

SOMMAIRE

TRANSPORTS ET POLLUTION DE L'AIR : UNE QUESTION CONTROVERSÉE	5
I. Les différents types de pollution et leurs effets	5
- 1. Polluants et santé humaine	5
- 2. Qualité de l'air et santé publique	6
- 3. Impacts sur les écosystèmes	7
- 4. Polluants et changement climatique	7
II. Les évolutions récentes	8
- 1. Le rôle croissant des transports dans l'émission de polluants ..	8
- 2. La stabilisation et la réduction des émissions de polluants nuisibles à la santé, d'origine automobile	9
- 3. Des inquiétudes concernant la qualité de l'air intérieur	11
- 4. Une évolution préoccupante de la production de gaz à effet de serre	11
III. Quelles perspectives ?	12
- 1. Quelles perspectives technologiques ?	12
- 2. Quels enjeux pour le CO ₂	13
- 3. Doit-on freiner la mobilité ?	13
- 4. Le problème des ressources énergétiques	14
IV. Conclusions	17
ANNEXES	19

Annexe 1 :

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE SANTÉ PUBLIQUE (mai 1996) « La pollution atmosphérique automobile et la santé publique : Bilan de quinze ans de recherche internationale »	21
- Synthèse du rapport	21
- Pollution atmosphérique et santé	21
- Rôle de l'automobile	23
- Polluants à surveiller en priorité	24
- Recommandations	25

Annexe 2 :

RAPPORT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES : « Pollution atmosphérique due aux transports : les effets sur la santé et l'évolution technologique »	27
BIBLIOGRAPHIE	31

TRANSPORTS ET POLLUTION DE L'AIR : UNE QUESTION CONTROVERSÉE

Les effets des activités humaines et notamment des transports sur l'atmosphère sont devenus objet d'un débat de société. Ce débat est d'autant plus vif que les enjeux sont multiples : santé publique, environnement et cadre de vie, développement et compétitivité de notre économie. Cette imbrication des problèmes, la multiplicité des disciplines scientifiques mobilisées et la diversité des échelles d'analyse en

compliquent fortement l'appréhension. Cette complexité favorise les positions extrêmes. Cette note de synthèse, qui s'appuie sur des travaux scientifiques récents, tente d'apporter des éléments de clarification à ce débat.

On trouvera en annexe les bibliographies correspondantes et des extraits des ouvrages les plus intéressants.

I. Les différents types de pollution et leurs effets

La pollution atmosphérique résulte essentiellement de la combustion des combustibles fossiles et notamment des hydrocarbures et des additifs qu'ils comportent, mais aussi des phénomènes naturels (éruptions volcaniques, biodégradation des matières organiques) et d'autres activités humaines (agricoles). Leurs impacts sur les organismes vivants (l'espèce humaine, la faune et la flore) sont directs (effet sur la santé) ou indirects (modification de la composition de l'atmosphère affectant le climat). Dans le premier cas c'est la concentration locale qui compte, dans le second c'est à l'échelle du globe qu'il faut raisonner.

1. Polluants et santé humaine

Aujourd'hui deux polluants constituent une préoccupation en matière de santé :

- les *particules de carbone* émises par les appareils de chauffage et le fonctionnement des moteurs thermiques provoquent des effets sur la santé qui ont été clairement établis en ce qui concerne les affections cardio-vasculaires et respiratoires. Les particules de carbone sont, en outre, très probablement cancérogènes. Les particules ultrafines seraient les plus dangereuses ;

Les moteurs diesels sont principalement mis en cause mais il faut savoir que les moteurs à essence émettent aussi des particules (encore plus fines et moins visibles) dont on ne connaît pas la nocivité.

- les oxydes d'azote (*NOx*) qui entraînent notamment par la production d'*ozone*, des phénomènes de troubles respiratoires dont les principales victimes sont les asthmatiques ou les personnes affectées de bronchite chronique et les individus les plus vulnérables : jeunes enfants et personnes âgées. Ce polluant n'est pas directement responsable de ces affections mais il en aggrave les conséquences pouvant provoquer une surmortalité ou une mortalité précoce.

Les autres polluants ne constituent pas, ou ne constituent plus du fait de la réduction progressive de leur présence dans l'atmosphère un risque pour la santé publique : il en est ainsi du plomb depuis la généralisation de l'essence sans plomb, du monoxyde de carbone (CO) que les catalyseurs oxydent en CO₂, du dioxyde de soufre (SO₂) grâce à la désulfuration progressive des carburants, du CO₂, et de certains hydrocarbures (imbrûlés) comme le méthane qui ne sont pas toxiques.

D'autres composés hydrocarbonés (benzènes, hydrocarbures aromatiques) et organiques volatiles (aldéhydes), présents dans les carburants, présentent une dangerosité établie (cancer), et des mises en garde ont été effectuées à leur sujet. Toutefois, leur concentration actuelle dans l'atmosphère ne paraît pas constituer, pour l'instant, un risque majeur.

2. Qualité de l'air et santé publique

Les spécialistes de la santé publique distinguent, en général, la pollution de fond des phénomènes de pointe de pollution.

La première est moins fluctuante et plus facilement prévisible que la se-

conde qui est très liée à la météorologie. La première peut être à l'origine de pathologies chroniques, alors que la deuxième est un facteur « d'anticipation » des décès d'individus fragiles.

La pollution de fond de nos villes, tous polluants et sources confondus, est sans aucun doute plus faible qu'il y a 20, 30 ou 50 ans, du fait de la forte réduction de la pollution industrielle ou celle liée au chauffage domestique, mais cela ne saurait en soi justifier que l'on s'en satisfasse. Notre société n'a pas les mêmes exigences qu'autrefois et c'est bien le rôle de la médecine d'identifier et de prévenir des problèmes de santé publique jusqu'alors ignorés. Or, nous sommes sur ces questions dans une situation d'incertitude scientifique, voire « d'insécurité scientifique », propre à alimenter polémiques et attitudes extrêmes, les propos les plus alarmistes comme les plus lénifiants.

Les estimations du nombre de décès liés à la pollution atmosphérique se réfèrent plutôt aux épisodes de pointes.

Ainsi dans la conclusion de son ouvrage, la Société Française de Santé Publique (Réf.1) estime qu'environ 150 à 250 décès anticipés par an pourraient être évités dans l'ensemble des agglomérations de plus de 250 000 habitants (19,5 millions d'habitants) pour une réduction de 20 % de la pollution particulaire d'origine automobile.

L'Académie des sciences (CADAS) (Réf 2), dans un rapport contesté, a voulu situer les effets de la pollution sur la santé publique par rapport à d'autres causes de mortalité. Avec l'indicateur du nombre d'années de vie perdues par an (en France), elle estime que la pollution est probablement responsable de quelques centaines d'années (voire d'un millier), les accidents de la route plusieurs centaines de milliers, le tabagisme un million d'années.

Mais tous les spécialistes s'accordent pour dire qu'il faut s'intéresser aussi aux questions de morbidité et notamment aux effets à long terme (et dans certains cas cumulatifs) d'une exposition durable à la pollution. Mais ces effets sont mal appréciés parce que l'on connaît mal les niveaux d'exposition réels aux polluants et que les études épidémiologiques sont insuffisamment nombreuses, en France du moins.

Comme le montrent les rapports et statistiques établis par AIRPARIF, il existe, en effet, très peu de mesures localisées de concentrations de polluants, considérés aujourd'hui les plus dangereux, datant d'avant le début des années 1990 et susceptibles de fournir des séries statistiques un peu longues sur les niveaux d'exposition.

