Les phénomènes de pollution atmosphérique : nécessité et difficultés d'une vision environnementale et sanitaire globale

Bernard FESTY*

NDLR : Article publié dans « Annales des Mines, Responsabilité & Environnement » (n° 27, juillet 2002 : 35-53). Reproduit avec autorisation.

Du local au mondial mais aussi de la sphère publique à la sphère privée : une double évolution de la perception de la pollution atmosphérique en apparence contradictoire, mais qu'il faudra bien prendre en compte dans le cadre d'une démarche globale de développement durable. Les outils et les méthodes pour répondre, en particulier, aux défis environnementaux et sanitaires.

En termes de médiatisation et de prise de conscience par les populations, du moins dans les pays développés, la pollution atmosphérique urbaine a occupé le devant de la scène ces dernières années ; mais cette problématique à fort contenu sanitaire cède peu à peu la place à la pollution atmosphérique « planétaire » et son très probable impact climatique. En fait, les préoccupations relatives à la qualité de l'air ne sont pas nouvelles : elles ont émergé progressivement, notamment depuis le milieu du XXe siècle, pour des raisons sanitaires et écologiques : témoins d'activités humaines mal gérées, elles interrogent à la fois par des aspects macro-environnementaux d'ordre international et planétaire (la mondialisation des phénomènes et de leurs conséquences, plutôt écologiques) et par des aspects micro-environnementaux impliquant une vision plus individuelle de la dégradation de la qualité de l'air à l'intérieur des espaces clos et de l'exposition « personnelle » aux aérocontaminants ; il s'agit alors d'altérations du confort et de risques sanitaires.

Cette évolution de la perception des problèmes atmosphériques dont nous écarterons volontairement le bruit et les radiations (non) ionisantes qui ne manquent certainement pas d'intérêt sanitaire à des degrés divers, implique de s'interroger et d'essayer de répondre d'une manière plus globale aux défis posés, environnementaux et sanitaires, et en termes d'évaluation et de gestion des risques. Nous insisterons plutôt sur la dimension sanitaire.

L'émergence progressive des phénomènes de pollution atmosphérique en tant que problèmes environnementaux et sanitaires

Des perceptions historiques

Si l'essentiel des connaissances actuelles a été acquis au cours des 50 dernières années, la prise de conscience de la pollution atmosphérique (PA) en zone urbaine est très ancienne, comme en témoignent diverses manifestations datant, entre autres, de l'Antiquité, de l'Angleterre du Moyen Âge ou de la France napoléonienne. Les nuisances ressenties par les populations résultaient d'abord du chauffage utilisant des combustibles « sales » (tourbe,

* *Président de l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique (APPA).*

charbons...), puis de l'industrialisation naissante et anarchique des XVIIIe et XIXe siècles. Les nuisances industrielles ont conduit assez précocement en France (1810) à la législation napoléonienne des « Établissements classés dangereux, insalubres et incommodes » (précurseurs des « Installations classées »), visant à maîtriser les altérations et dangers de l'environnement industriel. Dans un domaine complémentaire, rappelons aussi la contribution historique de Ramazzini, dès le début du XVIIIe siècle, à la lutte contre les risques professionnels.

La PA urbaine, la première réellement mise en cause

La première préoccupation collective sérieuse a concerné la PA des agglomérations urbaines et/ou industrielles, à partir de 1930 et, surtout, à la fin des années 1950. Les nuisances et risques ont été perçus dans deux types de circonstances : la première correspond à des épisodes aigus de PA faisant suite à des conditions météorologiques entravant la dispersion locale des polluants, émis essentiellement par des sources fixes, industrielles et/ou de combustion (énergie, chauffage) ; ce furent les épisodes de la Vallée de la Meuse en 1930, de Donora en 1948 et, surtout, de Londres en 1952, 1956 et 1957, qui se sont traduits par des accroissements évidents de mortalité, avec 4 000 décès supplémentaires à Londres en 1952 ; les polluants incriminés à l'époque étaient de nature acido-particulaire (dioxyde de soufre SO_2 et fumées noires FN). Le second type d'observations concernait les altérations écologiques progressives touchant forêts et cultures à proximité de zones industrielles (Rouen, Lacq, Vallée de la Maurienne, en France), impliquant divers polluants tels SO_2, particules (PM) ou dérivés fluorés.

Ces observations, d'importance sanitaire ou écologique, ont conduit à la mise en œuvre de stratégies de prévention (le *Clean Air Act* aux États-Unis) se traduisant par un meilleur contrôle des sources fixes de pollution, des combustibles et des process industriels grâce à la promotion de dispositifs de dépollution des effluents. Cependant, la dilution et la dispersion des polluants en altitude restait un procédé très utilisé voire une philosophie de la prévention, et la culture de « l'alerte industrielle », lors d'épisodes de PA, restait prépondérante, avec ses corollaires d'action transitoire et ponctuelle sur les sources locales.

Le trafic automobile : un facteur aggravant

Deux évolutions majeures sont venues bousculer cette philosophie. La première se rapporte à la croissance exponentielle du parc et du trafic automobile à partir des années 1960. Or, il s'agit de sources mobiles, nombreuses, diffuses, variables dans le temps et l'espace, impliquant la qualité et le type de moteurs et de carburants (avec l'erreur mondiale de l'essence plombée), mais aussi l'usage qui est fait des véhicules et le comportement des usagers. On est donc dans une toute autre situation de gestion que pour les sources fixes, notamment industrielles. En outre, le trafic automobile génère une PA différente, notamment des précurseurs de PA photo-oxydante (oxydes d'azote NO_x, composés organiques volatils COV et monoxyde de carbone CO) ; de plus, il engendre des situations très hétérogènes d'exposition humaine selon que l'on est dans le flux de circulation et les véhicules ou à proximité plus ou moins grande des zones de trafic. La plupart des pays occidentaux affectés n'ont pas anticipé suffisamment tôt ce type de PA malgré l'instructive expérience californienne survenue antérieurement dans la région de Los Angeles, où des « smogs » photo-oxydants plus ou moins marqués se manifestaient ; on a cru un peu facilement que la situation était spécifique de cette région et, notamment, de sa topographie, de sa climatologie et du mode de vie de ses habitants. C'était, en fait, le premier modèle de PA photo-oxydante à l'échelle régionale, avec ses précurseurs et ses polluants secondaires, illustrant la capacité de « réacteur » physico-chimique de la troposphère.

Le rôle majeur des transferts et des transformations des polluants : un premier changement d'échelle

La seconde évolution majeure correspond à la prise de conscience, en partie grâce à l'expérience précédente, de l'importance des transferts horizontaux ou verticaux des polluants à grande distance (d'espace et de temps), de la réactivité et de la durée de vie des polluants, de la formation de polluants secondaires par des processus physico-chimiques complexes ; on a aussi pris conscience de l'implication d'autres milieux naturels que l'air (sols, eaux, chaîne alimentaire), des impacts écologiques et sanitaires différés en résultant, mais aussi de la grande inertie des systèmes naturels en réaction à ces agressions, donc de l'importance de leur prévention. Ces phénomènes, liés les uns aux autres et initiés localement, peuvent se manifester à l'échelle régionale, continentale ou planétaire, traduisant une « mondialisation » de la PA et de ses effets, ce qui oblige à des actions internationales en matière de contrôle et de lutte.

