule diesel (fabriqué en Roumanie) : étude Argus[5].

Pour ces raisons économiques le marché est en train de s'inverser, La part des véhicules diesel était de 73% dans le marché neuf en 2012 (contre 4% en 1980), elle est tombée à 59 % en 2015 (source Comité des Constructeurs Français d'Automobile). Les constructeurs automobiles français et européens ne proposent même plus de version diesel pour leurs véhicules urbains. Ils anticipent une envolée des couts liés la sévérisation prévue des normes d'émissions pour les véhicules diesel et un alignement de la fiscalité du gazole sur celle de l'essence, réclamé notamment par la Commission d'enquête du Sénat.

L'objectif annoncé de la mairie de Paris est de faire disparaître les véhicules diesel de Paris à l'horizon 2020 !

Références bibliographiques

1 Rapport de Madame Leila Aïchi, fait au nom de la Commission d'enquête du Sénat sur le cout économique de la pollution de l'air. N° 610 Tome 1 (2014-2015) - 8 juillet 2015.

2 Etat des connaissances sur l'impact sanitaire lié à l'exposition de la population générale aux pollens présents dans l'air ambiant. Rapport d'expertise collective Saisine « n°2011-SA-0151 - Pollens ». Comité d'experts spécialisé « Evaluation des risques liés aux milieux aériens », Groupe de travail « Pollens » ANSES Janvier 2014

3 Corso M, Pascal M, Wagner V, et al. Impact à court terme des particules en suspension sur la mortalité dans 17 villes françaises 2007-2010. BEH 2015 (1-2) : 14-20

4 Fritz A, Dugay F, Honoré C, et al. Bilan de l'épisode de pollution de mars 2014et évaluation de la mise en place de la circulation alternée le 17 mars 2014 en Ile de France. Pollution atmosphérique, numéro spécial Mars 2015.

5 www.linternaute.com/auto/magazine/voitures-les-plus-economiques-classement-2014/

9] Moyen de contrôle/maîtrise

Isabelle Roussel, Présidente de l'Association pour la Prévention de la Pollution Astmosphérique (APPA)

L'air est un élément vital et invisible donc, dans un certain sens, c'est la bonne santé respiratoire de la population qui est le meilleur moyen de contrôler la qualité de l'air.

Pendant de longues années, ce contrôle s'est effectué à travers le filtre des sens : ce sont les fumées et les mauvaises odeurs qui étaient les critères retenus pour dénoncer la gêne et la nuisance occasionnées plutôt que l'empoisonnement plus difficile à démontrer car, mis à part le monoxyde de carbone que les américains désignent sous le nom de « killer », la pollution ne tue pas instantanément. Cependant, elle peut aller au delà de la gêne ou de la dégradation de la qualité de vie pour contribuer à atteindre la santé des populations.

L'air est un bien commun qui se doit d'être géré par la puissance publique au nom de l'intérêt général et de la responsabilité sanitaire des gouvernements mais la prise en charge collective de la qualité de l'air se heurte à plusieurs difficultés qui expliquent le déficit observé dans les résultats et la persistance du dépassement des seuils autorisés. En effet, la gestion de la qualité de l'air se trouve être en tension entre une référence temporelle (les normes) ou territoriale (les cartes) ; entre la responsabilité régalienne de l'Etat au titre de la sécurité sanitaire et les leviers de la prévention qui se situent dans les territoires ; entre la surveillance indispensable pour contrôler le respect des normes et l'évaluation des impacts des actions entreprises….

I Le contrôle de la qualité de l'air : des difficultés à surmonter.

✓ ***La croissance de l'industrie et du bien-être des populations repose depuis de nombreuses décennies sur la combustion des énergies fossiles*** qui dégagent du CO_2 mais également des gaz, à plus courte durée de vie, qui sont plus toxiques. La maîtrise du climat et de la qualité de l'air supposent un changement du modèle énergétique que des décennies de lutte contre la pollution n'ont jamais osé entreprendre ; le mode de gestion proposé repose sur le respect de normes autorisant les émissions polluantes jusqu'à un certain seuil au delà duquel la concentration atteinte est censée causer des dommages sur la santé.

