

La qualité de l'air : un enjeu environnemental et sanitaire majeur

Bernard FESTY

NDLR : Ce texte, reproduit avec autorisation, a fait l'objet d'une conférence donnée le 25 février 2002 devant l'Académie des Sciences Morales et Politiques, dans son cycle de communications consacrées en 2002 au développement durable, cycle qui fera l'objet d'une publication d'ensemble, par l'Académie des Sciences Morales et Politiques, au début de l'année prochaine.

L'expression « qualité de l'air » est souvent préférée à « pollution atmosphérique » (PA) ; c'est dans l'air du temps, si j'ose dire, à une époque où il faut « positiver » ! Il n'en reste pas moins que les phénomènes de PA sont préoccupants, pour des raisons écologiques, économiques et sociales, au rang desquelles on trouve des aspects environnementaux et sanitaires considérables. Ces phénomènes affectent différemment et à des degrés divers, les pays développés et en voie de développement ; ces derniers sont généralement plus touchés pour diverses raisons : parcs automobile et industriel anciens, croissance trop rapide de mégapoles ingérables, utilisation de combustibles de mauvaise qualité, habitat peu rationnel, déficit d'éducation, etc. Nous envisagerons essentiellement la situation des pays développés, du moins pour les aspects locaux.

Les PA : des phénomènes divers, complexes et interdépendants

Ils sont d'origine naturelle (volcanisme, embruns, érosion...) ou anthropique, de nature accidentelle ou non : nous privilégierons ici les PA anthropiques non accidentelles. Elles concernent des échelles environnementales variées allant du niveau (micro-)local à la planète en passant par la dimension régionale ; elles vont aussi de l'individu à la population, affectant des milieux aussi différents que les espaces domestiques, professionnels, éducatifs, publics, les zones rurales et (péri)urbaines, les transports, etc. ; on parlera, selon les cas, de PA extérieure ou intérieure aux locaux. L'exposition humaine à ces phénomènes est généralement subie, sauf cas du tabagisme actif, choisi dans une large mesure.

Les facteurs polluants atmosphériques ou aérocontaminants sont de nature physique (rayonnements, bruit), chimique (surtout) ou (micro)biologique (pollens, micro-organismes...) ; ils sont susceptibles d'interagir en termes physico-chimiques et/ou biologiques (ex : pollens – particules diesel, dioxyde d'azote – bactéries ou virus). Dans l'air, les aérocontaminants chimiques et biologiques, auxquels je me limiterai, sont sous forme

d'aérosols, faits d'une phase particulière liquide ou solide de taille variée en suspension dans une phase gazeuse. Le tout est en équilibre précaire dès le stade de l'émission : l'aérosol subit, selon les conditions, des étapes de dispersion et de transformation atmosphérique, de sédimentation et de remobilisation. L'atmosphère constitue à la fois un « agitateur » et un « réacteur » physico-chimique : on définit ainsi des polluants primaires (tels qu'émis par la source) et secondaires (issus de transformation). Les polluants sont généralement associés en grand nombre (la plupart étant inconnus) dans des mélanges qui ne sont caractérisés que grâce à un nombre limité d'indicateurs (ex : oxydes de carbone ou d'azote, ozone, plomb, particules fines...) choisis en vertu de connaissances météorologiques (savoir les mesurer), toxicologiques (leur nocivité) et en terme d'identification des sources d'émission (automobile, industrie, incinération...). Enfin, les phénomènes de PA sont le plus souvent interdépendants : ainsi tabagisme actif ou passif, PA intérieure aux locaux, PA (péri)urbaine ou rurale sont associés dans des phénomènes et effets d'intérêt principalement sanitaire ; PA régionale et planétaire, avec l'excès d'ozone troposphérique, les transferts de polluants à longue distance, le déficit d'ozone stratosphérique (la « couche » d'ozone), les polluants interférant positivement ou négativement avec l'effet de serre (changement climatique), sont impliqués dans des effets préférentiellement environnementaux mais secondairement sanitaires que l'on évalue encore mal.

Aérocontaminants, exposition humaine et conséquences sanitaires : quelques aspects généraux

La respiration est un acte simple mais obligatoire, présentant des variantes fonctionnelles selon l'âge, l'activité physique et l'état de santé pulmonaire. L'air est un aliment essentiel et irremplaçable ; il n'est jamais « pur » (utopie !) mais doit être le plus pur possible car le poumon constitue une porte d'entrée très efficace qui tient à sa fonction

première, l'oxygénation de nos cellules. Cependant, sa maturation n'est que partielle à la naissance et notre stock d'alvéoles pulmonaires continue à se constituer pendant quelques années ; le poumon est donc encore fragile à ce stade et le reste ultérieurement. Enfin, les capacités de défense pulmonaire de l'organisme vis-à-vis des intrus sont limitées, notamment vis-à-vis des gaz, mais aussi des particules, surtout si les agressions sont prolongées et répétées. Selon les cas, les aérocontaminants peuvent déclencher des effets toxiques, infectants et/ou allergiques ; ils exacerbent ou induisent des symptômes et des pathologies le plus souvent non spécifiques et généralement d'origine plurifactorielle, dont les fréquences de base, dans les populations, sont importantes : manifestations cardiovasculaires, pulmonaires, oto-rhino-laryngologiques... N'oublions pas, cependant, que le tabagisme actif constitue un facteur de risque majeur et que le tabagisme passif est loin d'être innocent.