On s'est aussi progressivement aperçu que des émissions naturelles, ponctuellement ou non, peuvent jouer un rôle important dans ces phénomènes, aux côtés des sources anthropiques, ces dernières concernant non seulement des contributions industrielles et domestiques, mais aussi agricoles.

C'est ainsi que l'on a observé l'affaiblissement de la couche stratosphérique d'ozone qui constitue un écran protecteur pour les êtres vivants face au danger d'irradiation UV : cette altération a été assez rapidement attribuée à des molécules d'hydrocarbures aliphatiques fluoro-chlorés, les « fréons », largement utilisés, notamment, par l'industrie de la réfrigération. Or ces molécules avaient été considérées comme inertes chimiquement et biologiquement et on n'avait pas prévu leur transfert et leur lente transformation chimique dans la stratosphère ; elle aboutit à des

composés chlorés altérant la couche d'ozone. Une action internationale vigoureuse (Protocole d'Ottawa et ses suites) a conduit à l'éviction des molécules coupables et à leur remplacement par d'autres, *a priori* plus inertes ; mais le processus est loin d'être stabilisé, compte tenu des temps de réponse du système concerné et des observations les plus récentes.

Un autre problème de transfert et de transformation de polluants se rapporte aux polluants « acidifiants » (SO_x, NO_x, NH_3) : il a été découvert avec l'appauvrissement biologique considérable de lacs scandinaves et canadiens, respectivement affectés, au fil des années, par les masses d'air polluées en provenance de l'Europe occidentale et des États-Unis. S'y sont ajoutées, ensuite, les observations régionales de dépérissement forestier en Europe centrale, puis occidentale ; ces manifestations mettent en cause des transferts et retombées à distance de polluants acido-particulaires et oxydants, et d'autres facteurs phyto-agressifs, il est vrai. Plus tard encore, des polluants atmosphériques (NO_x, NH_3) se sont révélés inducteurs de processus d'eutrophisation. Les Protocoles de Genève, puis de Göteborg, marquent le souci international de limiter ces migrations « transfrontières » de polluants acidifiants, eutrophisants et, maintenant, persistants (polluants organiques persistants) et de prévenir des « charges critiques » pour les sols.

Le dernier problème, le plus planétaire, concerne l'accroissement d'effet de serre, avec ses conséquences climatiques inquiétantes ; il met en jeu des gaz à effet (in)direct (gaz à effet de serre) : le dioxyde de carbone (CO_2) issu des combustions, mais aussi le méthane CH_4) issu des fermentations, le protoxyde d'azote (N_2O) provenant de la dénitrification, l'O_3 troposphérique, les halons, etc. Le Protocole de Kyoto s'efforce de traiter ce problème angoissant pour l'humanité, car les scientifiques sont frappés par le réchauffement terrestre constaté ces dernières années et, surtout, par son accélération brutale, qui pourrait être le signe de la décompensation des systèmes naturels de régulation. Il est donc grand temps de promouvoir une action internationale vigoureuse, comme le souhaite l'Union européenne, un peu esseulée dans cette affaire.

On est bien là au cœur de la mondialisation des phénomènes de PA, qui prennent leurs sources, pour l'essentiel, dans des émissions locales disséminées. Ils sont liés les uns aux autres et interactifs, en termes positifs ou négatifs selon les cas, comme par exemple s'agissant de la contribution ambivalente des particules en suspension dans l'effet de serre.

L'exemple de l'ozone troposphérique est très révélateur de ces interactions : précurseurs primaires et polluants secondaires sont certes produits localement, mais ils sont aussi largement transférés par les masses d'air où ils réagissent et la PA photo-oxydante devient vite un problème régional et international, difficile à gérer localement en cas de crise. L'accroissement progressif de la concentration de fond de l'O_3 troposphérique est inquiétante pour la santé humaine et animale, mais aussi pour les productions végétales et, bien au-delà, puisque l'O_3 troposphérique participe à l'accroissement de l'effet de serre.

Les NO_x, pour leur part, interviennent à la fois dans la genèse de la PA photo-oxydante, dans les processus d'acidification et d'eutrophisation et dans l'effet de serre.

Enfin, la diminution de l'O_3 stratosphérique et l'accroissement de l'effet de serre sont interdépendants : l'accroissement de gaz à effet de serre réchauffe la troposphère mais refroidit la basse stratosphère ; ceci induit une augmentation des effets vortex polaires qui entraînent une diminution d'O_3 stratosphérique.

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

Un second changement d'échelle : la PA intérieure ou *« indoor »*

D'un autre côté et par opposition à cette « mondialisation » des PA, l'attention se porte de plus en plus vers les altérations de la qualité de l'air dans les espaces (semi-)clos, leurs déterminants et leurs conséquences sanitaires. Ces préoccupations ont été plus tardives en France que dans d'autres pays voisins, notamment l'Allemagne et les pays scandinaves, si l'on excepte les accidents (sub)aigus d'intoxication par le CO et les expositions professionnelles du secteur industriel. Ce regain d'intérêt pour la PA intérieure tient à diverses raisons qui, pour l'essentiel, sont les suivantes :

- des « crises sanitaires » relativement récentes : formaldéhyde, amiante, radon, légionelles ;
- mais surtout des évolutions technologiques du bâtiment, avec des matériaux nouveaux, plus isolants mais émissifs de COV (dont le formaldéhyde), souvent mal mis en œuvre dans l'habitat, mais aussi le développement du conditionnement de l'air dans les locaux collectifs, avec une maintenance technique souvent insuffisante ; ces sources et polluants émis sont très affectés par les conditions thermo-hygrométriques des locaux ;
- les crises énergétiques mondiales, notamment la première, en 1973, véritable point de départ des préoccupations de PA intérieure : elles ont conduit, pour réduire les dépenses énergétiques, à un renforcement de l'isolation, dont l'effet pervers est l'accroissement de concentration des polluants à l'intérieur du fait d'un renouvellement d'air insuffisant. La promotion du chauffage électrique, relativement onéreux, ne pouvait que renforcer cette double tendance ;

• la modification des modes de vie : beaucoup de temps passé dans des espaces clos (80 à 90 %, voire plus), le développement des secteurs professionnels tertiaire et collectif, avec leurs insuffisances de maintenance et de surveillance, l'évolution du milieu domestique, avec les animaux de compagnie, les produits d'hygiène, cosmétiques et de bricolage, le tabagisme...