✓ ***La gestion de la qualité de l'air est très dépendante des connaissances scientifiques*** qui n'ont cessé de progresser à la fois dans le domaine de la métrologie pour mesurer au mieux les différents composants de l'atmosphère et dans le champ de la connaissance scientifique sur les effets délétères et les impacts sanitaires attribués à la pollution atmosphérique. Ainsi, les niveaux observés pour certains polluants, comme le dioxyde de soufre, ne cessent de diminuer dans les pays du Nord, l'espérance de vie des populations augmente et, en même temps, la nocivité des polluants est de mieux en mieux démontrée : les études sur les particules, souvent simplement qualifiées de poussières et considérées comme liées à la vie quotidienne, mettent de plus en plus

en lumière leur contribution à de nombreuses pathologies qui n'affectent pas uniquement l'appareil respiratoire. En dépit des progrès réalisés par la toxicologie et par l'épidémiologie, présentés dans les chapitres précédents, la complexité des interactions caractérise la santé environnementale incompatible avec la recherche de déterminisme.

Mis à part l'amiante considérée comme seule responsable d'une pathologie bien identifiée, l'influence de l'environnement sur la santé est plus complexe compte tenu de la pluralité des influences possibles. Il est donc difficile de trouver un indicateur qui permette de contrôler directement la qualité de l'air d'un point de vue sanitaire. Chaque polluant, pris comme indicateurs sont rarement indépendants les uns des autres et il est souvent difficile de dissocier leurs effets respectifs même au moyen de procédés statistiques sophistiqués (cf. Dominici et al et B.Festy); par exemple, les effets de NO_2 sont difficiles à identifier. Peut-on définir avec certitude la composition des cocktails atmosphérique à l'aide de la concentration équivalente de 2 ou 3 grands indicateurs, sans tenir compte des caractéristiques des mélanges ?

Pour mener une prévention efficace, il est nécessaire d'identifier des indicateurs d'émissions permettant de retrouver quelles sont les sources incriminées dans le cocktail atmosphérique. Or, cette recherche se heurte à une difficulté majeure de la gestion de la pollution atmosphérique, à savoir l'interpénétration des échelles spatio-temporelles avec lesquelles joue la pollution de l'air.

✓ ***La pollution intègre une multitude d'échelles spatio-temporelles.*** La molécule d'air que l'on respire intègre des polluants de la maison dans laquelle on vit que ceux qui proviennent de la rue voisine voire même de la région voisine. L'échelle temporelle, la durée de vie d'un polluant, se combine avec les échelles spatiales puisqu'un polluant à courte durée de vie n'aura des effets que sur quelques kilomètres à la ronde tout en sachant qu'il peut se recombiner avec d'autres gaz. C'est pourquoi la lutte contre le changement climatique s'effectue sur des échelles spatio-temporelles qui ne sont pas celles de la qualité de l'air qui relève, pour une large part, du domaine de la proximité. En revanche, une action sur les sources communes, par exemple la réduction de la combustion des énergies fossiles, permet de limiter le dégagement de polluants présentant des caractéristiques variées.

✓ ***La réglementation qui s'impose pour gérer un bien commun s'appuie sur l'existence d'un risque collectif*** or, l'exposition d'un individu à la pollution atmosphérique est extrêmement variée, très différenciée dans le temps et dans l'espace selon le mode de vie des individus et leur histoire. S'il est possible d'identifier des territoires ou des populations vulnérables, ce mode de gestion collectif est de plus en plus décrié à un moment où l'individu règne en maître au sein de la société.

II La pollution de l'air est essentiellement gérée par les normes

Les normes, édictées pour l'ensemble de l'Europe ont d'abord été des normes prises sur la qualité de l'air puis elles ont été complétées par des normes d'émission. C'est ainsi que la LAURE[8] de 1996, transposant en droit français les directives européennes, comportait trois volets : l'un sur l'organisation de la surveillance, l'autre sur les actions territoriales à mettre en œuvre et le troisième sur la transition énergétique. Si le premier volet de cette loi a été mis en œuvre de manière efficace, l'application des deux autres volets ont été décalés dans le temps, les PPA (Plans de protection de l'atmosphère) ne sont pas tous adoptés et la loi de transition énergétique (LTE) a permis de remettre sur l'agenda politique les questions énergétiques qui avaient été négligées à la fin du siècle dernier.