Pour l'évaluation des risques sanitaires, l'apport de connaissances se fait essentiellement par trois approches complémentaires : la clinique médicale en situation « normale » ou accidentelle, fondamentalement à l'échelle individuelle, l'expérimentation (exposition contrôlée) recourant au modèle humain sous conditions éthiques, au modèle animal ou aux systèmes tissulaires ou cellulaires in vitro ou ex vivo, enfin l'épidémiologie (exposition atmosphérique in situ) selon diverses modalités adaptées aux problèmes posés : à l'échelle des individus ou de populations globales, avec suivi temporel et/ou géographique.

La PA en milieu urbain : la situation probablement la plus étudiée et socialement très perçue

Quelques aspects généraux

C'est un phénomène très complexe qui met en jeu, dans des agglomérations urbaines plus ou moins industrialisées et en périphérie, des sources fixes (activités industrielles et artisanales, chauffage collectif ou individuel, générateurs d'énergie, incinérateurs de déchets) et des sources mobiles dont le nombre a explosé au cours des 30 dernières années, sans oublier l'accroissement du nombre de kilomètres parcourus. Les sources mobiles, contrairement aux autres, sont diffuses, émettent à faible hauteur et sont collectivement moins faciles à contrôler. Les déterminants principaux de la PA urbaine sont donc les activités humaines, la hauteur des émissions et leur degré de dépollution, la topographie (micro)locale, la climatologie et, surtout, les conditions météorologiques qui jouent sur les transformations des polluants et sur leur dispersion.

Les niveaux de PA sont suivis en France par des systèmes de surveillance : 39 Associations agréées de surveillance de la qualité de l'air (AASQA), dont AIRPARIF en Ile-de-France, placées sous la tutelle administrative du ministère chargé de l'environnement, et très liées à l'Agence

de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie (ADEME). Les indicateurs de PA sont le dioxyde de soufre (SO_2), les particules fines (PM), les oxydes d'azote (NO et $\text{NO}_2 = \text{NO}_x$), le monoxyde de carbone (CO), le plomb (Pb), l'ozone (O_3), les composés organiques volatils (COV), dont le benzène.

CO, NO_x et COV, majoritairement issus des effluents automobiles (malgré les « pots catalytiques ») sont à l'origine de O_3 , polluant secondaire type, formé ainsi que d'autres co-polluants, avec le concours du rayonnement solaire. Les niveaux de PA urbaine subissent des variations notables dans le temps et l'espace : on distingue ainsi des cycles quotidiens, hebdomadaires, saisonniers et annuels, des différences entre situation de « fond » (de base) et de proximité des sources, notamment automobiles (les niveaux sont les plus élevés dans les flux de circulation). La conjugaison de fortes émissions et d'une météorologie défavorable (situations calmes faiblement dispersives d'hiver ou d'été) conduit à des niveaux plus élevés de PA (« pics » ou « épisodes ») souvent surmédiatisés au détriment de la PA « habituelle », plus importante en impact sanitaire. Néanmoins, les AASQA s'efforcent de prévoir les situations défavorables à des fins préventives dans le cadre d'alertes à la pollution atmosphérique.

Évolution des émissions et des immissions

De plus en plus finement sont réalisés des bilans nationaux d'émissions concernant les principaux polluants indicateurs. En France, tous les grands indicateurs d'émission sont en décroissance, notamment depuis 1990, sauf l'ammoniac, NH_3 , le dioxyde de carbone, CO_2 , impliqué en première ligne dans l'accroissement de l'effet de serre et qui est un reflet des « combustions », notamment des moteurs automobiles (le catalyseur oxyde CO en CO_2). Toutefois l'évolution n'est pas totalement satisfaisante pour les NO_x (relative stabilité) et les COV ; les données sur les particules sont partielles et font l'objet d'une évaluation plus approfondie.

S'agissant des niveaux atmosphériques (immissions), les évolutions sont décroissantes pour SO_2 , Pb, CO et particules et pour NO et benzène (plus récemment) ; par contre, NO_2 et O_3 sont au mieux stabilisés : des données plus complètes (en cours) s'imposent pour O_3 , COV et les particules fines.

On note donc, au vu de ces données, une amélioration globale de la situation avec quelques interrogations, néanmoins, concernant particules, ozone, NO_2 et COV. C'est en grande partie, malgré des progrès très notables, le fait de la forte contribution automobile et de son importante fraction « diesel », aux émissions (environ 50 % des NO_x , 40 % de CO et CO_2 , 23 % de HC, PM 10-15 % ?) et aux immissions urbaines : à Paris, en 2000, la « Journée sans ma voiture » s'est traduite, dans certaines zones, par 50 % de diminution de la PA.

Cette évolution ne tient pas compte de situations locales à spécificité industrielle, avec des implications d'alertes (Fos-Berre, Lyon, Dunkerque, Le Havre...).