• l'impact social croissant de la PA urbaine extérieure et les interrogations sur ses répercussions à l'intérieur des locaux ;

• le développement d'exigences sociales concernant la qualité des « ambiances » collectives (par opposition à l'habitat individuel), y compris s'agissant des transports publics...

Les préoccupations sont donc à la fois collectives, familiales et individuelles ; elles correspondent à un souci encore vague, dans l'esprit des habitants, de mieux appréhender et contrôler leur « exposition personnelle », grâce à une meilleure connaissance de la qualité atmosphérique (et ambiante) des divers micro-environnements fréquentés : cela va dans le sens d'une « personnalisation » de la PA avec un souci de connaître l'exposition globale de chaque individu. C'est une gageure face à la diversité très grande des locaux en cause, des sources de pollution externes et internes, et des aérocontaminants émis (facteurs physiques, chimiques et microbiologiques), mais aussi de leurs déterminants (bâti, activités, comportements, entretien...) et des mesures de prévention ou de correction à mettre en œuvre.

Une vision plus globale de l'ensemble ?

On mesure bien, ainsi, combien sont importants les phénomènes de PA dans leur ensemble : de l'échelle locale, on passe à des problèmes globaux aux répercussions collectives de plus en plus larges, au sens « macro-environnemental » ; mais, par ailleurs, on ne peut ignorer ce qui se passe à une échelle micro-environnementale qui, *a priori*, intéresse bien davantage chacun d'entre nous. Les préoccupations sanitaires sont évidemment à prendre en compte à ces différents niveaux, mais il est important de tendre de plus en plus vers une vision plus synthétique des causes et manifestations des PA.

Un panorama des aspects sanitaires relatifs aux risques atmosphériques

Les approches et les outils d'évaluation

Une évolution s'est dessinée aussi dans ce domaine, peut être plus lentement, à partir d'une dimension médicale clinique et individuelle, et d'une démarche traditionnelle d'hygiène du milieu, déjà peu interactives, au profit d'une approche plus collective de santé publique, puis de « santé environnementale » ; mais il subsiste encore de nombreuses insuffisances, des malentendus, des oppositions parfois, ne serait-ce qu'entre cliniciens et épidémiologistes. Il est vrai que les diverses approches sont difficiles et que la multidisciplinarité n'est pas le point fort de la France.

L'approche médicale individuelle : des limites mais quelques progrès

Les professions médicales, médecins notamment, sont en France assez mal informées et peu motivées par la santé environnementale et le rôle de l'environnement physique sur la santé et les pathologies. La médecine française est restée très clinique et curative malgré quelques évolutions. Le patient est observé, en général, en dehors de son contexte environnemental, professionnel ou domestique ; la visite attentive à domicile d'un médecin généraliste familial a vécu ; rares sont les réseaux de veille sanitaire environnementale (« Respirer » en Ile-de-France, « Ramses » en Alsace). Par contre, les pneumologues, les (pneumo-)allergologues et les pédiatres, intéressés par les pathologies concernées et par des populations sensibles ou spécifiques sont de plus en plus impliqués face aux PA. Les médecins du travail sont aussi très attentifs à l'environnement atmosphérique professionnel : la médecine du travail est une véritable médecine environnementale, mais elle est souvent isolée des aspects environnementaux extra-professionnels ; des bouleversements sont en cours à l'échelle européenne afin d'adopter une véritable approche multipartenariale de la protection des travailleurs. Enfin les médecins des centres antipoison sont sollicités à l'occasion d'incidents ou d'accidents de PA, notamment dans des locaux ou lors du dépassement des normes ambiantes.

Ce constat critique d'un engagement limité du corps médical dans la problématique des PA doit néanmoins être tempéré : la contribution des PA à certaines pathologies courantes n'est pas toujours évidente, car il s'agit en général de pathologies non spécifiques et d'étiologie très plurifactorielle.

Importance des pathologies à facteur(s) de risque pulmonaire(s) en santé publique

De nombreuses pathologies pulmonaires préoccupantes

Une des préoccupations majeures concerne l'augmentation impressionnante (une véritable « épidémie ») de la fréquence des allergies respiratoires et de la maladie asthmatique en particulier, au cours des 20 à 30 dernières années dans les pays développés. Cet accroissement reste encore largement inexpliqué, malgré l'hypothèse d'un mode de vie « occidental » qui favoriserait les allergies par insuffisance de stimulations infectieuses. Les PA jouent sans doute un rôle non négligeable vis-à-vis de ces pathologies, en aidant à leur déclenchement (allergènes intérieurs aux locaux) mais, surtout, en exacerbant leurs symptômes (milieu urbain).

Ces maladies ont tendance à occuper le devant de la scène mais il ne faut pas oublier le poids sanitaire considérable des affections aiguës des voies respiratoires hautes et basses et des maladies chroniques pulmonaires comme les broncho-pneumopathies chroniques obstructives, la bronchite chronique et le cancer broncho-pulmonaire. Plus récemment des risques cardio-pulmonaires ont été mis en relation avec la PA : or les pathologies cardiovasculaires sont très fréquentes dans les populations occidentales.

Le tabagisme : une préoccupation majeure

Derrière nombre de ces pathologies se retrouve un phénomène majeur en santé publique, le tabagisme. Le tabagisme actif, pour sa part, est un agent causal indiscutable et, par conséquent, un cofacteur de risque important à considérer à côté des PA : le poids énorme du tabagisme actif (un risque « fort ») a tendance, dans beaucoup d'esprits médicaux, à rendre marginal tout autre facteur de risque dit « faible » (la PA urbaine, le tabagisme passif...) en oubliant que le produit des trois facteurs *« risque faible » × exposition large, prolongée et permanente × fréquence élevée des pathologies aggravées*, se traduit par un impact sanitaire fort.

L'apport déterminant de la démarche d'évaluation du risque

La démarche d'évaluation du risque comporte classiquement quatre étapes : la mise en évidence du danger (nocivité), la description de la relation dose-réponse (probabilité de survenue du danger), l'estimation des conditions d'exposition au danger (niveaux, circonstances, populations concernées...) et la synthèse de l'ensemble ou caractérisation du risque. Cette séquence repose sur des outils disciplinaires essentiels.

Pour les expositions principalement, on doit disposer de possibilités adéquates de mesurage (et/ou de modélisation) des indicateurs de PA ou d'indicateurs biologiques (biomarqueurs d'exposition ou d'effets). Cet aspect métrologique repose, selon les cas, sur la physico-chimie analytique, la microbiologie ou la biologie expérimentale ou clinique (bio-indicateurs, biomarqueurs). Sa contribution, essentielle et souvent sous-estimée, bénéficie pourtant d'avancées techniques considérables permettant d'atteindre à des « signaux » très performants, qualitatifs et quantitatifs. Or les métrologistes ne sont pas toujours assez associés aux démarches d'évaluation du risque.