✓ **Le poids de l'Europe.** A travers les normes, dès que les progrès de la métrologie ont permis de stabiliser les mesures, les industriels ont souhaité objectiver la pollution partout en Europe, pour éviter les effets de la concurrence. Ils ont pu ainsi fournir des réponses solides aux plaintes fondées sur la perception et donc plus subjectives (Charvolin, 2015[9]). Ils ont ainsi contribué à mettre en place des normes de qualité de l'air, censées être le reflet de contraintes sanitaires qui sont bien difficiles à évaluer (cf ci dessus), de telle sorte que : « *la valeur scientifique d'une norme est très relative. Elle constitue plutôt un espace de négociation dans une perspective juridique et politique. De même qu'elle n'est pas le reflet d'un débat purement scientifique, elle ne se définit pas simplement par l'action normative de l'État* (H.Scarwell, 2015)».

✓ **Les normes de qualité de l'air.** La loi sur l'air énonce en son article 3 que « *des objectifs de qualité de l'air, des seuils d'alerte et des valeurs limites sont fixés, après avis du conseil supérieur d'hygiène publique de France, en conformité avec ceux définis par l'Union européenne ou, à défaut par l'organisation mondiale de la santé. Ces objectifs, seuils d'alerte et valeurs limites sont régulièrement réévalués pour prendre en compte les résultats des études médicales et épidémiologiques* ». Si l'Union européenne comme la France, reconnaissent les effets nocifs de la pollution atmosphérique sur la santé et la qualité de l'air comme un enjeu sanitaire majeur[10] les valeurs de références à atteindre publiées par l'Organisation Mondiale pour la Santé (OMS), intitulées « recommandations » sont plus strictes que la réglementation française. Les seuils adoptés par les directives et repris par la

---

[8] La loi LAURE du 30 décembre 1996 (Loi sur l'Air et de l'Utilisation Rationnelle de l'Energie), vise à rationaliser l'utilisation de l'énergie et à définir une politique publique intégrant l'air en matière de développement urbain : "*La mise en œuvre du droit reconnu à chacun à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé consiste à prévenir, à surveiller, à réduire ou à supprimer les pollutions atmosphériques, à préserver la qualité de l'air et, à ces fins, à économiser et à utiliser rationnellement l'énergie.*"

9 F.Charvolin, (sous la dir. de), *Un air familier Sociohistoire des pollutions atmosphériques* ,Presses de l'école des mines, 2015, 238 p.

10 Selon les résultats du programme européen de l'Apheis http://www.apheis.org/ et Aphekom http://www.aphekom.org/web/aphekom.org/what-s-new. Alain Le Tertre, Susann Henschel, Richard W. Atkinson, Antonis Analitis, Ariana Zeka, Klea Katsouyanni, Pat Goodman, Sylvia Medina. **Impact of legislative changes to reduce the sulphur content in fuels in Europe on daily mortality in 20 European cities: an analysis of data from the Aphekom project.** Air Quality, Atmosphere & Health (2014) 7: 83-91, March 01, 2014

✓ France, ont été régulièrement revus à la baisse. La première directive sur la qualité de l'air ambiant date de 1996, elle a engendré plusieurs directives filles et a été réactualisée en 2008 ; les moyennes sont venues compléter les valeurs instantanées de manière à éviter de trop focaliser la gestion de la qualité de l'air sur les « pics » de pollution dont les effets sanitaires étaient relativisés.