On est passé, en 50 ans, d'une PA due aux sources fixes et plutôt de type acido-particulaire, à une PA mettant surtout en cause les sources mobiles et plutôt de type photo-oxydant, les particules primaires (combustion du carbone) et secondaires (sulfates, nitrates...) étant de caractère mixte. C'est cette PA photo-oxydante qui est actuellement la plus préoccupante, surtout l'été, d'autant qu'elle est très difficile à gérer.

Les effets sanitaires

Les données sanitaires disponibles sont nombreuses, notamment aux États-Unis et en Europe. La France dispose en particulier de deux études récentes : l'étude ERPURS de l'Observatoire régional de la santé d'Ile-de-France et l'étude des « 9 villes » de l'Institut de veille sanitaire. De ces données, principalement épidémiologiques, il ressort les points suivants.

Les connaissances sont limitées mais préoccupantes concernant les conséquences sanitaires de l'exposition chronique à la PA urbaine. Selon trois grandes enquêtes américaines (cohortes rétrospectives), une enquête suisse et au total, une dizaine d'études, des effets délétères de la PA se manifestent aux niveaux pulmonaire (dont cancer : + 15 à 20 %) et cardiovasculaire, qu'il s'agisse de morbidité ou de mortalité ; une simulation portant sur la population néerlandaise de 25 à 90 ans conduit, à partir de certaines données américaines, à attribuer à la PA une perte d'espérance de vie moyenne de l'ordre de 1 à 1,5 an.

S'agissant d'effets à court terme, on dispose actuellement de plus de 200 études réalisées depuis la fin des années 80. Elles sont, pour la plupart, dites de « séries chronologiques » : elles comparent au jour le jour, pour une grande population considérée dans son ensemble et sur plusieurs années, les variations des séries de valeurs de PA et de diverses données sanitaires (mortalité, morbidité, activités de soin, absentéisme professionnel et scolaire...) avec des décalages de temps allant de zéro à quelques jours. Ces études montrent généralement des élévations de risques pulmonaire et, surtout, cardio-pulmonaire. Ces effets sont décelés le jour même ou les jours suivants et pour des niveaux de concentrations d'indicateurs atmosphériques faibles, souvent inférieurs aux normes internationales de qualité atmosphérique : cela montre qu'il ne faut pas s'intéresser qu'aux « épisodes » de PA.

Les augmentations moyennes de risques sont faibles, de l'ordre de quelques pour-cent à 50 %, par exemple ~ 0,5 % de mortalité globale pour un accroissement de particules de $10\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne quotidienne. Ceci n'exclut pas que des populations à risque soient davantage affectées, ce que montrent certaines enquêtes pour des sujets âgés ou atteints de maladies cardio-pulmonaires. Ce constat n'est pas non plus incompatible avec l'existence de sensibilités individuelles. En outre, les relations dose-réponse ne permettent pas de discerner des seuils statistiques d'effet : cela signifie

que l'on ne met pas en évidence des concentrations (inférieures) à « risque nul » en population.

D'autres études, dites de « panel », suivent pour chaque individu d'un groupe restreint de sujets sains ou malades (asthmatiques légers, par exemple), au jour le jour, avec ou sans décalage de temps, les variations affectant la fonction respiratoire, des symptômes pathologiques et des consommations médicamenteuses en fonction des variations des niveaux de PA. Elles révèlent aussi des altérations de ces trois groupes d'indicateurs sanitaires en liaison avec les PM, le SO_2 , l' O_3 , plus rarement NO_2 .

Dans les deux types d'études, les épidémiologistes prennent en compte diverses variables susceptibles d'interférer : température et hygrométrie, variations cycliques de PA, maladies infectieuses pulmonaires, grèves...

Si la responsabilité globale du mélange atmosphérique dans son ensemble n'est pas discutable, l'attribution des effets à tel ou tel indicateur de PA est plus difficile, tant ils sont corrélés, en général ; cependant, les principaux indicateurs de PA candidats à une responsabilité spécifique sont l'ozone et les particules fines ; des données toxicologiques renforcent cette hypothèse.

Au total, la PA urbaine induit, certes, de faibles augmentations de risque, notamment à court terme, augmentations qui ne sont observées que grâce à la puissance statistique considérable des enquêtes de séries temporelles portant sur de grandes populations : mais, du fait que la population exposée est très importante (80 % des Français vivent en zone urbaine), qu'elle l'est « vie entière » et que la fréquence de base des pathologies concernées est élevée, l'impact sanitaire et économique est très grand, d'où l'intérêt en santé publique.

De la PA urbaine aux autres échelles et formes de PA

La PA locale dépasse le seul périmètre urbain. Un exemple est fourni par la PA photo-oxydante d'origine urbaine (ozone, co-polluants et leurs précurseurs NO_x et COV), qui se manifeste en partie à distance, en zone rurale, sous le vent des panaches urbains. En milieu rural, une préoccupation croissante concerne depuis peu l'utilisation des formulations phytosanitaires (« pesticides ») et ses répercussions sur la qualité de l'air, notamment au voisinage des zones agricoles traitées. Mais la problématique locale présente plusieurs autres prolongements d'intérêt.