S'agissant de mise en évidence du danger, deux disciplines émergent particulièrement, la toxicologie et l'épidémiologie, sans pour autant oublier le rôle des sciences (micro)biologiques en tant qu'outils expérimentaux ou cliniques et de détection des facteurs de risques (micro)biologiques. Pour sa part, la toxicologie recourt soit au modèle humain (l'exposition humaine contrôlée), dans certaines conditions et limites éthiques, soit au modèle animal, soit encore, *in vitro*, à des modèles de laboratoire (tissus, cellules, milieux biologiques), éventuellement collectés *ex vivo* dans les deux premières situations. La toxicologie, de plus en plus performante et « moléculaire », permet de détecter des signaux biologiques très performants qui, d'abord, aident à la compréhension mécanistique des effets analysés ; mais, ensuite, en abaissant les seuils de détection des effets observés, elle fait reculer le fragile concept de « seuil » d'effet biologique et remet en cause la démarche normative reposant sur la notion de risque nul. Cette notion, abandonnée de longue date pour les cancérogènes génotoxiques, tend à s'élargir de plus en plus à d'autres « polluants » (cas des particules atmosphériques, par exemple), avec des relations dose-réponse dites « sans seuil ». Cette évolution remet en cause la philosophie scientifique et sociale de la prévention des risques, substituant au « risque zéro » un « risque acceptable ». Mais une limite de la toxicologie tient au fait qu'il existe peu d'approches concernant la nocivité des expositions à des mélanges complexes de toxiques à faibles concentrations. Signalons toutefois les approches « semi-globales » portant sur des milieux environnementaux complexes comme les eaux, l'air, les déchets, les effluents : en général après concentration préalable, on teste *in vitro* ou plus rarement *in vivo*, la cytotoxicité, la génotoxicité, l'immunotoxicité de ces mélanges sur des systèmes cellulaires. Par couplage à l'analyse physico-chimique des concentrats, on peut identifier des fractions bioactives et évaluer la nocivité des mélanges en prenant en compte les synergies d'action entre molécules toxiques. Des essais de ce type ont porté sur l'effluent diesel et ses fractions et sur des concentrats de particules fines urbaines en suspension. Mais, dans la plupart des cas, les essais toxicologiques portent sur un composé gazeux (NO_2, SO_2, O_3...) ou, plus rarement, sur des mélanges reconstitués simples à deux ou trois composants. On est alors loin des mélanges atmosphériques *in situ* mais ces essais sont quand même intéressants en termes mécanistiques et de relations dose-effet pour les polluants indicateurs majeurs.

Au contraire, l'approche épidémiologique présente l'intérêt de procéder à des observations dans des conditions réelles d'exposition ; mais elle doit recourir à des indicateurs pertinents, tant sanitaires qu'environnementaux. Elle présente des limites de sensibilité liées, en particulier, à l'intensité du signal sanitaire étudié et à la puissance statistique. Elle peut donner des informations sur des relations dose-réponse et sur la présence ou non de seuils d'effet. Dans le domaine atmosphérique, les réponses sanitaires (mortalité, morbidité, activités médicales ou professionnelles...) impliquent le mélange inhalé caractérisé par quelques indicateurs chimiques : se pose alors la question de la responsabilité spécifique de chacun d'entre eux dans le phénomène sanitaire observé. Cette imputabilité est importante pour la prévention technique et médicale du risque et sa gestion : par exemple, la question peut se poser d'agir sur les produits de combustion dans leur

ensemble plutôt que sur les seules particules fines en suspension, pourtant très associées à certains effets pathologiques.

D'un autre côté, l'approche épidémiologique, avec sa réponse sanitaire globale, conduit à fixer des normes sanitaires plus réalistes du mélange atmosphérique, même au regard de tel ou tel indicateur de qualité de l'air ; cette qualité est parfois oubliée par les épidémiologistes eux-mêmes qui ont trop tendance à surestimer la notion d'indicateur de qualité atmosphérique. La vision épidémiologique globale du mélange atmosphérique renforce d'ailleurs la valeur des indices globaux de qualité d'air (type ATMO), contrairement à une idée communément admise par leurs utilisateurs eux-mêmes.

Toxicologie et épidémiologie doivent être associées pour mieux évaluer les risques et leur imputabilité.

Ainsi pour l'ozone, la bonne concordance entre données expérimentales (homme et animal) et épidémiologiques confirme l'action nocive causale de cet indicateur, d'autant qu'il évolue assez indépendamment des autres indicateurs de pollution. Par contre, on peut s'interroger sur la faible nocivité attribuée au CO à faible concentration en ambiance urbaine, fondée sur la seule approche toxicologique du CO pur : en effet, la nocivité cardiovasculaire de ce composé pourrait fort bien s'ajouter à la nocivité cardio-pulmonaire attribuée aux particules fines par l'épidémiologie : une approche épidémiologique plus approfondie du CO en ambiance urbaine reste donc à promouvoir.

En définitive, si des convergences doivent se développer entre toxicologues et épidémiologistes, et entre épidémiologistes et métrologistes de l'environnement, un effort supplémentaire doit être envisagé entre médecins praticiens et épidémiologistes : il s'agit non seulement de convaincre les premiers de participer à la vigilance en santé environnementale, dans des réseaux structurés, mais aussi de coopérer à une approche (bio)clinique objective tenant compte des impératifs scientifiques de la démarche épidémiologique.

Connaissances et interrogations sanitaires actuelles concernant les phénomènes de pollution atmosphérique

À ce jour, les connaissances sanitaires ont surtout été acquises pour la PA extérieure, plus particulièrement urbaine, compte tenu de la priorité scientifique et sociale donnée à ce secteur. Les domaines du risque professionnel et, surtout et plus généralement, des PA dans les espaces clos, ont donné lieu à des investigations de moindre ampleur. Enfin, les phénomènes globaux de PA se caractérisent par des évaluations de risques très préliminaires.

La PA « extérieure » urbaine : un domaine prioritaire

Les effets de la PA urbaine ont fait l'objet de travaux épidémiologiques très importants, ces 10 dernières années surtout, principalement aux États-Unis, puis en France (Études ERPURS de l'ORS Ile-de-France, et des 9 villes de l'Institut de veille sanitaire), en Europe (étude APHEA) et en Asie.

- Des connaissances certes limitées mais inquiétantes se rapportent à l'exposition prolongée à la PA urbaine grâce, en particulier, à trois grandes enquêtes de cohortes rétrospectives américaines et une enquête suisse (et au total une dizaine d'études) : elles mettent en évidence des effets de type pulmonaire (dont le cancer) ou cardiovasculaire, qu'il s'agisse de morbidité ou de mortalité ; une simulation néerlandaise aboutit, à partir de données américaines, à une perte d'espérance de vie de 1 à 1,5 an.
- S'agissant d'effets à court terme, plus de 200 études ont été publiées depuis la fin des années 1980. Elles montrent très généralement des élévations de risque en matière de mortalité générale non accidentelle ou par causes, et de morbidité ou d'activités médicales (dont les admissions hospitalières) ou professionnelles... ; sont principalement concernés les risques pulmonaire et cardio-pulmonaire. Les effets sont décelés le jour même ou les quelques jours suivants et pour des niveaux faibles de concentration d'indicateurs atmosphériques, souvent inférieurs aux normes internationales de qualité atmosphérique. Cela montre qu'il ne faut pas s'intéresser aux seuls effets sanitaires des « pics » de PA, ce qui oblige à une certaine révision « culturelle ».