✓ **Le danger de la focalisation sur les pointes.** En effet, la tentation pour les émetteurs de pollution consiste à considérer l'innocuité des polluants émis tant que leur concentration n'atteint pas un certain seuil. Or, les études sanitaires montrent combien l'écrêtement des pointes ne suffirait pas à garantir l'absence d'effets sanitaires dans la mesure où l'exposition à la pollution chronique est sans aucun doute plus nocive (HCSP). C'est pourquoi les normes de qualité sont de plus en plus exprimées en valeurs moyennes annuelles. Certes, cette valeur en elle même ne signifie rien car elle gomme les aléas de la météorologie qui contribue à faire alterner des jours avec une pollution faible car la dispersion est bonne avec des jours au cours desquels les polluants s'accumulent. Néanmoins, les moyennes intègrent l'ampleur et la fréquence des pointes.

✓ **Une autre difficulté créée par la gestion appuyée sur les normes consiste à appliquer une réglementation uniforme sur des situations très diverses.** Les hésitations rencontrées par les AASQA sur le nombre de stations de mesure à prendre en considération pour décréter une situation d'alerte illustre l'hétérogénéité des situations. C'est pourquoi, progressivement, la modélisation a permis d'initier une gestion de la pollution plus territorialisée. A la gestion de la pollution liée à la proximité d'une industrie a succédé la gestion de la pollution urbaine.

✓ **Paradoxalement, la pollution urbaine est gérée par des normes techniques.** La pollution des grandes agglomérations françaises dépasse les normes européennes ; elle montre l'inefficacité des deux solutions utilisées pour assainir l'air des villes : l'amélioration de la technologie des véhicules et les plans de déplacement urbains (PLU) qui avaient pour objectif de limiter la mobilité motorisée en développant les transports en commun. La technologie des voitures, le système moteur/carburant, s'est beaucoup améliorée en suivant les normes Euros[11] et les émissions rejetées par kilomètre parcouru ont baissé même si les véhicules Diesel posent encore quelques problèmes (cf chapitre précédent) et que la mobilité motorisée tarde à diminuer (l'effet rebond traduit une utilisation plus intensive grâce à l'amélioration des performances). Pour évaluer l'amélioration de la qualité de l'air dans les villes, une connaissance fine des émissions, du trafic et des conditions météorologiques s'impose.

✓ **L'importance des normes d'émissions.** Plusieurs raisons se sont imposées pour définir des normes d'émissions à l'échelle européenne en raison de la nature transfrontalière de ces polluants persistants. L'évaluation des émissions sert de base pour leur taxation à la faveur du principe pollueur payeur et, au fil des ans, la diminution des émissions a été compensée par l'élargissement

[11] Entre la norme Euro 1, adoptée en 1993, et la norme Euro 6, entrée en vigueur au 1er septembre 2014.

de l'assiette fixée pour la taxe. La directive NEC (2001) définit des limites pour les émissions nationales totales de quatre polluants: le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote, les composés organiques volatils et l'ammoniac. Ceux-ci peuvent être à la source d'acidification des systèmes aquatiques, de la pollution de l'eau et des sols (eutrophisation) et de la formation de l'ozone au sol (ozone résultant de la réaction des quatre polluants sous l'effet de la chaleur et de la lumière solaire). Cette réglementation repose sur une méthodologie, définie au niveau européen et utilisée pour réaliser l'inventaire et le cadastre des émissions. En France, le CITEPA a la charge d'appliquer la méthodologie européenne pour contribuer au « reporting » européen. Néanmoins, les AASQA, ont eu besoin de recenser les émissions pour modéliser la répartition spatiale des polluants et réaliser des cartes de pollution. Elles ont alors utilisé une méthode davantage appuyée sur une connaissance fine du territoire. Ce travail est actuellement intégré dans les missions attribuées aux associations de surveillance.