S'agissant des études épidémiologiques, leur nombre insuffisant ne doit pas cacher une autre difficulté scientifique, celle de relier la croissance constatée de pathologies (comme l'asthme ou la bronchite chronique) ou l'apparition de celles-ci chez un individu ou un groupe d'individus, à tel ou tel facteur, et notamment, la qualité de l'air respiré, à l'extérieur comme à l'intérieur des logements ou des locaux, dans les différents rythmes d'activité. Il ne fait aujourd'hui guère de doute que des agents allergènes ou nocifs, propres à l'air intérieur, sont aussi à l'origine de certaines pathologies respiratoires.

En l'attente d'une meilleure connaissance de la responsabilité de la pollution atmosphérique, et en particulier celle d'origine automobile, sur la santé, les mesures prises notamment dans le cadre de la loi sur l'air comme la sévérisation des normes d'émission des véhicules, apparaissent raisonnables en tant que mesures préventives ou prises au nom d'un principe de précaution. L'opinion publique très sensibilisée aux questions de santé se montre globalement très réceptive à tout dispositif d'alerte, ce qui ne signifie pas une acceptation des mesures

de discipline collective limitant, par exemple, la liberté de circuler.

3. Impacts sur les écosystèmes

Les oxydes d'azote et de soufre sont à l'origine des pluies acides : le risque en résultant pour les écosystèmes a suscité les pires inquiétudes (notamment en Allemagne) dans les années 80. Des études ultérieures ont mis en évidence que les effets attribués à ces polluants avaient été très surestimés ou, du moins qu'ils ne pouvaient pas être dissociés d'autres causalités tout aussi importantes. Cependant, ces craintes ont puissamment contribué à la généralisation des catalyseurs en Europe. Les mesures prises depuis cette époque paraissent avoir eu des effets sensibles dans ces dernières années sur la santé des forêts. (Réf. 9)

4. Polluants et changement climatique

Le gaz carbonique (CO₂), le méthane (CH₄) et d'autres composés hydrocarbonés résultant de l'utilisation des hydrocarbures contribuent à la modification de la composition de l'atmosphère. Les scientifiques sont aujourd'hui quasiment certains que l'accroissement de la quantité de CO₂ dans l'atmosphère depuis un siècle a contribué à un réchauffement de la planète, toutes choses égales par ailleurs. Quelles que soient les mesures prises aujourd'hui, ce phénomène se poursuivra durant le siècle prochain accentuant encore les effets déjà constatés. Cet effet de serre se superpose aux variations cycliques du climat qui dans la longue durée sont de plus grande ampleur.

Il est cependant loin d'être prouvé qu'il conduirait systématiquement et en tout point du globe à des réchauffements. En effet, ces phénomènes sont extrêmement complexes car sont en cause, non seulement l'atmosphère, mais aussi les masses liquides des océans et particulièrement les courants marins transocéa-

niques (eaux de surface et eaux profondes). Ainsi, les refroidissements très importants constatés il y a plusieurs milliers d'années en Europe semblent avoir été dus principalement à une modification importante des courants océaniques (notamment du gulf stream) alors même que la planète entrait dans une période de réchauffement suite à un ensoleillement plus grand de l'hémisphère Nord (Réf. 7) et que les glaces polaires fondaient.

Le principe de précaution justifie l'importance qu'on accorde aujourd'hui à la limitation de l'émission des gaz à effet de serre d'origine humaine (voir la décision prise par les quinze sur les objectifs à l'horizon 2010), ne serait-ce que parce qu'un réchauffement même limité pourrait être à l'origine de déséquilibres de plus grande ampleur dans le couple océan atmosphère avec des conséquences imprévisibles sur le climat.

II. Les évolutions récentes

1. Le rôle croissant des transports dans l'émission de polluants

La croissance de l'activité des transports dans tous les pays et la part prépondérante prise par les véhicules routiers qui sont les moins performants en termes de consommation d'énergie d'origine fossile est le premier facteur qui explique la part croissante du secteur des transports dans la pollution (voir figures n° 1, ci-contre).

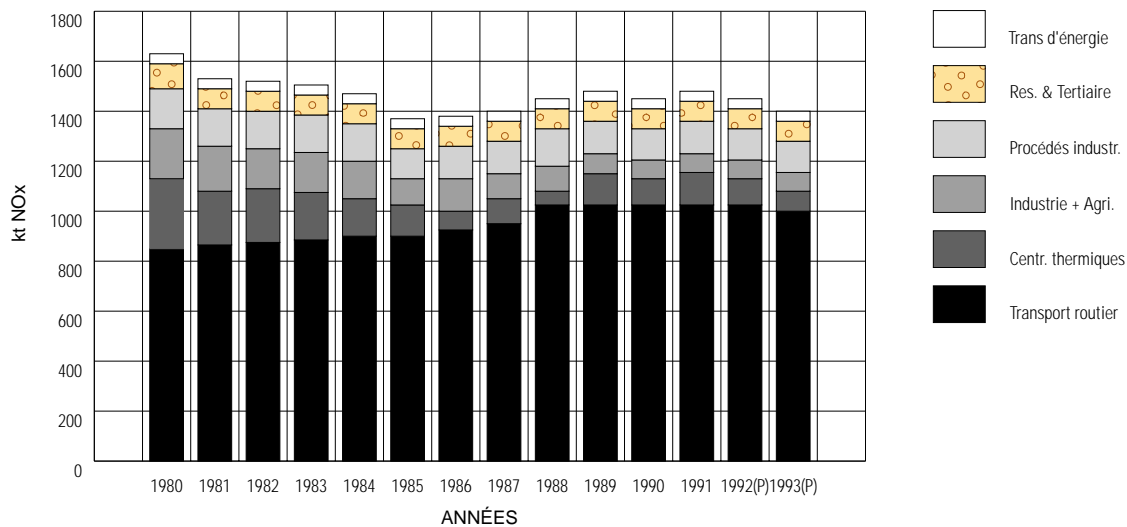
Parallèlement, mais de manière variable selon les pays, les autres activités ont vu leurs contributions décroître. Dans les pays développés, les mutations industrielles (notamment poids déclinant de l'industrie lourde), le passage du charbon au pétrole, la désulfuration des combustibles, le progrès dans l'isolation thermique des bâtiments ont participé à cette décroissance. Elle a été particulièrement forte en France avec la croissance de la production

d'électricité d'origine nucléaire bon marché (à l'inverse, les pays en voie de développement rapide consomment de plus en plus d'énergie, d'origine fossile pour l'essentiel).