Les augmentations de risque moyen sont statistiquement faibles (par exemple + 0,5 % de mortalité globale pour un accroissement particulaire de 10 µg/m^3 en moyenne massique quotidienne) ; cela n'exclut pas que des populations à risque soient davantages affectées, ce que montrent certaines enquêtes pour des sujets âgés ou atteints de maladies cardio-pulmonaires ; cela n'est pas, non plus, incompatible avec des sensibilités individuelles accrues.

En outre, les relations dose-réponse ne permettent pas de discerner des seuils statistiques d'effet : l'on ne met donc pas en évidence de concentrations à risque nul, ce qui conduit à définir un niveau statistique de « risque acceptable ». Enfin, si l'inférence causale globale (celle 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 (sauf O_3) ; cependant, les principaux candidats à une inférence causale spécifique sont les particules fines et l'ozone, les données toxicologiques renforçant cette hypothèse.

Au total, la PA urbaine induit, certes, de faibles augmentations de risque, notamment à court terme ; elles sont observées grâce à la puissance statistique considérable des enquêtes de séries temporelles qui portent sur de grandes populations et sont capables d'éliminer, par modélisation, les principaux facteurs de confusion connus : mais, du fait que la population exposée est très importante (80 % des Français sont citadins), qu'elle l'est « vie entière » et que la fréquence de base des pathologies concernées est grande,

l'impact sanitaire (et économique) l'est aussi, d'où l'intérêt en santé publique.

La PA pollution atmosphérique « intérieure » : un aspect longtemps ignoré mais devenu prioritaire

Les altérations de la qualité de l'air intérieur ou, plus largement, des ambiances intérieures sont importantes bien qu'assez mal connues du public qui commence à s'en inquiéter comme le montre l'enquête de « Que choisir ? », en janvier 2002. Les causes en sont individuelles ou collectives, qu'elles soient de nature chimique, (micro)biologique ou physique. Elles sont d'une grande diversité selon la typologie des locaux : 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).

Les risques sanitaires liés à la PA intérieure sont loin d'être parfaitement connus, malgré les efforts de ces deux dernières décennies. On en est encore à un stade, notamment en France, où avant toute surveillance systématique (sauf dans certains secteurs professionnels), on doit procéder à l'inventaire des facteurs, substances et situations à risque, étudier leurs déterminants et leurs effets, envisager la prévention technique et médicale nécessaire. L'identification des effets relève très souvent de l'analyse clinico-biologique de cas isolés ou groupés notifiés à la suite de plaintes, d'incidents ou d'accidents individuels ou collectifs. L'approche épidémiologique est moins fréquente, car souvent difficile à réaliser, en dehors de l'analyse de grandes pathologies, tels l'asthme, le cancer broncho-pulmonaire, qui ne mettent qu'en partie en cause l'environnement intérieur, ou le *Sick Building Syndrome* – « syndrome des bâtiments malsains » en français.

Les effets identifiés à ce jour sont très divers et se traduisent par un gradient de sévérité allant de l'altération du confort et du bien-être jusqu'au risque mortel en passant par des pathologies ou symptomatologies (infections, allergies, intoxications) associées plus ou moins clairement à des expositions (sub)aiguës ou chroniques. C'est ainsi que (selon la sensibilité de chacun), des nuisances (inconfort, irritations sensorielles, oculaires, ORL ou pulmonaires, mal-être...) sont ressenties à court terme en liaison avec des altérations de thermo-hygrométrie et de vitesse d'air, avec des odeurs, la fumée de tabac, des COV (colles, peintures, solvants...), des fibres (laine de verre, par exemple). À court terme encore, des risques très sérieux et souvent mortels sont illustrés par l'intoxication (sub)aiguë par le CO (risque d'asphyxie) et par la légionellose (à pneumopathie dominante). Mais ce sont les allergies respiratoires qui sont les plus préoccupantes par leur fréquence et leurs conséquences à court, moyen et long terme : elles sont le fait de la poussière de maison et d'acariens, d'allergènes d'animaux domestiques (chat, chien) ou commensaux (blattes) ; elles se caractérisent par une phase de sensibilisation puis par une phase d'expression symptomatologique, sous forme de rhinite, conjonctivite, asthme, alvéolite, dermatite... On décrit aussi de véritables syndromes : « fièvre des humidificateurs » due à des endotoxines microbiennes, « fièvre du lundi », syndrome des bâtiments malsains, souvent observés en milieu professionnel. On notera l'importante place occupée, dans nombre de ces pathologies, par des aérocontaminants biologiques (bactéries, virus, *fungi*, moisissures, pollens) ou d'origine biologique (constituants ou facteurs toxiques issus d'arthropodes ou d'animaux) ; dans le premier cas, certains virus ou bactéries sont contaminants, soit directement (transmission favorisée par la promiscuité et la densité humaine, pour le bacille tuberculeux, le virus de la rougeole...), soit indirectement par le milieu environnant (par l'eau, l'air, les surfaces : Legionella, allergènes, endotoxines...). Après exposition chronique sont identifiés des risques cardio-vasculaires et neuro-comportementaux pour CO, pulmonaires et infectieux pour NO_2, de cancer broncho-pulmonaire pour la fumée de tabac, le radon et l'amiante (outre le mésothéliome pour ce dernier en milieu professionnel). Des interrogations subsistent s'agissant des effets différés des divers COV (hormis le benzène, leucémogène avéré), très souvent associés en termes d'effets irritants, neuro-comportementaux ou sur la reproduction. Mais on ne sait pas grand-chose des potentialités toxiques ou allergéniques des mélanges chimiques à l'intérieur des locaux et des composés résultant d'interactions physico-chimiques dans les ambiances closes. La complexité des PA intérieures explique la création récente d'un Observatoire français de la qualité de l'air intérieur.

Autres aspects des PA extérieure et intérieure : intérêt de connaître globalement l'exposition humaine

À côté des efforts consentis pour la PA urbaine, la place est encore réduite pour la PA en milieu « rural ». Certes, on sait que les zones situées sous les panaches urbains sont affectées par les transferts de pollution, notamment par la PA photo-oxydante : des niveaux particulièrement élevés d'O_3 se manifestent dans ces zones, avec des effets sanitaires encore peu inventoriés, si ce n'est en Californie, pour des collectivités de jeunes dans des « camps d'été ». Les études épidémiologiques réalisées dans ce cadre ont d'ailleurs constitué un apport important à la connaissance des effets à court terme de l'O_3 et de ses co-polluants : irritation oculaire et pulmonaire, toux et douleur thoracique, altération de la fonction respiratoire, toutes manifestions plus marquées avec l'exercice musculaire et chez les asthmatiques ou les insuffisants respiratoires.