Les problèmes globaux de PA : interdépendance et mondialisation

Les problématiques locales débouchent, surtout pour des raisons environnementales, sur des problèmes « globaux » allant du niveau régional au niveau planétaire : transfert de polluants acidifiants,

eutrophisants, photo-oxydants ou persistants, modifications de la couche stratosphérique d'ozone et du climat. Ces préoccupations traduisent bien un déplacement de la problématique locale, le plus souvent considérée isolément par le citoyen non averti, vers une « **mondialisation** » de la PA, de ses causes et conséquences, donc de sa prévention.

L'exemple de la PA photo-oxydante et de son indicateur majeur, l'ozone, est très révélateur de cette continuité dont nous devons avoir conscience aux différentes échelles spatiales. N'oublions pas d'abord que O_3 peut être produit directement à l'intérieur de locaux professionnels, par des photocopies. À l'extérieur, ses précurseurs (COV , CO et NO_x), principalement d'origine automobile, font, d'une part, l'objet de transferts à longue distance, au moins à l'échelle régionale et, d'autre part, conduisent par processus photochimique à l'ozone et à d'autres co-polluants minéraux et organiques très réactifs, formés sur le trajet des masses d'air, à proximité et à distance des agglomérations urbaines. Certains précurseurs (NO_x) ou produits formés (sulfates, nitrates) sont impliqués dans des transferts atmosphériques lointains à effets acidifiants et/ou eutrophisants, aux conséquences environnementales importantes pour les sols, les eaux et les écosystèmes. En outre, l'accroissement progressif de la concentration de fond de l'ozone troposphérique est néfaste sur le plan sanitaire mais aussi environnemental car l'ozone est un gaz à effet de serre très puissant, tout comme les fréons, agresseurs de la couche d'ozone, et leurs produits de substitution.

Les NO_x , pour leur part, interviennent non seulement dans la genèse de la PA photo-oxydante et dans les processus d'acidification et d'eutrophisation, mais aussi dans l'effet de serre directement ou non. Enfin, la diminution de l' O_3 stratosphérique et l'accroissement de l'effet de serre sont interdépendants : l'accroissement des gaz à effet de serre (GES) réchauffe la troposphère mais refroidit la basse stratosphère, ce qui entraîne une diminution d' O_3 stratosphérique par une augmentation des effets vortex polaires.

De façon générale, on ne peut qu'être frappé par ces interactions et par les temps de latence considérables (en années ou dizaines d'années) nécessaires à la manifestation des impacts de ces PA « globales » et, aussi, à leur effacement éventuel sous l'influence de mesures internationales de prévention et de contrôle.

Or, sur le plan sanitaire, on sait peu de choses de ce que pourraient produire ces agressions des systèmes naturels. S'agissant de l'affaiblissement de la couche stratosphérique d'ozone, des effets à long terme sont hautement probables, avec augmentation de la fréquence de certains cancers cutanés et des cataractes. Pour le dérèglement climatique, des phénomènes paroxystiques (tempêtes, pluies accrues et inondations ou sécheresses...) sont prévisibles avec leur cortège de conséquences sanitaires identifiées. À plus long terme, on peut craindre l'augmentation de PA locale secondaire à l'accroissement des besoins de chauffage et/ou de climatisation, une modification de la répartition géo-

graphique de certains végétaux (entraînant celle de pollens, donc d'allergies), mais aussi d'organismes (arthropodes) vecteurs de maladies infectieuses ou parasitaires (paludisme, leishmanioses, arbo-viroses...).

La PA à l'intérieur des locaux (PAi) : une (re)découverte

La problématique urbaine trouve une autre extension vers celle de la qualité de l'air à l'intérieur des espaces clos. La dégradation de la qualité des ambiances intérieures est cruciale mais mal connue du public. Les causes en sont individuelles ou collectives, les agresseurs étant de nature chimique, (micro)biologique ou physique. Les altérations sont d'une grande diversité selon la typologie des locaux, eux-mêmes très divers : habitat individuel ou collectif, locaux professionnels (secteurs tertiaire ou autres), locaux ouverts au public (établissements scolaires, universitaires, hospitaliers, médico-sociaux, ludiques...), systèmes de transports (infrastructures et véhicules).

Plusieurs raisons font qu'il convient de se préoccuper de la PAi : le temps passé dans des locaux (80 à 90 % voire plus), les nombreuses sources intérieures d'émission de polluants, le rôle pervers de l'isolation thermique et phonique, l'existence de populations à risque plus exposées ou plus fragiles, des accidents ou alertes sanitaires (allergies, intoxications ou infections), mais aussi la pénétration des polluants extérieurs.

La qualité de l'air intérieur dépend donc de sources extérieures (polluants indicateurs urbains classiques, mais aussi radon, pollens, micro-organismes) et de sources intérieures à caractère permanent ou non : dispositifs de combustion, matériaux de construction, d'aménagement ou de décoration, équipements de traitement/conditionnement d'air, occupants eux-mêmes (hommes, animaux de compagnie ou nuisibles) ; les êtres humains interviennent par leurs activités diverses, professionnelles, domestiques ou de bricolage... Ces sources intérieures et les niveaux de polluants sont affectés par des facteurs physiques (température, hygrométrie, vitesse d'air...) et, surtout, par le taux de renouvellement d'air.