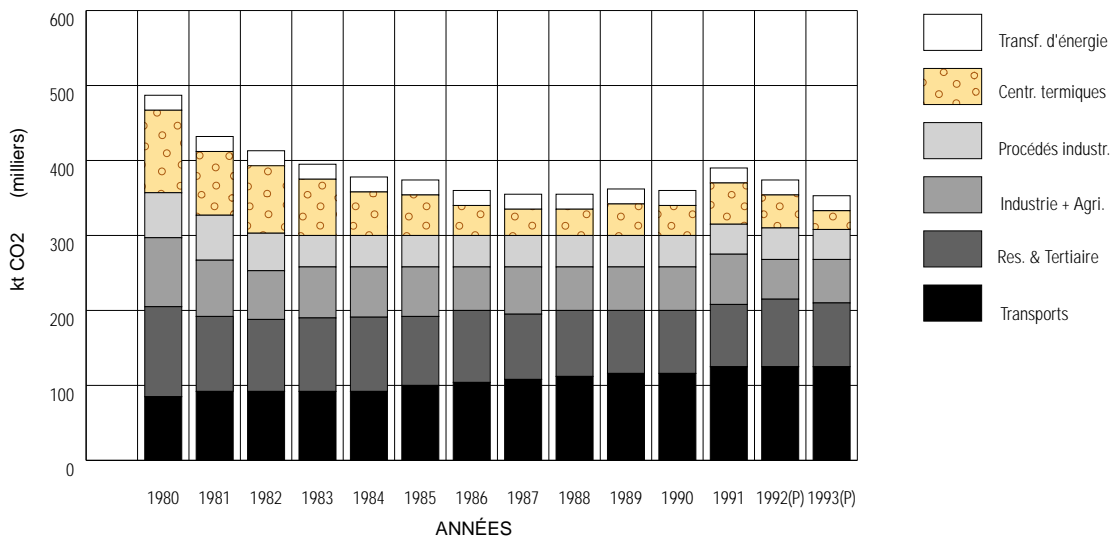
Les véhicules automobiles et les poids lourds sont responsables de l'essentiel de la pollution due aux transports. Des progrès très sensibles ont toutefois été accomplis pendant cette période pour réduire les émissions de nombreux polluants (grâce pour l'essentiel aux catalyseurs) qui compensent et au-delà la croissance du trafic. Il n'en est pas de même pour la consommation d'énergie qui a continué de croître (+ 7 % de 90 à 95) et avec elle la production du déchet ultime que constitue le CO₂, principal gaz à effet de serre. A noter que la quasi-disparition des émissions de CO du fait des catalyseurs augmente nécessairement celle de CO₂.

FIGURES N° 1
ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DE POLLUTION DE L'AIR EN FRANCE

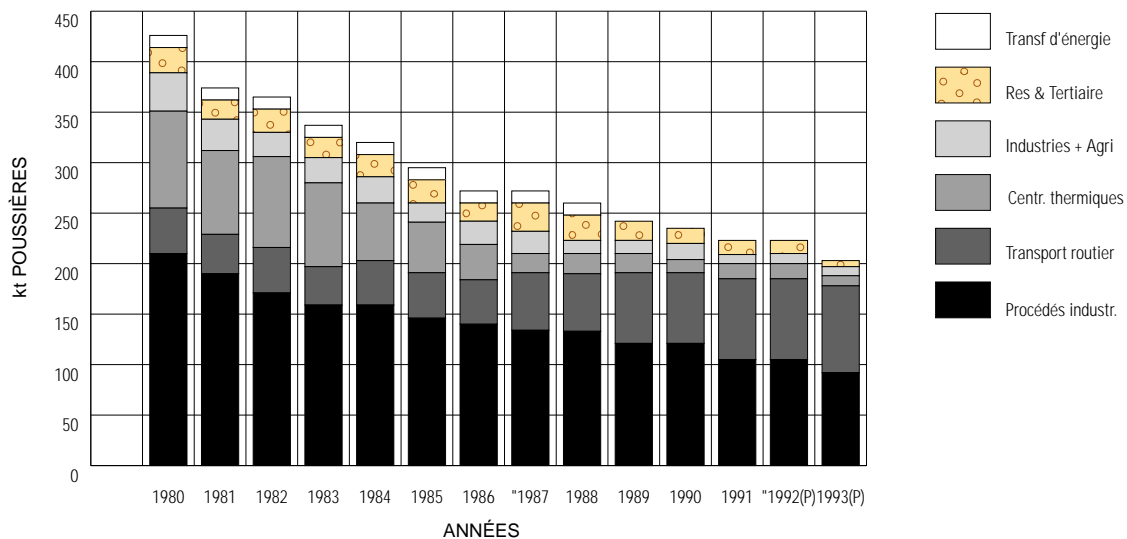
Émissions cumulées de NOx en France par secteurs d'activité



Émissions cumulées de CO2 en France par secteurs d'activité



Émissions cumulées de CO2 en France par secteurs d'activité

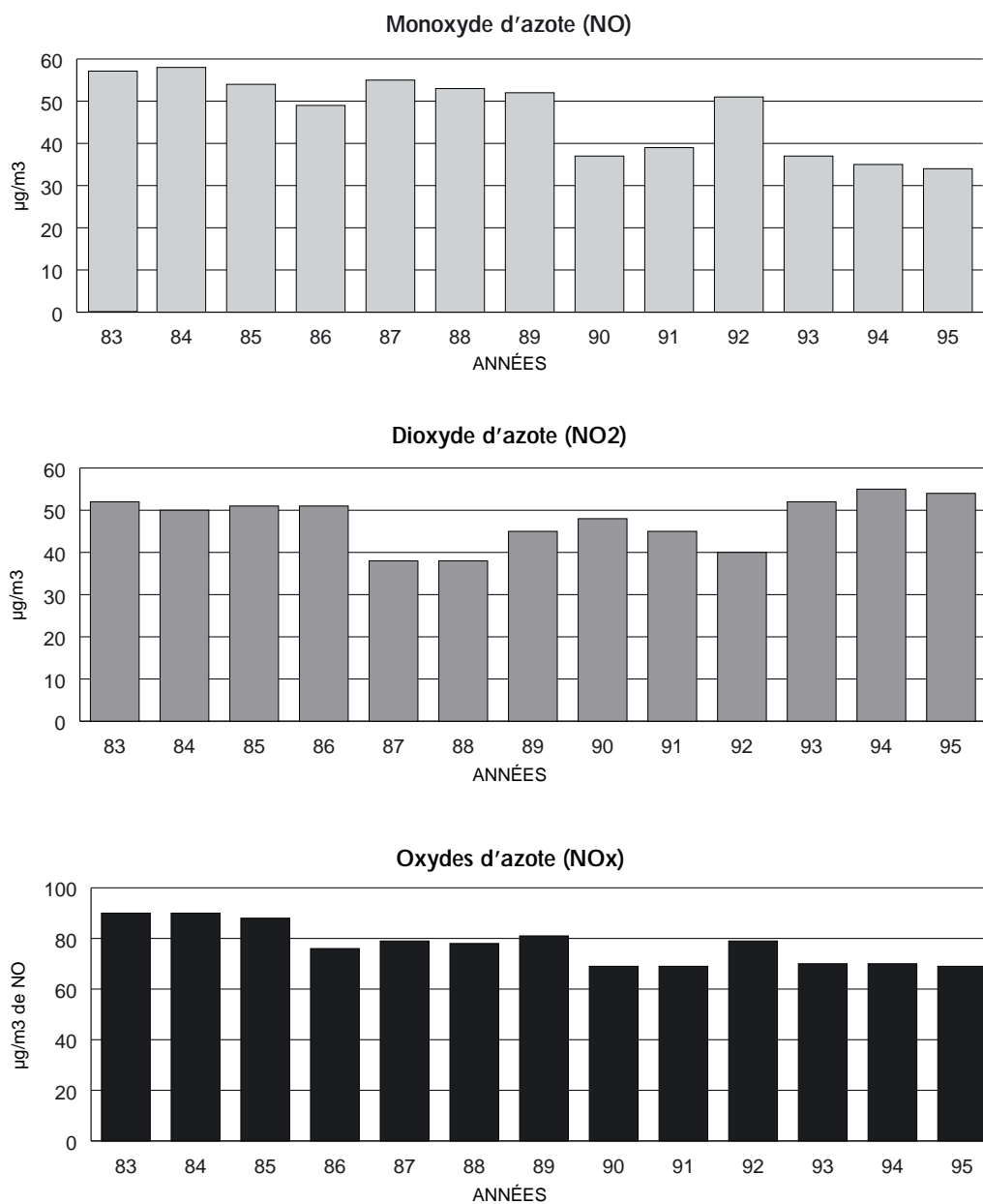


2. La stabilisation et la réduction des émissions de polluants nuisibles à la santé, d'origine automobile

S'agissant des pollutions locales dues aux transports, avec le renouvellement du parc automobile et l'ef-

ficacité croissante des catalyseurs, on constate qu'en dépit d'une croissance de la mobilité automobile, le niveau de pollution de fond nuisible à la santé humaine est en voie de réduction ou de stabilisation y compris les oxydes d'azote (figures n° 2). Cependant :

FIGURES N° 2
EVOLUTION DES NIVEAUX ANNUELS DE MONOXYDE D'AZOTE (NO), DE DIOXYDE D'AZOTE (NO2)
ET D'OXYDES D'AZOTE (NOX)



Source : AIRPARIF

- à court terme, la pollution par les particules risque de continuer de croître à cause de la diésélisation du parc et malgré la sévérisation des normes (baisse d'environ par 2 des émissions tolérées pour les véhicules particuliers et les utilisateurs légers avec la norme EURO 96). Une incertitude demeure à moyen terme car les techniques actuelles d'oxydation des particules et de réduction des oxydes d'azote se heurtent aujourd'hui à des verrous technologiques de l'avis même des industriels.