En milieu rural et, par extension, en milieu urbain, on se préoccupe depuis quelque temps de la pollution résultant de l'utilisation agricole (ou autre) des produits phytosanitaires. En effet, diverses observations,

écologiques d'abord, puis sanitaires (en milieu professionnel) ont attiré l'attention sur les dangers potentiels de certaines familles chimiques de pesticides, en matière de cancers et de troubles neuromusculaires, de la fécondité et du développement fœtal. Les milieux agricoles ont aussi été utilisés pour tenter de mieux comprendre les mécanismes des allergies respiratoires et, en particulier, pour (in)valider l'hypothèse selon laquelle un défaut de stimulation infectante dans l'enfance pourrait expliquer un basculement de la réponse du système immunitaire vers le risque allergique. Le milieu professionnel agricole, dans les deux cas, sert de « modèle » intéressant pour la population générale.

En milieu professionnel, dont une large partie concerne des ambiances intérieures, les connaissances sanitaires sont appréciables, du moins dans le secteur industriel ; il n'est pas question, ici, d'en donner une vision générale, tant les circonstances et facteurs nocifs en cause sont variés. En revanche, leur prise en compte en termes d'exposition et d'effet dans une approche sanitaire globale est à développer, d'autant que les risques professionnels pulmonaires et allergiques occupent une place importante. On est nettement moins avancé pour les risques liés au secteur tertiaire qui présente de nombreux points communs avec des locaux accueillant du public, la mixité fonctionnelle étant d'ailleurs fréquente : ces locaux souffrent souvent d'une conception imparfaite, d'une maintenance insuffisante et aléatoire et de l'existence de nombreuses sources externes et internes de pollution. Un risque multifactoriel particulier est illustré par le syndrome des bâtiments malsains qui met en jeu des facteurs physiques (thermo-hygrométrie, éclairement, bruit...), chimiques (COV, particules, fumée de tabac), microbiens (bio-aérosols) et psychologiques (stress professionnel). Son expression symptomatologique est polyvalente : irritations (œil, nez, gorge), sécheresse des membranes (œil, bronches) et de la peau, fatigue mentale, migraines, nausées et étourdissements, toux et infections des voies aériennes, hypersensibilité allergique...

Quel que soit le champ de PA étudié, on est donc 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. C'est dire combien 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 globale des expositions est nécessaire au médecin pour identifier les risques, soigner et, si possible, prévenir. Elle est essentielle à l'épidémiologiste cherchant à caractériser les facteurs de risque et à évaluer des relations dose-effet. Sauf pour l'approche populationnelle par séries chronologiques qui est très utilisée pour les effets à court terme de la PA extérieure, l'exposition globale et personnalisée est manifestement préférable ; elle doit intégrer la contribution des différents environnements fréquentés (extérieurs/intérieurs/mixtes, domestiques/professionnels/publics...), ainsi que les variations spatio-temporelles : c'est 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 des nombres limités de sujets et d'indicateurs de pollution, on peut procéder à une évaluation directe de l'exposition personnelle. 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, donc à une maîtrise accrue, des principaux déterminants des facteurs de risque et des expositions correspondantes, donc à une meilleure prévention.

Les phénomènes globaux de PA : des risques annoncés

Si nous avons beaucoup progressé dans la connaissance des effets sanitaires de la PA locale, la situation est nettement moins favorable face aux phénomènes globaux, pour lesquels nous disposons au mieux de données qualitatives et, surtout, de supputations inquiétantes.

- L'appauvrissement de la couche stratosphérique d'O_3 a diverses conséquences dont l'accroissement du rayonnement ultraviolet B, phénomène déjà constaté au niveau de l'Antarctique. Les risques résultants concernent la biosphère animale et végétale : les ultraviolets B ont, certes, des effets bénéfiques (synthèse de vitamine D et rôle trophique cutané) mais, à fortes doses, ils peuvent être cytotoxiques, accélérer le photovieillissement, affaiblir les défenses immunitaires, donc favoriser les infections, et accroître la fréquence de cancers cutanés (spino- et basocellulaires, mélanomes) et des cataractes. Toutefois, on en reste au stade de la connaissance mécanistique sans disposer de relation dose-réponse et de précision sur l'hétérogénéité de réponse des populations exposées et sur la capacité d'adaptation de la peau et de l'œil. Les manifestations chroniques seront probablement favorisées.
- Les effets sanitaires potentiels du réchauffement climatique commencent à être étudiés sérieusement, notamment aux États-Unis. Le phénomène affectera de manière aiguë et chronique (si ce n'est déjà le cas) les types de temps, les climats régionaux et, en conséquence, les émissions anthropiques et naturelles, la distribution géographique des végétaux (donc de nombreux allergènes) et celle des insectes ou autres vecteurs de pathologies infectieuses ou parasitaires. Indépendamment des événements plus ou moins catastrophiques accompagnant les aléas climatiques, qui auront des conséquences sanitaires majeures (in)directes à court et à long terme, les variations brutales de température, par excès ou défaut, affecteront la mortalité et la morbidité. Les modifications climatiques chroniques induiront des modifications de demande énergétique (pour le

chauffage ou la climatisation) et de mode de vie qui retentiront vraisemblablement sur la qualité de l'air à des échelles diverses allant du micro-environnement jusqu'aux niveaux local, régional et planétaire, sans que l'on sache prévoir leur ampleur.

C'est ainsi que l'accroissement d'O_3 troposphérique, un problème actuel, se traduirait par un accroissement des effets respiratoires aigus ou chroniques et, peut-être, par des effets génotoxiques. L'augmentation des particules fines ajouterait au risque pulmonaire aigu et chronique (dont le cancer pulmonaire) un risque cardiovasculaire aggravé par le CO, et une diminution d'espérance de vie. L'accroissement de SO_2 et de NO_2 aggraverait aussi le danger pulmonaire, de manière directe ou indirecte, par le biais de co-infections favorisées par NO_2. Les perturbations des végétaux (pollens) et des *fungi* ou moisissures pourraient accroître les allergies respiratoires. Enfin, les modifications géographiques touchant aux vecteurs retentiraient sur la distribution et le contrôle sanitaire de grandes maladies infectieuses ou parasitaires. Ce sont seulement quelques aspects qualitatifs des répercussions prévisibles mais nous ne savons pas quelles seraient leur ampleur et leur localisation géographique avec suffisamment de précision, raison de plus pour commencer à s'y préparer sérieusement.