Les conséquences sanitaires sont d'abord des nuisances (inconfort, gêne, irritations...) liées, par exemple, au déséquilibre thermo-hygrométrique et à la vitesse d'aération, à la fumée de tabac, à des fibres ou des COV (solvants, peintures...). Des risques sérieux à court terme sont indiscutables, telles l'intoxication (sub)aiguë par CO (plus de 400 décès par an en France), la légionellose, les allergies respiratoires ; ces dernières, extrêmement préoccupantes par leur fréquence et leur gravité, sont le fait d'acariens (poussière de maison), du pelage d'animaux domestiques (chat, chien), de blattes... À long terme, on craint les effets délétères de NO_2 (risque pulmonaire), de la fumée de tabac (effets ORL et pulmonaires, dont des cancers), du radon et de l'amiante (cancer pulmonaire), de nombre de COV (isolément ou en mélanges), de

toxines bactériennes ou fongiques, etc.

Des études sont encore nécessaires afin de mieux connaître les facteurs de risque en cause, leurs déterminants et les expositions correspondantes. C'est l'objectif à la fois scientifique et opérationnel de l'Observatoire de la qualité de l'air intérieur récemment créé en France. Il contribuera à mieux maîtriser les dangers de la PAi grâce à des actions préventives de caractère technique (construction, maintenance), comportemental (mode de vie et activités) et sanitaire (information, veille, normes).

La PA professionnelle : un domaine réservé ?

Les ambiances professionnelles sont le plus souvent (semi-)closes. En milieu industriel, on dispose de données cliniques, toxicologiques et épidémiologiques très substantielles et il n'est pas question, ici, d'en donner ne serait-ce qu'un aperçu. Ces données, acquises grâce à la Médecine du Travail et/ou des organismes de recherche (INSERM ; INRS, Institut national de recherche et de sécurité), sont avant tout intéressantes pour la protection des travailleurs. Mais certaines servent aussi de modèles pour l'étude de facteurs de risque susceptibles d'intervenir en population générale. À titre d'exemple, c'est le cas pour les particules (fibreuses ou non) et les maladies pulmonaires, pour les allergènes (chimiques ou biologiques) et les maladies allergiques (dont l'asthme), pour le radon ou l'effluent diesel et le cancer broncho-pulmonaire, etc.

Les données sont, en revanche, peu abondantes dans les secteurs artisanal et agricole, et la situation est intermédiaire pour le secteur tertiaire où on étudie en particulier les légionelloses, des manifestations immuno-allergiques, le syndrome des bâtiments malsains (Sick Building Syndrome ou SBS), etc. dans des locaux qui peuvent aussi recevoir du public.

On peut regretter que les données professionnelles soient dispersées et cloisonnées et peu ou pas prises en compte dans les expositions globales des individus ou des collectivités. Mais une importante refonte de la Médecine du Travail (plus pluridisciplinaire) est en cours.

Vers l'évaluation de l'exposition globale personnalisée ?

Quel que soit le champ de PA étudié, on est amené à s'interroger sur la place prise, dans les manifestations sanitaires, par les diverses circonstances d'exposition : ambiances extérieures ou intérieures, ambiances professionnelles, transports et déplacements. Une vision globale des phénomènes de PA est précieuse en termes d'exposition, d'effets et de prévention, que l'approche sanitaire soit individuelle ou populationnelle.

La connaissance de l'exposition intégrée est nécessaire au médecin pour identifier les risques, soigner et, si possible, prévenir. En général, elle est essentielle à l'épidémiologiste cherchant à caractériser les facteurs de risque et à évaluer des relations dose-effet. Sauf pour l'approche popu-

lationnelle par séries chronologiques qui est très utilisée pour identifier les effets à court terme de la PA extérieure, l'exposition globale et personnalisée est essentielle ; elle doit intégrer la contribution des différents environnements fréquentés (extérieurs/intérieurs/mixtes, domestiques/professionnels/publics...) et les variations spatio-temporelles : ainsi peut-on tendre vers l'évaluation de la « dose-externe » et, mieux encore, de la « dose-interne » si on dispose de marqueurs biologiques d'exposition accessibles.

Dans quelques situations favorables et pour un nombre limité de sujets et d'indicateurs de pollution, on peut procéder à une évaluation directe de l'exposition personnelle : c'est ce que nous faisons actuellement avec une opération dénommée « Sentinelles de l'air » où des sujets volontaires portent des appareils de mesurage de certains polluants. Mais le plus souvent, l'exposition globale est reconstituée par modélisation à partir de « budgets » espace-temps-activité et de mesurages représentatifs de la qualité atmosphérique des micro-environnements fréquentés. Cette dernière approche conduit, en outre, à une meilleure connaissance des principaux déterminants des facteurs de risque et des expositions correspondantes, donc à une meilleure prévention.

Une approche épidémiologique plus globale

Pour diverses pathologies importantes comme la maladie asthmatique et les allergies respiratoires, les maladies chroniques pulmonaires dont le cancer broncho-pulmonaire, d'autres cancers, plus récemment les malformations fœtales... les épidémiologistes étudient par diverses approches les principaux déterminants décelables : les PA extérieure et intérieure, le tabagisme actif ou passif, sont pris en considération et on essaie ainsi, non seulement de déceler des facteurs de risque atmosphériques et leurs interactions éventuelles, mais aussi de quantifier leurs contributions respectives, ce qui permet de prendre en compte la notion de risque comparé, importante pour choisir des priorités de santé publique.