- Les pointes estivales de pollution photochimiques se sont plutôt accentuées ces dernières années (en particulier en Ile de France en 1995) mais cela paraît plutôt la conséquence de circonstances météorologiques particulières (vingt jours avec température élevée supérieure à 30° et vents faibles inférieurs à 3 m/s en 1995) ;

- l'évolution des villes (périurbanisation) et de la mobilité conduit à augmenter la pollution dans des zones périphériques jusqu'alors épargnées, et à la concentrer sur des axes ou des territoires très circulés surtout si ceux-ci sont congestionnés ;

- on sait que les personnes les plus exposées sont les automobilistes eux-mêmes : l'usage accru de l'automobile dans les déplacements fait croître la durée d'exposition quotidienne pour un nombre croissant de citoyens.

3 - Des inquiétudes concernant la qualité de l'air intérieur

La dégradation de la qualité de l'air intérieur des bâtiments (climatisation et renouvellement insuffisant lié à

une isolation mal conçue ou à un mauvais fonctionnement des ventilations ; fibres en suspension) apparaît aujourd'hui comme un problème sérieux qui pourrait être responsable du développement constaté des pathologies pulmonaires aussi bien que la pollution de l'air extérieur. Elle justifie des travaux de recherche notamment ceux que lance le CSTB (laboratoire ARIA) avec des spécialistes de la santé.

4 - Une évolution préoccupante de la production de gaz à effet de serre

Dès que l'on considère la pollution globale (production de gaz à effet de serre), on ne peut plus raisonner au plan national. D'une certaine manière, notre responsabilité dépasse notre propre contribution aux émissions de gaz à effet de serre et renvoie au modèle de vie urbaine et d'organisation des transports, que volontairement ou non les pays développés proposent au reste de la planète, et au rôle que nous pouvons jouer dans les progrès technologiques des véhicules. A cet égard, le « modèle » américain a sans aucun doute plus d'impact que celui du vieux continent, ce qui est loin d'être rassurant. On peut, en effet, craindre, que les USA aient beaucoup de difficultés à améliorer substantiellement leurs performances énergétiques et donc à montrer « le bon exemple ». On rappellera qu'un américain du Nord consomme trois fois plus d'énergie, qu'un Européen (pays de l'OCDE), lequel en consomme trois fois plus que l'habitant du reste du monde. Le récent sommet de New York n'incite nullement à l'optimisme.

III. Quelles perspectives ?

1 - Quelles perspectives technologiques ?

Rien n'interdit de penser que nous ne puissions pas ramener à **un niveau acceptable pour la santé humaine les émissions de polluants** d'origine automobile.

Tout d'abord, les progrès technologiques réalisés sur les véhicules et les carburants dans les dernières décennies poussent à l'optimisme. Ils seront accélérés avec l'entrée en vigueur des normes EURO II (96). Des progrès ultérieurs sont en vue avec les normes EURO III (98-2000) qui prévoient une diminution par 2 des émissions de particules et de 30 % des émissions de HC + Nox. Les objectifs seront atteints par un effort parallèle sur les moteurs et sur la composition des carburants.

Si la plupart des simulations faites pour les prochaines années montrent un plafonnement des progrès en matière d'émission vers 2005, c'est probablement qu'elles n'anticipent pas de nouveaux progrès technologiques qu'il faut encourager fortement.

Ainsi, les nouvelles exigences pour les moteurs diesel ou les moteurs essence à mélange pauvre constituent des objectifs tout à fait prioritaires pour la recherche. On peut simplement regretter qu'à l'heure actuelle peu d'industriels aient proposé des actions sur ce sujet dans le cadre du PREDIT. Mais, on rappellera qu'en France nos industriels ont été, par le passé, réticents sur la sévèrisation des normes d'émission alors que d'autres pays, (l'Allemagne notamment), l'ont utilisé pour stimuler leur maîtrise technologique et accentuer leur compétitivité. De même, les récents travaux européens sur les carburants (programme Auto-Oil) ouvrent des perspectives intéressantes, certaines reformulations de carburants (utilisées en Suède) ayant permis d'abaisser de 10 % les émissions de Nox et de particules des poids lourds, et jus-

qu'à 40 %, celles des particules des diesels légers. Un effort de Recherche spécifique sur les carburants devrait être encouragé.

Le recours à des énergies alternatives constitue une autre piste. Mais indépendamment des problèmes économiques qu'il peut soulever, il ne saurait être considéré comme une panacée.

- Le véhicule électrique à batterie, dont l'emploi est limité aujourd'hui par sa trop faible autonomie, peut être une bonne solution dans des zones denses (centre ville) qu'on veut épargner de toute pollution. Le doublement de cette autonomie, grâce aux batteries lithium-carbone, pour atteindre 200 Kms est probable à moins de 10 ans et pourrait ouvrir sur des usages périurbains. Les véhicules hybrides constituent également une piste très intéressante sur laquelle travaillent tous les constructeurs. Mais on ne saurait oublier qu'il faut bien produire l'électricité : si celle-ci est d'origine thermique, on ne parviendra pas à l'émission zéro. On peut cependant penser parvenir à une pollution moindre et plus maîtrisable avec des centrales thermiques modernes qu'avec les moteurs thermiques des véhicules, même si la double transformation d'énergie n'est pas favorable au rendement. Seule la pile à combustible pose la même question de la source d'énergie primaire et, en dépit d'annonce récente de constructeurs américains et japonais, nous sommes encore loin de maîtriser cette technologie (coûts, risques liés à l'hydrogène) ;

- le recours au gaz comme carburant est une solution très séduisante : le GPL est d'un emploi facile (stockage aisé, utilisation possible par des moteurs thermiques à essence). Mais il ne peut être que marginal puisque le GPL est un résidu de la distillation du pétrole : un parc automobile majoritairement GPL n'est pas envisageable. Le gaz

naturel (GNV) est abondant, mais son emploi par des véhicules particuliers est beaucoup moins simple puisqu'il ne peut être stocké qu'à très basse température ou sous forte pression. La plupart des experts s'accordent pour dire que son utilisation devrait être limitée à des flottes de véhicules professionnels. On notera enfin, que l'usage du gaz n'apporte aucune réponse sur les émissions de CO₂.

2 - Quels enjeux pour le CO₂

Toutes les simulations réalisées à l'horizon des vingt années qui viennent montrent, en effet, que la production de CO₂ pour les transports en France va croître parce que la tendance à la croissance du trafic automobile et routier ne paraît pas pouvoir être compensée par une réduction suffisante des consommations unitaires des véhicules, ni par un transfert vers d'autres formes d'énergie, ni par un transfert modal suffisant. La production de CO₂ des autres pays développés devrait évoluer dans les mêmes proportions, et celle des pays émergents varier de manière encore beaucoup plus rapide.