III La surveillance entre norme et territoire

C'est aussi la loi sur l'Air qui a défini les principes de la surveillance de manière à homogénéiser les différentes associations mises en place dans différentes villes à la faveur de l'hygiénisme municipal du vingtième siècle (Charvolin, 2015) et à étendre la surveillance à l'ensemble du territoire français. Le système d'une association quadripartite a été repris au sein d'associations agréées bénéficiant d'un financement tripartite. Les industriels, à la faveur de la taxe parafiscale transformée ensuite en TGAP, assurent une part importante du financement de la surveillance d'une pollution devenue urbaine ce qui introduit des différences substantielles entre ces associations dont certaines, installées dans des régions industrielles peuvent drainer des financements locaux importants tandis que d'autres sont plus dépendantes des dotations de l'Etat. De manière générale, compte tenu de l'orientation extrêmement technique prise par les questions environnementales en France, ces associations ont cristallisé sur elles les regards sur la qualité de l'air, préoccupation importante des français et donc fortement médiatisée. Or, les AASQA, regroupées au sein d'une fédération nationale, se situent au sein de différentes tensions :

-une tension plus territoriale qui impose la surveillance par la modélisation s'appuyant sur de larges échelles et, à l'inverse, une préoccupation de proximité rendue possible par le développement de cartographies fines ; de manière plus générale cette tension se situe aussi entre la technicité de la mesure et de la surveillance et le transfert des résultats obtenus vers le grand public. L'indice Atmo, outil dédié à ce type de mission, a-t-il véritablement constitué un élément de sensibilisation du grand public ?

-Une tension entre le respect des engagements de l'Etat vis à vis de la surveillance et des normes européennes et des demandes plus locales attachée à l'élaboration d'outils de validation de l'efficacité des actions entreprises ; l'Etat est responsable du respect des normes tandis que les collectivités locales détiennent tous les leviers pour promouvoir une prévention efficace par la

réduction des émissions. La décentralisation encore balbutiante rend difficile la synergie entre l'Etat et les collectivités locales ;

-Une tension entre la gestion par les normes, appuyée sur des critères temporels focalisés sur le court terme et une gestion plus spatiale et territoriale appuyée sur les cartes et des actions déployées sur un temps plus long.

-une tension entre la surveillance et la communication sur les actions à entreprendre ou entreprises pour améliorer la qualité de l'air. Le devoir de communication imposé aux AASQA par la LAURE porte-t-il sur les mesures ? Sur l'état de la qualité de l'air du territoire ou sur les mesures à promouvoir vis à vis des modes doux et de l'isolation des bâtiments ?

Néanmoins, à travers ces contradictions, les AASQA ont su s'adapter à l'évolution des contextes pour fournir des mesures de qualité qui alimentent des modèles performants permettant de mieux satisfaire à une demande de connaissance de la pollution de proximité toujours incertaine lorsqu'il s'agit d'intégrer l'éventualité d'un risque sanitaire. Le passage de la connaissance à l'action relève d'une démarche de longue haleine qui suppose un investissement des populations qu'il convient de construire à l'aide de tout un accompagnement qui dépasse la sphère technique. Cette évolution se déroule sur le temps long qui ne peut pas être piloté par le temps court des pics de pollution qui sont répercutés par les médias mais avec un effet limité sur la prise de conscience des investissement nécessaires sur le plan individuel et collectif pour respirer un air plus pur et améliorer la santé de tous.

Conclusion

Le contrôle de la qualité de l'air, compétence régalienne de l'Etat, intervient trop tard s'il n'est pas intégré dans une démarche de prévention interactive qui utilise les évaluations effectuées à la sortie des cheminées ou des pots d'échappement, « end of pipe », sans servir à améliorer les procédés et à réduire les émissions à la source. Or ce travail suppose une révolution culturelle qui impose, au nom d'un bénéfice sanitaire pour tous, de repenser les différents secteurs de l'activité humaine de manière à continuer à développer des activités économiques mais sans émettre des polluants dans l'atmosphère. Pour cela, il s'agit de repenser quel peut être un système énergétique débarrassé des combustibles fossiles, quelle peut être une agriculture raisonnée limitant les intrants et les pesticides, quelles peuvent être les modes de consommation plus sobres favorisant les circuits courts et les possibilités de recyclage. C'est toute une nouvelle économie qu'il convient de construire à travers des normes et des règlements mais surtout grâce à un meilleur investissement collectif pour un environnement plus salubre et une société plus conviviale.