Quelques points particuliers en guise de discussion et de conclusion

Les phénomènes de PA illustrent bien la complexité et les difficultés des questions touchant à l'environnement et, au-delà, à la santé environnementale, avec leurs implications d'évaluation et de gestion des risques.

• Il est nécessaire de globaliser les phénomènes de PA

Leur complexité est mise en évidence par la multiplicité des sources d'émission de polluants et d'aérocontaminants, par la pluralité des échelles auxquelles se manifestent les PA et celle des milieux physiques affectés, par la diversité des effets en résultant à court, moyen ou long terme,

qu'ils soient environnementaux ou sanitaires. Ces derniers sont eux-mêmes très divers et concernent le bien-être et des pathologies aggravées ou induites par la PA, mais dont l'étiologie est le plus souvent plurifactorielle. C'est dire combien ces phénomènes nécessitent des connaissances et actions de caractère multidisciplinaire et multipartenarial. Certes, ils doivent être traités d'abord de manière sectorielle, mais leur interdépendance oblige les spécialistes et les citoyens à avoir la vision la plus globale possible.

Ainsi d'une part, il faut être conscient de ce que toute PA locale, quelle que soit sa source, contribue certes à une exposition collective et à des effets sanitaires locaux, mais aussi à des PA régionale, continentale et planétaire qui, finalement et de manière différée, affecteront les grands équilibres naturels et, par voie de conséquence, la sécurité et la santé de l'humanité dans son ensemble. D'autre part, la PA locale conduit à s'interroger sur l'exposition des individus telle qu'elle résulte de leurs activités et des micro-environnements fréquentés, intégrant contributions extérieures et intérieures aux locaux ; c'est cette exposition personnelle qui est, pour partie, comptable de notre confort et de notre santé individuelle, qui intéressent au premier chef chacun de nous, plus sans doute que le sort de l'humanité face aux grands périls planétaires.

• L'évaluation des risques progresse mais crée de nouveaux problèmes

Il faut souligner les progrès considérables réalisés dans la mise en évidence de « signaux » physico-chimiques et biologiques intéressant respectivement la détection des aérocontaminants dans l'environnement et celle de leurs effets. La caractérisation des aérocontaminants est certes indispensable mais insuffisante en elle-même, surtout à l'état de traces, car la présence ne fait pas systématiquement le poison, contrairement à une idée de plus en plus répandue et excessive. Encore faut-il disposer, pour aller plus loin, de données toxicologiques et épidémiologiques fiables et représentatives.

Pour la PA urbaine, il ne fait plus de doute que des augmentations de risque faibles mais très significatives se manifestent après exposition de courte ou longue durée. Ces accroissements de risques, surtout cardio-pulmonaires, n'intéressent pas seulement des sujets sensibles, et concernent la PA « habituelle », pas uniquement les épisodes de PA. On commence à savoir évaluer leurs impacts collectifs en termes sanitaires et économiques, ce qui est de nature à orienter objectivement les décideurs techniques et politiques ; et ces impacts, sans dramatiser, sont loin d'être négligeables, comme le montre une étude récente menée en Autriche, France et Suisse sous l'égide de l'Organisation mondiale de la santé (OMS) : 6 % de la mortalité française seraient dus aux particules fines atmosphériques, dont la moitié imputable au trafic automobile. Ce type d'approche tend à développer, en affinant les hypothèses et modélisations utilisées.

Les approches toxicologique et épidémiologique contribuent aussi à mettre en doute, au moins dans certains cas, la notion de « risque nul » ; il faudra donc lui substituer celle de « risque acceptable » avec toutes les difficultés sociales pour définir des normes si possible consensuelles et intégrant la démarche de précaution. Par ailleurs, la très forte contribution épidémiologique récente ne doit pas pour autant faire oublier les limites de cette discipline d'observation ; outre la sensibilité des réponses et les interférences potentielles de facteurs de confusion, elle a ses limites en terme d'imputabilité. Or cet aspect est essentiel pour définir et quantifier le « risque atmosphérique attribuable », dont l'intérêt est évident pour chiffrer l'impact sanitaire et économique, donc pour définir les stratégies de lutte et de prévention.

• La gestion des risques est difficile mais doit être multipartenariale

La gestion des risques atmosphériques est un modèle complexe d'action multidisciplinaire et multipartenariale fondée sur la connaissance scientifique et médicale (l'évaluation des risques) mais aussi technologique (l'innovation, la dépollution...) et sur des aspects économiques, sociaux et politiques intégrant préoccupations sanitaires et réglementaires. Ces divers aspects sont très intriqués et de plus en plus soumis à de fortes exigences sociales et internationales. Retenons en quelques aspects significatifs.