Dès lors que les risques de changements climatiques importants pourraient être fortement stimulés par la production de gaz à effet de serre, notre capacité à limiter cette production constitue un défi majeur à relever dans le siècle à venir.

Dans la perspective du sommet mondial de KYOTO et la suite de celui de RIO, les quinze viennent d'arrêter des objectifs : la France, faible productrice de CO₂ par tête du fait de son parc de centrales nucléaires (mais pas à cause des transports) se voit assigner un objectif de stabilité des émissions par habitant à l'horizon 2010, alors que d'autres pays devront faire des efforts importants (Allemagne - 25 %, Royaume-Uni - 10 %).

La situation de la France n'est pourtant pas aussi bonne qu'il y paraît.

En effet, il n'est pas sûr que le principe posé par l'UE, (celui de la convergence des émissions par habitant) qui nous est favorable, soit accepté au niveau international (par les USA notamment), comme semble le confirmer la récente réunion de New-York. Nos deux constructeurs automobiles ont pris en septembre 1996 l'engagement de réduire la moyenne pondérée des émissions de CO₂ des voitures particulières neuves, immatriculées en 2005, à un chiffre inférieur ou égal à 150g/km. Leur objectif est de conforter la position de la France, lors même que notre marché automobile des véhicules neufs est celui dont l'émission de CO₂ est la plus basse parmi les grands pays européens, avec 162 g/km en 1995.

A plus long terme, l'avantage relatif de la France est lié à la place qu'occupera l'énergie nucléaire dans le pays : si cette place était remise en cause, par exemple à cause de la difficile question du stockage des déchets et du démantèlement des premières centrales, l'effort réel qu'il conviendrait de faire pour atteindre un tel objectif serait accru d'autant.

A plus court terme comme à long terme, le secteur des transports sera sollicité pour améliorer ses performances puisque les transports pèsent, chez nous, un poids plus important dans les émissions de CO₂ que dans les autres pays : stabilisation de leur production est le ressort principal d'un progrès en matière d'émission de CO₂.

3 - Doit-on freiner la mobilité ?

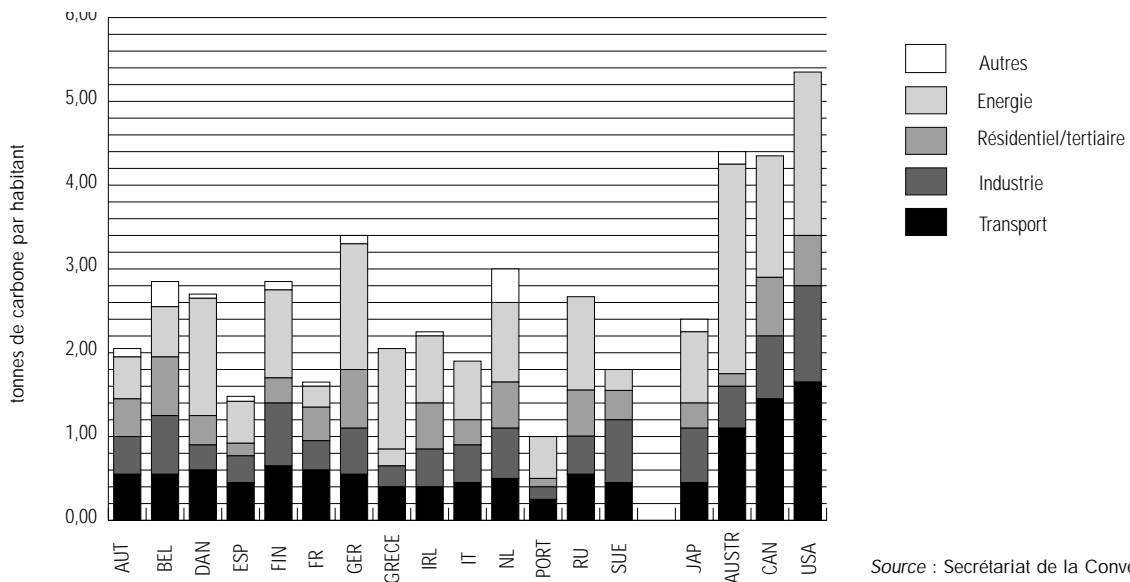
La croissance de la circulation (et donc de la mobilité) doit-elle alors être freinée en particulier pour certains usages notamment urbains ? C'est certainement un débat qui ne fait que commencer dans notre pays. Les perspectives élaborées dans le cadre du SNADT en hypothèse moyenne (qui inclut une hausse sensible du prix du carbu-

rant de + 23 % entre 1992 et 2015) conduisent à une croissance de 48 % des Kms parcourus entre 1990 et 2010 (et de 60 % si l'on se projette en 2015). Sur la même pé-

riode, l'efficacité énergétique des parcs ne progresserait que de 12 %, compensant dans la même proportion l'effet mécanique de la croissance des trafics. (figure n° 3).

FIGURE N° 3

ÉMISSIONS DE CO₂, LIÉES À L'ÉNERGIE PAR HABITANT DE DIVERS PAYS DE L'OCDE (année 1990)



Source : Secrétariat de la Convention Climat.

Tous les pays se penchent sur des scénarios d'évolution à cet horizon. D'après une étude récente (Réf.5), nos voisins immédiats envisagent ou préconisent des évolutions moins rapides que nous ne le faisons en ce qui concerne la mobilité « voyageurs », c'est-à-dire des politiques de transports et d'aménagement urbain moins axées sur la voiture individuelle. A l'inverse, leurs pronostics en matière de déplacement de marchandises par route sont généralement plus forts que les nôtres, compte tenu du fort développement des échanges intereuropéens qu'ils prévoient. Un approfondissement de ces études comparatives de prospective de la mobilité dans les différents pays seraient fort utile (figure n° 4). Une approche plus intégrée des questions de transport, d'urbanisme et d'aménagement du territoire apparaît indispensable au niveau opérationnel comme à celui de la recherche.

4 - Le problème des ressources énergétiques

En fait, cette question rejoint celle des sources énergétiques : depuis plusieurs décennies, la question de l'épuisement des ressources de pétrole et de gaz accessibles et du renchérissement de leur coût revient périodiquement à l'ordre du jour. Les projections les plus catastrophiques où l'ensemble de la planète rejoindrait, dans le courant du prochain siècle, les niveaux de consommations actuels d'énergie fossile des pays les plus développés et les plus consommateurs (Amérique du Nord) ne peuvent être émises sans que l'on s'interroge sur la capacité à satisfaire une telle demande en termes de ressources et sur leur conséquence en termes de prix de l'énergie : l'accroissement de ce prix, lié au coût de la ressource mais aussi à la fiscalité, réduirait alors les demandes, et générerait

TABLEAU 1
EVOLUTION DES INDICES DE CIRCULATION ET DE PERFORMANCES DE VÉHICULES
UTILISÉS DANS LE CADRE DE L'EXERCICE D'ÉVALUATION DU SNADT

INDICE	1990	1995	2000	2005	2010	2015
circulation (base véhicules km)	100	110	120	132	145	159
émissions moyennes du parc (base g/km)						
CO2	100	97	93	91	88	86
CO	100	57	24	13	12	11
COV	100	61	25	12	11	11
NOx	100	80	48	31	29	28
Particules	100	128	109	81	75	72