Quelques aspects d'intérêt sanitaire essentiels à la gestion des risques atmosphériques

La gestion des risques, après leur évaluation, constitue un modèle complexe d'action multidisciplinaire et multipartenariale. Elle comporte, en effet, de multiples aspects allant de la connaissance scientifique et médicale (évaluation des risques) mais aussi technologique (innovation, dépollution...) à des aspects sanitaires, réglementaires, économiques, sociaux et politiques fortement intriqués et de plus en plus marqués par de fortes exigences internationales et sociales. La démarche n'est évidemment pas spécifique du champ « atmosphérique », mais ce dernier est assez exemplaire dans la mesure où les phénomènes n'ont pas de frontière. Nous retiendrons seulement quelques aspects illustrant l'importance de la vision sanitaire dans la gestion des risques atmosphériques.

Ces 50 dernières années ont été caractérisées par une prise de conscience scientifique puis sociale, progressive et encore largement en cours, des phénomènes de PA. Mais cette évolution d'ensemble ne se fait pas sans heurts ni controverses scientifiques et socio-politiques. C'est le cas en ce qui concerne la pollution atmosphérique urbaine ou les contributions respectives des expositions intérieures ou extérieures aux locaux ; c'est encore le cas, mais sans doute moins qu'il y a cinq ou dix ans, avec l'impact climatique des pollutions atmosphériques d'origine anthropique.

Connaissance, perception et acceptabilité sociales : un aspect majeur à valoriser

Il faut tenir le plus grand compte de la perception par le public des phénomènes de PA et des risques correspondants, qu'il ressent surtout comme subis. En particulier, nous n'attachons pas assez d'intérêt aux manifestions évidentes et objectives que sont les odeurs, l'altération de la visibilité, les retombées atmosphériques... qui sont liées aux PA (et à la météorologie) et qui donnent au citoyen une image défavorable de la qualité de l'air souvent éloignée des valeurs ou évolutions rassurantes affichées par les pouvoirs publics et leurs mandants pour la pollution de « fond » ; ceci est à rapprocher, d'ailleurs, de l'insuffisance de 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 qu'elles ne jouent pas un rôle néfaste pour la santé, indépendamment de l'altération du bien-être.

De même, il faut prendre en compte l'acceptabilité par le public des normes ou des solutions proposées, notamment 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, des incitations favorables aux plans environnemental et sanitaire et, si possible, économique. Un défi actuel, en matière de qualité atmosphérique, est de faire comprendre au citoyen que les phénomènes de PA sont liés les uns aux autres et que la PA locale est à l'origine des phénomènes globaux et planétaires dont l'ampleur et l'inertie sont d'une autre dimension, avec des effets retard considérables. En outre, il faut que le citoyen soit conscient de ce que les problèmes de PA automobile en agglomération, certes améliorés, ne seront pas pour autant réglés (sans compter les questions de bruit, d'encombrement des espaces urbains et d'accidents) par les seules avancées technologiques, aussi indiscutables soient-elles. Ils ne trouveront de solution à terme que par une remise en cause raisonnée de nos modes de vie, comportements et usages.

La bio-indication végétale : un triple intérêt écologique, métrologique et pédagogique

Les végétaux (au sens large) peuvent, convenablement choisis, fournir des indications intéressantes sur la qualité atmosphérique. Plus ou moins spécifiques de tel ou tel polluant (tabac et ozone, ray-grass et métaux, crucifères et COV...), ils donnent des informations « intégrées », d'intérêt métrologique ou écologique, notamment sur l'évolution temporelle du mélange atmosphérique à court ou long terme (mousses, lichens). L'intérêt peut aussi être pédagogique dans la mesure où le citoyen perçoit directement l'effet nocif d'un polluant à court terme (tabac et O_3) et est alors plus réceptif à un message de caractère environnemental, sanitaire et, finalement, comportemental.

De rares études ont essayé de comparer, en zones industrielles (Trieste, par exemple), la répartition géographique de bio-indicateurs végétaux et celle de pathologies humaines à long temps de latence, tels les cancers : des liaisons ont été décelées et ces études « écologiques » mériteraient sans doute d'être développées afin de rapprocher indicateurs de santé de l'homme et de son environnement vivant.

L'avis médical : une référence sociale incontournable

Le médecin est, envers et contre tous, le référent idéal des citoyens, français notamment. 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 il porte aussi une certaine vérité sanitaire en général pour le public, qu'il s'agisse d'information, de conseils de prévention, par exemple en cas de « pics » de PA. Sa formation et son information sont donc essentielles au développement de la santé environnementale.

Niveau de connaissances scientifiques et médicales et prolongements stratégiques

D'abord, ce niveau, évolutif, définit la stratégie de lutte, qui est fondée, selon les degrés de certitude scientifique mais, aussi, de sévérité et de réversibilité des effets sanitaires réels ou potentiels, sur les démarches de prévention ou de précaution. Ensuite, il permet d'évaluer l'effet sanitaire, non seulement qualitativement (la typologie des manifestations cliniques, biologiques ou fonctionnelles) mais, de préférence, quantitativement, sous la forme de l'évaluation du risque attribuable et de l'impact sanitaire (risque attribuable × fréquence en population de l'événement sanitaire en cause). Enfin, ces deux aspects conduisent, avec la prise en considération d'impératifs économiques, sociaux et politiques, à l'établissement des « normes » réglementaires d'émission et d'immission ; mieux, l'identification, par l'analyse des relations dose-réponse d'un seuil statistique d'effet sanitaire, permet de définir une norme à « risque nul » ; dans le cas contraire, la norme ne peut résulter que d'un consensus social adoptant un niveau de risque acceptable. On voit donc l'importance et les limites du niveau de connaissances scientifiques et médicales, tout particulièrement au regard des applications concrètes des concepts de danger, de risques attribuable et acceptable. Rappelons en outre qu'un risque non quantifiable est le plus souvent très difficile à gérer.

Progrès technologiques : un impact sanitaire potentiel à contrôler *a priori*

Les apports technologiques se rapportent à toutes les améliorations de produits, matériaux ou procédés capables de réduire les émissions atmosphériques ; c'est un secteur essentiel au contrôle des phénomènes de PA. Malgré des progrès constants, il a évidemment ses limites, techniques, économiques et sociales.

L'évolution des mentalités est manifeste et se traduit par une vision de plus en plus globale des produits et process dans une perspective de développement durable, avec la prise en compte des notions de durée de vie, de recyclage, de haute qualité environnementale... Cependant, il reste encore beaucoup de progrès à faire concernant les produits ou procédés à large diffusion sociale, tels les carburants, les moteurs, les dispositifs de dépollution des effluents des sources d'émission, les peintures, solvants...

En effet, Il faudrait s'interroger par avance sur les effets pervers éventuels accompagnant les avancées obtenues. Se pose dès lors la nécessité d'évaluer au mieux, par voies physico-chimique, biologique et toxicologique, ces produits ou procédés avant leur diffusion. Cette approche, qui a été pratiquée pour les eaux d'alimentation, l'a été insuffisamment dans d'autres secteurs, par exemple pour les carburants, les moteurs, les systèmes de dépollution des effluents, dont l'évolution est trop souvent jugée sur des critères économiques et sur quelques indicateurs de qualité environnementale 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.