Il convient d'abord de tenir le plus grand compte de la connaissance, de la perception et de l'acceptabilité sociales. Le public ressent la PA urbaine comme subie. Or nous n'attachons pas assez d'intérêt aux manifestations objectives que sont les odeurs, l'altération de la visibilité, les retombées atmosphériques, des modifications écologiques... ; elles sont liées au moins pour partie, aux PA (et à la météorologie) et donnent au citoyen une image défavorable de la qualité de l'air, souvent éloignée des valeurs ou évolutions rassurantes affichées par les pouvoirs publics pour la pollution de « fond » ; ceci est à rapprocher, d'ailleurs, de l'insuffisance du mesurage des niveaux de polluants indicateurs en situation de proximité des sources mobiles ou fixes, industrielles ou autres. Au moins pour les odeurs, dont il est vrai, l'évaluation est difficile, rien ne montre, d'ailleurs, qu'elles ne jouent pas un rôle néfaste pour la santé, au-delà de l'altération du bien-être.

De même, il faut prendre en compte l'acceptabilité par le public des normes ou des solutions proposées, avec leurs contraintes économiques et sociales : le prix des carburants, les restrictions de circulation en sont des exemples. Cela nécessite formation et information, donc des efforts de communication, de manière à rendre compréhensibles les phénomènes en cause, leurs déterminants principaux, leurs conséquences sanitaires et environnementales et, par conséquent, les règles de prévention ou de précaution souhaitables.

Par ailleurs, il ne faut pas oublier que l'avis médical constitue, en matière de santé et de

risque, une référence incontournable. Le médecin est, envers et contre tous, le conseiller idéal des Français. Il joue évidemment un rôle majeur en termes de diagnostic et de traitement des affections respiratoires ou autres, associées à la PA. Il peut même s'impliquer dans des enquêtes portant, par exemple, sur les relations entre habitat et allergies respiratoires ou PA urbaine et santé... Mais au-delà, il porte aussi, pour le public, une certaine vérité sanitaire, qu'il s'agisse d'information, de conseils de prévention, par exemple en cas de « pics » de PA. Sa formation, son information et sa participation sont donc essentielles au développement de la santé environnementale, en général.

Les progrès technologiques sont, certes, réels mais ne doivent pas, pour autant, masquer certains effets pervers. D'abord, sur le plan technique, il n'est pas rare qu'un produit ou process nouveau manifeste à retardement des inconvénients ou dangers sanitaires ou environnementaux non envisagés a priori et se substituant à ceux que l'on a voulu éliminer. Cette éventualité devrait être systématiquement testée avant toute large diffusion sociale, par des approches combinées, physico-chimiques et biologiques. Cette démarche a été pratiquée avec succès pour les traitements des eaux d'alimentation ; elle ne l'a pas été suffisamment pour les carburants, les moteurs et les dispositifs de dépollution des effluents, par exemple, dont l'intérêt est le plus souvent jugé sur des critères technologiques, économiques et vis-à-vis de rares indicateurs environnementaux dits « réglementés ». Ce type de démarche, de la responsabilité des industriels, devrait être encouragé par les pouvoirs publics et leurs instances d'évaluation des risques, au même titre que pour les aliments ou les médicaments, toutes proportions gardées.

Un second effet pervers des progrès technologiques est de laisser croire qu'ils régleront tout à eux seuls. En fait, il faut rester vigilant et faire prendre conscience au citoyen, en reprenant l'exemple précédent, que les problèmes de PA automobile en agglomération, certes améliorés, ne seront pas pour autant réglés par les seules avancées technologiques, aussi indiscutables soient-elles. Nous ne pouvons ignorer, en outre, les questions de bruit, d'accidents et d'encombrement des espaces urbains. Ces problèmes ne trouveront de solution à terme que par une remise en cause raisonnée de nos modes de vie, comportements et usages.

Face à la mondialisation des phénomènes de PA, la concertation et l'action internationales sont impératives en matière de lutte et de contrôle. Elles existent déjà pour les connaissances scientifiques et sanitaires touchant, entre autres, aux effets des PA extérieures et intérieures : l'OMS joue un rôle fondamental dans tout ce qui concerne la santé publique et c'est elle qui a formulé le concept de « santé environnementale ». L'OMS intervient aussi auprès de tous les États, notamment en développement, en proposant des stratégies d'action adaptées à leurs moyens humains et techniques. Chacun connaît le poids des recommandations de l'OMS dans l'établissement des

« normes » réglementaires au niveau des États et de l'Union européenne. Cette dernière intervient fortement par l'ensemble de ses directives traduites ensuite en droit national par les États membres. La France, pour sa part, a promulgué en 1996 une « loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie ». Cette loi intègre les concepts de santé publique et de développement durable et s'appuie, en particulier, sur des outils de planification (PRQA, plans régionaux de la qualité de l'air, PDU, plans de déplacements urbains, et PPA, plans de protection de l'atmosphère) ; une évaluation vient d'en être publiée.

Par ailleurs, face aux défis des PA globales, des actions internationales ont été lancées et se poursuivent sous l'égide de l'Organisation des Nations Unies (ONU). Rappelons le Protocole de Montréal (1974) relatif à la protection de l'ozone stratosphérique, la Convention de Genève (1979) pour la PA transfrontière à longue distance, et les nombreux protocoles en résultant, la déclaration de Göteborg (1999) concernant les polluants acidifiants, eutrophisants, persistants et l'ozone troposphérique, mais aussi la Convention de Rio (le « Sommet de la terre », 1992), le Protocole de Kyoto (1997) pour la protection du climat, et la prochaine conférence de Johannesburg qui sera consacrée plus largement au Développement durable. On sent bien le souci international de globaliser l'approche des pollutions et de les placer dans un cadre très général, avec des motivations environnementales, sanitaires, sociales et économiques, centrées sur une « mondialisation » acceptable, encore largement en débat.