Source : SES/DAEI/MELIT

TABLEAU 2
ÉVOLUTION DES CIRCULATIONS PAR TYPE DE VÉHICULES EN FRANCE

CIRCULATIONS (en milliards de ven-km)	Scénario médian (le prix moyen des carburants augmente de 23 % entre 1992 et 2015)				Augmentation des circulations		
	1990	1995	2000	2010	2000 1995	2010 1995	Pour- centage
VP Total	341	373	408	489	35	116	43
VP Essence	257	225	226	269	1	44	5
VUL Essence	26	17	17	22	- 1	4	- 18
VUL Total	66	76	87	115	11	39	74
VP Gazole	84	148	182	220	34	72	162
VUL Gazole	40	59	71	93	12	35	134
PL Gazole	29	31	34	41	3	10	43
Tous véhicules	436	480	530	645	49	165	48

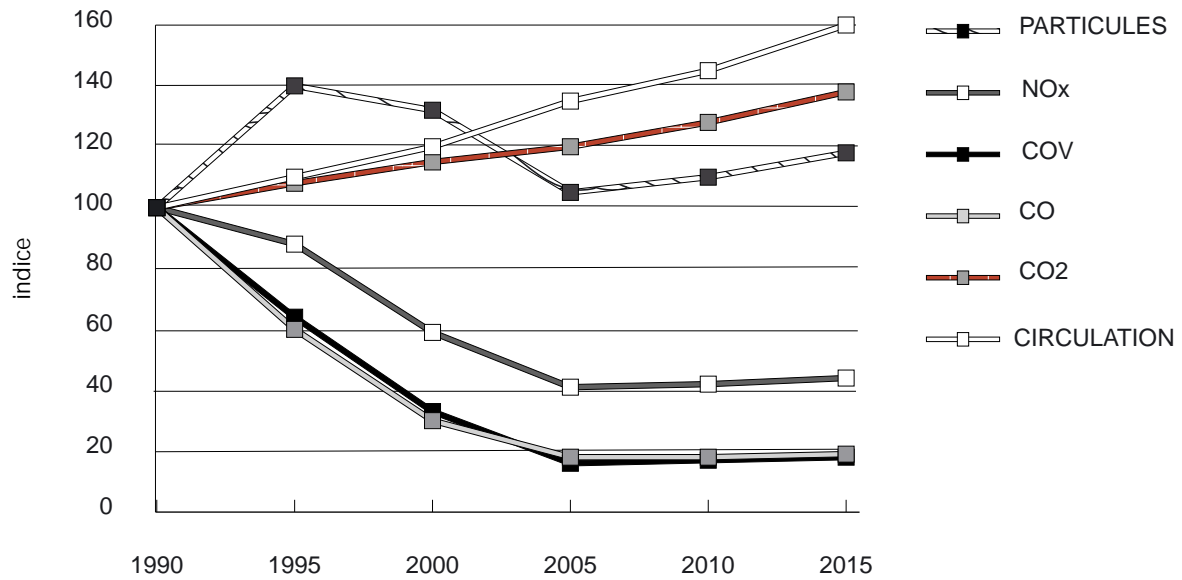
Source : travaux du groupe énergie 2010-2020 du CGP.

TABLEAU 3
INDICES D'ÉVOLUTION DES MOBILITÉS SELON LES SCÉNARIOS ET LES PAYS (INDICES PAR RAPPORT À 1990)

Pays Modes de transport	Allemagne (2010)		Pays-Bas (2015)	Grande-Bretagne (2015)	Suisse (2015)
	Hypothèse moyenne	Hypothèse forte	Fourchette d'évolution	Fourchette d'évolution	Hypothèse moyenne
Mobilités voyageurs					
● Routier (VP)	118	130	[122-134]	111-146	127
● Chemin de fer	183	141	[121-140]	210-90	233
● T C urbains	158	127	[145-16à]		
Mobilités marchandises					
● Routier (PL)	130	199	[140-145]	182-225	195
● Chemin de fer	259	187		300-70	175

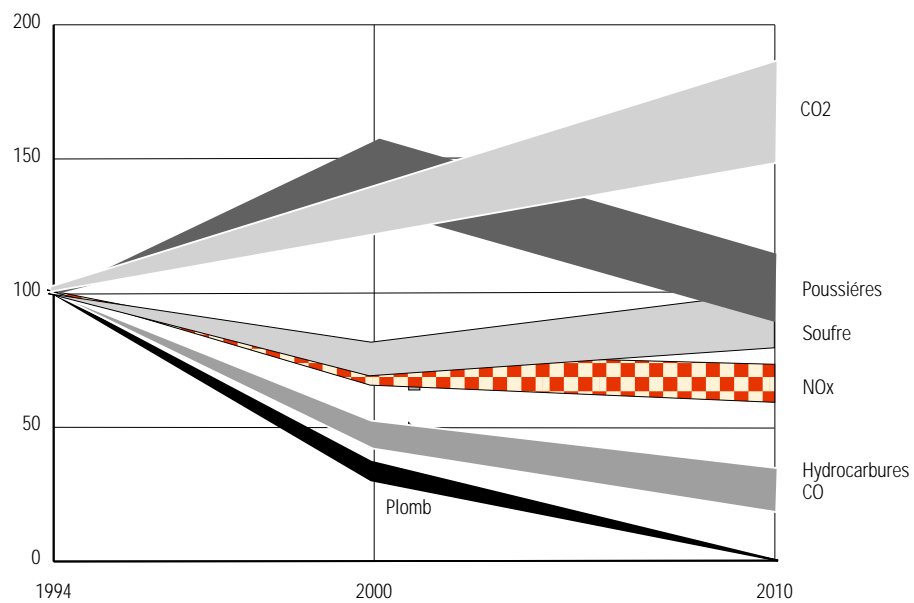
Source : Etat comparatif de la recherche prospective sur la mobilité DRAST/CPVS/TETRA - novembre 1996.

FIGURE N° 4
COMPARAISON DES PRÉVISIONS D'ÉVOLUTION DES REJETS POLLUANTS DE LA CIRCULATION AUTOMOBILE
À L'ÉCHELLE NATIONALE



Source : SNADT.

FIGURE N° 5
ÉVOLUTION DES ÉMISSIONS DANS LA RÉGION LYONNAISE



Simulation réalisée sur l'agglomération lyonnaise ENTPE LET

probablement des progrès techniques allant bien au-delà de ce que nous imaginons aujourd'hui (efficacité énergétique des machines thermiques, énergies alternatives).

Cependant, en l'état actuel des connaissances scientifiques la seule énergie aisément substituable en

abondance aux carburants fossiles reste l'énergie nucléaire. Le débat sur la lutte contre l'effet de serre renvoie donc à une question non moins difficile, celle de la maîtrise technologique (déchets, risques) et politique (dissémination) du nucléaire et enfin, aux recherches sur la fusion nucléaire.

IV. Conclusions

Des réflexions précédentes se dégagent donc les conclusions suivantes :

1 - Le débat sur la question de la pollution atmosphérique et de ses effets sur la santé publique gagnerait en clarté avec un dispositif de surveillance renforcé : suivi des niveaux de certains polluants (particules fines, ozone et des précurseurs, benzène...) et études épidémiologiques (voir la loi sur l'air).

2 - Un effort de recherche spécifique devrait être entrepris pour réduire les émissions de Nox et de particules. L'avenir des moteurs diesels et des moteurs à essence à mélange pauvre, qui présentent un net intérêt en matière de consommation et de production de CO₂, en dépend. A un effort sur les moteurs devrait répondre un effort sur les carburants.

3 - Il convient à l'évidence de privilégier l'usage de véhicules propres (émission zéro) notamment électriques, ou gaz, ou hybrides, dans certaines zones sensibles. Les efforts pour en développer le marché, améliorer les performances et réduire les coûts d'usage doivent être encouragés.

Ces trois points font d'ailleurs l'objet de programmes de recherche dans le cadre du PREDIT.