L'action sanitaire internationale : un passage obligé

Il est clair que la « globalisation » des phénomènes de PA ne peut déboucher, en termes de contrôle et de prévention, que sur une concertation internationale. Celle-ci existe déjà à propos des connaissances scientifiques et sanitaires touchant, entre autres, aux effets des PA extérieures et intérieures : l'OMS joue un rôle fondamental dans tout ce qui touche à la santé publique et c'est elle qui a formulé le concept de « santé environnementale ».

Chacun connaît le poids des recommandations de l'OMS dans l'établissement des « normes » réglementaires au niveau des États et de l'Union européenne. L'organisation intervient aussi auprès des pays en développement, en proposant des stratégies d'action. Nul doute que son rôle ira grandissant avec l'éveil économique, souhaitable mais inquiétant s'il

Il faut parvenir à une intégration des phénomènes de PA qui ouvre des perspectives internationales collectives, sociales et politiques ; d'un autre côté, on ne peut pas ignorer des aspects plus individuels qui débouchent sur une aspiration sociale croissante à vouloir connaître et maîtriser son exposition personnelle aux polluants inhalés, comme aux autres d'ailleurs.

n'est pas contrôlé, des grands pays comme la Chine, l'Inde et d'autres, tant à l'échelle locale que régionale et planétaire. Dans cette perspective, l'aide technologique et économique des pays développés sera essentielle aux côtés de l'action sanitaire internationale.

Conclusion

En définitive, ces 50 dernières années ont été caractérisées par une prise de conscience scientifique puis sociale, progressive et encore largement en cours, des phénomènes de PA, comme d'ailleurs des problèmes d'environnement en général.

Mais, cette évolution d'ensemble ne se fait pas sans heurts ni controverses scientifiques et sociopolitiques. C'est le cas, en ce qui concerne la pollution atmosphérique urbaine, à propos des effets sanitaires immédiats des « pics », des effets retardés d'une exposition permanente à la pollution, de la part de responsabilité du transport automobile dans les phénomènes de pollution et leurs conséquences sanitaires et, par conséquent, son contrôle ; ce sont aussi les discussions portant sur les contributions respectives des expositions intérieures ou extérieures aux locaux ; c'est encore, mais sans doute moins qu'il y a 5 ou 10 ans, la controverse majeure concernant l'impact climatique des pollutions atmosphériques d'origine anthropique.

Avec une certaine difficulté intellectuelle, et grâce au rôle déterminant de la démarche d'évaluation des risques et de sa composante épidémiologique (notamment les études de « séries chronologiques »), il a quand même été pris une assez juste mesure des PA à l'échelle locale et de leurs conséquences sanitaires, principalement mais non exclusivement à court terme. Une volonté politique forte de lutte et de contrôle de ces phénomènes est manifeste, qui se traduit déjà par des résultats positifs indiscutables, notamment dans le domaine des transports routiers, et des progrès de gestion de ces risques sont programmés pour les 10 années à venir.

La France, dans le cadre de la politique de l'Union européenne, s'est fortement engagée dans cette lutte avec la « loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie » de 1996 et ses nombreux textes d'application. Le Conseil national de l'air, instance consultative, joue un rôle important par ses réflexions et avis et son président (M. Jean Félix Bernard) a récemment remis au ministre chargé de l'environnement, une évaluation de la loi sur l'air avec cinq années de recul.

Pour autant, il ne faut pas se démobiliser, au prétexte que la PA urbaine serait jugulée à court terme, qui plus est, seulement dans les pays développés. Nous avons d'énormes progrès à faire pour prendre la juste mesure des phénomènes de PA aux autres échelles, en termes d'identification, de compréhension, de conséquences et de gestion. Nous découvrons petit à petit, avec une certaine difficulté, la continuité entre ces phénomènes, trop souvent traités de manière sectorielle à partir de la PA locale ; il faut parvenir à une intégration des phénomènes de PA qui ouvre des perspectives internationales collectives, sociales et politiques ; d'un autre côté, on ne peut pas ignorer des aspects plus individuels qui débouchent sur une aspiration sociale croissante à vouloir connaître et maîtriser son exposition personnelle aux polluants inhalés, comme aux autres d'ailleurs. Dans des sociétés développées où fleurit de plus en plus l'individualisme, il va donc falloir concilier ces aspirations individuelles fortes avec des contraintes collectives mal acceptées. C'est toute la difficulté de la démarche de développement durable qui implique des efforts individuels et collectifs sur le long terme qui soient compatibles avec une recherche croissante de consommation, de croissance et d'emploi. Que dire, en outre, des pays en voie de développement, qui ont un souci bien compréhensible d'émergence économique et sociale et qui ont donc des priorités autres qu'environnementales !

Il ne faut pas se démobiliser, au prétexte que la PA urbaine serait jugulée à court terme, qui plus est seulement dans les pays développés. Nous avons d'énormes progrès à faire pour prendre la juste mesure des phénomènes de PA aux autres échelles, en termes d'identification, de compréhension, de conséquences et de gestion.

Notre société, moins confiante dans les progrès scientifiques et techniques (et c'est souvent justifié !) va devoir prendre conscience de la diversité et de l'association des facteurs de risque qui l'entourent et devoir apprécier leur importance relative de façon aussi globale que possible, ce qu'illustrent bien les risques atmosphériques. Il va falloir se faire à l'idée que les progrès technologiques ont aussi des effets pervers qu'il convient de déceler et maîtriser *a priori*, dans toute la mesure du possible. De toute façon, ces progrès ne pourront pas régler à eux seuls les problèmes de santé publique et environnementale. L'engagement du citoyen s'impose donc pour les comportements, les usages de consommation et les modes de vie individuels, domestiques, professionnels et collectifs. Des modifications raisonnées et responsables de comportements nécessitent un minimum d'information objective et accessible, comme l'illustrent bien les exemples des nuisances liées aux transports ou aux déchets. Il y faut aussi une implication politique forte et une participation des citoyens à la compréhension de la démarche d'évaluation des risques puis aux processus de gestion des risques sous des formes qui restent encore largement à définir. Tout cela s'inscrit dans un contexte démocratique où les échéances de court terme sont le plus souvent privilégiées par rapport aux projets à longue échéance.

Références

- Bernard JF. L'évaluation de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996. Rapport au ministre chargé de l'Environnement – Paris 2002.
- 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 ?* n° 1 330. PUF, Paris 1968 : 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.
- Festy B. La pollution atmosphérique urbaine : sources, polluants, évolution. *Bull Acad Natl 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*, Toxicologie-Pathologie professionnelle, 16-001-C-10. Elsevier, Paris 1999 : 12 p.
- Madden MC, Hogsett WE. A historical overview of the ozone exposure problem. *Human and Ecological Risk Assessment* 2001 ; 7 (5) : 1121-31.
- Megie G. L'ozone atmosphérique et son évolution. *Annales des Mines. Responsabilité & 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.
- 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.