Cette philosophie du Développement durable ne peut pas être seulement une mode ou un alibi. C'est la nécessité d'une triple solidarité, internationale, intergénérationnelle et nationale, pour lutter contre les égoïsmes et les abus collectifs ou individuels. Les phénomènes de PA auront contribué fortement à cette prise de conscience. Les domaines de l'énergie et des transports vont évidemment constituer des tests essentiels, difficiles mais démonstratifs pour vérifier notre bonne volonté. Je crains fort que nous n'allions vers quelques raidissements sociaux, tant est forte notre boulimie de consommation, de mobilité, de confort et de croissance. Il va falloir essayer de concilier les égoïsmes individuels et nationaux avec les soucis d'intérêt général, dans une démarche tournée vers le long terme. Quelle gageure et quel effort de pédagogie à faire ! Peut être que la PA pourra encore nous y aider, dans le champ de l'habitat où il sera plus facile de démontrer aux partenaires et, surtout, à l'usager, que la politique de développement durable peut se traduire rapidement, à l'échelle individuelle, par des gains de consommation (énergie, eau...) dont la répercussion sera perceptible dans l'évolution des charges financières. C'est le terrain et le pari récemment choisi en France par le Plan Habitat-Construction et Développement durable. Enfin, la tenue, récente, d'une conférence de citoyens sur le thème du Développement durable, constitue un signe encourageant.

Références

- Bernard SM, Samet JM, Grambsch A, Ebi KL, Romieu I. The potential impacts of climate variability and change on air pollution-related health effects in the United States. *Environ Health Perspect* 2001 ; 109 [suppl. 2] : 199-209.
- Chovin P, Roussel A. La pollution atmosphérique. Que sais-je, PUF, Paris 1968 ; 1330 : 128 p.
- Dab W, Festy B. À la recherche du seuil : variations sur le rôle décisionnel de la surveillance épidémiologique. *Rev Epidemiol Sante Publique* 1998 ; 46 : 249-52.
- Dab W, Ségala C, Dor F, et al. Pollution atmosphérique et santé : corrélation ou causalité ? Le cas de la relation entre l'exposition aux particules et la mortalité cardio-pulmonaire. *J Air Waste Manage Assoc* 2000 ; 51 : 203-19.
- Desqueyroux H, Momas I. Pollution atmosphérique et santé : une synthèse des études longitudinales de panel publiées de 1987 à 1998. *Rev Epidemiol Santé Publique* 1999 ; 47 : 361-75.
- Festy B. La pollution atmosphérique urbaine : sources, polluants, évolution. *Bull Acad Nation Med* 1997 ; 181 (3) : 461-76.
- Festy B. À propos de l'évaluation des expositions humaines d'origine atmosphérique : la nécessité d'une vision globale et multipartenariale. *Pollution atmosphérique* 2001 ; 169 : 9-12.
- Festy B, Dab W. Pollution atmosphérique. Encyclopédie Médico-Chirurgicale (Elsevier, Paris). Toxicologie-Pathologie professionnelle 1999 ; 16-001-C-10 : 12 p.
- Madden MC, Hogsett WE. A historical overview of the ozone exposure problem. *Human and Ecological Risk Assessment* 2001 ; 7 (5) : 1121-31.
- Mégie G. L'ozone atmosphérique et son évolution. *Annales des Mines. Responsabilité et environnement*, Avril 2001 : 31-42.
- Mouvier G. La pollution atmosphérique. Collection Dominos, Flammarion, Paris 1994 : 123 p.
- Patz JA. Public health risk assessment linked to climatic and ecological change. *Human and Ecological Risk Assessment* 2001 ; 7 (5) : 1317-27.
- Pollution Atmosphérique – Numéros spéciaux :
 - Symposium international « La pollution atmosphérique et l'homme : évaluer les expositions » – 40^e Anniversaire de l'APPA, décembre 1999 : 71 p.
 - 20^e Anniversaire de la Convention sur la pollution atmosphérique transfrontière à longue distance (UN/ECE), décembre 1999 : 143 p.
 - Stratégies et politiques visant à réduire la pollution atmosphérique (UN/ECE), mars 2000 : 170 p.
 - Combien vaut l'air propre ? décembre 2001 : 184 p.
- Pope CA. Epidemiology of fine particulate air pollution and human health : biologic mechanisms and who's at risk ? *Environ Health Perspect* 2000 ; 108 [suppl 4] : 713-23.
- Rota. HD, Hwang PMT, Li Y. Assessment of recent ozone short-term epidemiologic studies. *Inhalation Toxicology* 2001 ; 13 : 1-24.
- Taylor GE. Risk assessment of tropospheric ozone : human health, natural resources, and ecology. *Human and Ecological Risk assessment* 2001 ; 7 (5) : 1183-93.
- Walker HA. Understanding and managing the risks to health and environment from global atmospheric change : a synthesis - *Human and Ecological Risk assessment* 2001 ; 7 (5) : 1195-209.