4 - Le contrôle technique des véhicules (en particulier des plus anciens) est, et restera, un enjeu très important. Avec la sévèrisation progressive des normes, nous sommes, et serons pour de nombreuses an-

nées en présence d'un parc hétérogène où une minorité de véhicules anciens et souvent défectueux produit l'essentiel de la pollution.

5 - Les études épidémiologiques et les recherches techniques sur la qualité de l'air intérieur des bâtiments devraient davantage mobiliser la communauté scientifique au même titre que la pollution atmosphérique (extérieure).

6 - La production croissante de gaz à effet de serre et notamment de CO₂ par les transports est un sujet d'inquiétude très sérieux pour le long terme. Dans l'immédiat, elle est directement liée au volume de circulation et à l'efficacité énergétique des moteurs thermiques. La forte croissance de mobilité et les baisses beaucoup moins rapides des consommations unitaires ne permettent pas d'entrevoir à l'horizon de 10 à 20 ans une inversion de la tendance. Une relance des recherches sur l'efficacité énergétique des moteurs est nécessaire. Les constructeurs français se sont engagés sur des objectifs de réduction des émissions de gaz carbonique à l'horizon 2005. La mise en oeuvre de cet engagement est soutenu par le PREDIT.

7 - L'enjeu des énergies alternatives pour les transports (à condition qu'elles ne reviennent pas à déplacer le lieu d'émission de CO₂) est évidemment très grand. Il n'est pas irréaliste de penser à des progrès sensibles dans ce sens à l'échéance de plusieurs décennies surtout si des

contraintes internationales ou (et) un redressement du prix du pétrole viennent stimuler l'effort d'innovation. Les travaux en cours sur les batteries et piles à combustibles entrent dans cette perspective. L'avenir de l'énergie nucléaire (et pas seulement en France) reste une question clé.

8 - Un ralentissement de la croissance des mobilités en véhicules produisant des gaz à effet de serre apparaît, à cet égard, souhaitable (elle réduirait d'ailleurs d'autant les émissions des autres polluants). Il repose sur les politiques (décentralisées pour la plupart) de déplacements (organisation et tarification) et d'aménagement (notamment de la maîtrise de la périurbanisation) dont les objectifs économiques ou sociaux sont plus larges.

9 - Les recherches sur les véhicules et systèmes de transport faiblement polluants ne doivent pas se limiter aux besoins des « pays du Nord » :

même si les marchés sont de plus en plus mondiaux, il faut sans doute rechercher des solutions bien adaptées aux besoins des pays du Sud ou émergeant (en coût, en simplicité de fonctionnement ou de maintenance).

10 - Le développement de l'effet de serre et la probabilité de changement climatique apparaissent, malgré les efforts entrepris pour les limiter, en partie inévitables. Il faut alors s'interroger sur les évolutions à faire subir dans les techniques de construction des ouvrages bâtis : réflexion sur les normes et les techniques constructives pour les rendre plus aptes à résister à des phénomènes climatiques violents (précipitations, vents) à l'instar des techniques de constructions anticycloniques (qui intéressent déjà certaines régions du monde) ; développement de techniques de lutte contre les inondations et pour d'autres régions contre des pénuries d'eau douce.

ANNEXES

SOCIÉTÉ FRANÇAISE DE SANTÉ PUBLIQUE MAI 1996

« La pollution atmosphérique automobile et la santé publique : bilan de 15 ans de recherche internationale »

Rapport de la Société française de santé publique (mai 1996)

Synthèse du rapport

Treize ans après la publication d'un rapport sur l'« impact médical des pollutions d'origine automobile » dirigée par le professeur André Roussel, la Société Française de santé publique a souhaité actualiser ce travail afin de rendre disponible un « état de l'art » sur cet important problème de santé publique. Elle a bénéficié, pour ce faire, du concours d'une vingtaine d'experts de différentes disciplines scientifiques et techniques, y compris des industriels concernés (Renault, Rhône-Poulenc, Union Française des Industries Pétrolières), et du soutien des ministères chargés de la Santé, de l'Environnement et des Transports, ainsi que de la collaboration de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur Sécurité, de l'Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Energie et de l'Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique.

Cette synthèse exprime l'essentiel des résultats de la mission conduite pendant deux ans. Pour une compréhension détaillée de ce texte, il convient de prendre connaissance du rapport complet.

Pollution atmosphérique et santé

Grâce aux progrès de l'épidémiologie et à l'avancée remarquable des connaissances toxicologiques depuis une quinzaine d'années, on sait à présent avec certitude que santé et pollution atmosphérique urbaine sont liées, aujourd'hui, dans nos grandes cités, même à des niveaux de concentrations relativement modestes respectant les « normes » actuelles de la qualité de l'air. La question est de savoir quelle est la part de ce risque représentée par les effluents automobiles.

Les polluants inhalés par les citoyens ne sont pas toujours spécifiques du trafic automobile. C'était le cas du plomb, dont les teneurs ont été sensiblement réduites dans l'air avec l'introduction de l'essence sans plomb et le développement de l'usage du gazole. C'est encore le cas du monoxyde de carbone et du monoxyde d'azote, remarquables traceurs de la pollution automobile de proximité. A un moindre degré, c'est le cas du dioxyde d'azote et, de plus en plus, des particules fines en suspension – les fumées noires furent l'indicateur historique des processus de combustion des énergies fossiles – dont la nature et la nocivité ont évolué avec la progression très rapide du parc de véhicules diesel.

Ces différents polluants – et bien d’autres – sont habituellement présents ensemble dans l’atmosphère en milieu urbain et connaissent souvent des évolutions parallèles, appréciées par les capteurs de surveillance de la qualité de l’air. Leur effet propre est donc difficile à discerner. Aussi, c’est par la conjugaison des travaux expérimentaux, sur matériel cellulaire, sur l’animal ou chez l’homme, et d’investigations épidémiologiques en milieu professionnel ou en population générale, que le savoir sur l’impact biologique et sanitaire de ces polluants a pu progresser. En effet, alors que l’approche épidémiologique est irremplaçable pour analyser la nocivité de l’air pollué dans les circonstances et aux concentrations de la vie courante, notamment pour des sujets les plus vulnérables (enfants, personnes âgées, malades), cette discipline ne permet pas formellement d’affirmer la nature casale des associations révélées entre niveaux de pollution et état de santé. Ce sont les connaissances toxicologiques acquises en laboratoire (y compris sur des volontaires humains) qui confèrent alors une grande « plausibilité biologique » aux associations mises en évidence par l’épidémiologie, et apportent les arguments de la démonstration.

Plusieurs exemples témoignent de la pertinence de cette conjugaison des approches scientifiques. Ainsi, le constat que le nombre d’hospitalisations pour cause cardiaque varie parallèlement à la teneur environnementale en CO est en cohérence avec la physiopathologie hypoxiante de ce gaz, démontrée expérimentalement. De même, les particules fines qui pénètrent profondément dans les poumons, se trouvent associées aux admissions hospitalières pour causes respiratoires, au développement de manifestations irritatives chez l’enfant et à l’usage de broncho-dilatateurs par les asthmatiques, ou encore à la mortalité générale respiratoire et cardio-vasculaire. La physiopathologie de l’agression particulaire n’est pas très bien connue, mais la saturation des mécanismes de défense joue sans doute un rôle important, les effets s’observant avec une uniformité surprenante dans des contextes d’émission variés, c’est-à-dire avec des natures particulières différentes. Un effet possible de sensibilisation chez l’asthmatique est également suggéré par les études sur l’immunité chez diverses espèces animales. Les études épidémiologiques sur l’ozone sont convaincantes, en particulier du fait que ce polluant varie de manière relativement indépendante des autres, dans le temps et dans l’espace. A court terme, il est associé à des manifestations inflammatoires de la muqueuse respiratoire, à une baisse de la fonction respiratoire, observations tout à fait conformes aux acquis des connaissances expérimentales sur ses puissantes propriétés oxydantes.

En raison de la multiplicité des polluants respirés dans l’air, dont la nocivité reste mal connue pour beaucoup, et qui sont par ailleurs souvent difficiles à mesurer, les quelques composés qui apparaissent « responsables » d’une incidence accrue de troubles respiratoires doivent plutôt être considérés comme des indicateurs de la qualité de l’air, parfois aussi comme des marqueurs d’une source de pollution complexe. Par exemple, la question se pose de savoir ce que représente l’indicateur dioxyde d’azote en atmosphère urbaine. Bien que les études toxicologiques et expérimentales montrent la toxicité à forte concentration de ce polluant, de type oxydant, les résultats des études épidémiologiques ne sont pas aussi probants. De même, les indicateurs ozone, dioxyde de soufre et sulfates particuliers doivent-ils vraisemblablement être considérés comme représentant une classe de polluants (oxydants ou acido-particulaires, respectivement), même s’ils peuvent aussi avoir une nocivité propre. Les interactions parfois observées entre les effets des différents polluants dans certaines études expérimentales (dioxyde de soufre/dioxyde d’azote, dioxyde de soufre/particules ou dioxyde d’azote/ozone...) pourraient expliquer que les associations entre les symptômes respiratoires et ces indicateurs de pollution, appréciés dans les études épidémiologiques, puissent varier quantitativement d’une étude à l’autre dans les conditions de la vie courante.

Rôle de l'automobile

La pollution d'origine automobile peut-elle être mise en cause dans de telles atteintes de la santé, la pollution urbaine ne lui étant bien évidemment pas entièrement imputable ?

Pour répondre à une telle question, quelques études montrent des relations directes entre santé et intensité ou proximité du trafic. En particulier, les symptômes de la maladie asthmatique seraient pour partie liés à l'importance de l'exposition au trafic automobile. Certains auteurs suggèrent aussi que l'incidence des cancers pourrait être augmentée par l'exposition au trafic. Ces études, cependant, demandent à être confirmées, du fait de leur faible nombre et de limites méthodologiques.

Dans le cas des études se basant sur la pollution urbaine générale, issue de diverses sources, il faut considérer l'importance de la contribution automobile. Les progrès de la prévention des émissions ou de leur dépollution dans l'industrie et, parallèlement, la forte augmentation du trafic en agglomération ont eu pour conséquence une part croissante de l'origine automobile dans les émissions urbaines de polluants, et encore plus dans l'exposition de la population des villes, en raison de la proximité de la source et de phénomènes de dispersion horizontale et verticale des polluants. Cette part de la source automobile dans l'exposition de la population ne peut pas encore être estimée précisément pour un grand nombre de polluants, en raison des limites actuelles des techniques de mesure, de la surveillance de la pollution urbaine et des connaissances sur le budget espace-temps des citadins. Bien qu'elle varie d'un site à l'autre, selon l'importance du trafic et des autres sources, elle est aujourd'hui majoritaire pour le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures monoaromatiques, les particules fines et le plomb atmosphérique, et minoritaire pour le dioxyde de soufre. Elle est difficile à apprécier pour les polluants secondaires tels que l'ozone, l'aérosol acide et les aldéhydes.

Pour apprécier l'exposition des citadins, il faut également considérer des espaces dans lesquels, si les séjours sont habituellement d'une durée relativement brève, les concentrations des polluants émis directement par les véhicules peuvent être considérables. L'habitacle des voitures ralenties par des embouteillages, les parkings en sous-sol ou les tunnels et leur immédiate proximité apparaissent des lieux de haute concentration des polluants. Malgré les efforts considérables des industries automobile et pétrolière pour réduire les émissions unitaires de chaque véhicule – efforts couronnés de succès importants – la croissance continue du trafic, avec un lent renouvellement du parc, absorbe tout (pour les particules) ou partie (pour les composés organiques volatils, par exemple) de ces gains technologiques. L'air est-il de ce fait plus pollué qu'il y a vingt ans ? Sans doute pas, en masse, mais ce mélange complexe a pour caractéristique d'être souvent émis à proximité immédiate des voies respiratoires de la population générale. Deux améliorations sensibles sont à souligner. La baisse notable des teneurs atmosphériques pour le plomb est à consolider, car il n'y a pas de seuil reconnu pour les effets du plomb sur le développement psychomoteur de l'enfant. Le monoxyde de carbone est lui aussi en baisse, tendance qui devrait, selon toute logique, s'accroître en raison de l'extension du parc de véhicules à essence catalysés. Cependant, l'aggravation du risque cardiaque existe même pour de faibles teneurs et localement, notamment en des lieux confinés ou mal ventilés (parkings, tunnels), on peut observer des teneurs encore excessives. Si le trafic a tendance à se stabiliser dans le centre des plus grandes agglomérations, il se reporte sur la périphérie.

Partant de l'estimation de la contribution des transports et des relations connues entre expositions et manifestations sanitaires, il est possible pour

certaines effets d'évaluer le risque attribuable à l'automobile. Cet exercice de « caractérisation du risque », reposant sur quelques hypothèses simplificatrices et des extrapolations, est la méthode aujourd'hui communément reconnue pour évaluer quantitativement les conséquences de la pollution atmosphérique d'origine automobile en termes de santé publique. Les évaluations de risque ainsi obtenues donnent un ordre de grandeur de l'importance des conséquences de cette exposition, et donc des bénéfices que l'on pourrait tirer d'une diminution de celle-ci.

Les variations de la mortalité respiratoire et cardio-vasculaire qui ont été observées à de nombreuses reprises en liaison avec les fluctuations de la pollution acido-particulaire permettent, par exemple, d'estimer raisonnablement que de l'ordre de 150 à 250 décès anticipés annuels pourraient être évités dans l'ensemble des agglomérations de plus de 250 000 habitants (19,5 millions d'habitants), par une réduction de 20 % de la pollution particulaire d'origine automobile, pour une contribution des transports estimée de 50 à 80 % de l'exposition aux particules fines, selon les sites. Cet effet sur la mortalité, s'il frappe les esprits, n'est pourtant pas forcément le plus pertinent du point de vue de la santé publique car il concerne une population vulnérable, dont l'espérance de vie ne serait que modestement raccourcie. Une autre estimation permet d'avancer l'ordre de grandeur de 5 à 6 000 hospitalisations annuelles pour épisodes aigus respiratoires (soit de l'ordre de 2 % des hospitalisations pour affections respiratoires) en liaison avec la pollution particulaire d'origine automobile dans les grandes cités françaises. Ces conséquences sanitaires, sources de gênes et de souffrances, se traduisent aussi par d'importantes dépenses sociales.

Certains micro-environnements fortement pollués par la proximité du trafic sont vraisemblablement à l'origine d'une aggravation de leur état chez les personnes souffrant d'angine de poitrine, sans que l'on dispose encore aujourd'hui en France d'informations suffisantes sur l'exposition pour quantifier cet impact. D'autres effets à long terme, connus par la toxicologie animale et l'observation de populations professionnellement fortement exposées, n'ont pas été mis en évidence de façon indubitable sur la population générale, là encore en raison d'une mauvaise connaissance de l'exposition des groupes et des individus. Par exemple, la part prise par la pollution d'origine automobile dans l'incidence des cancers en population générale n'est pas connue alors que le benzène est classé « cancérigène certain pour l'homme », plusieurs autres polluants « cancérigènes probables pour l'homme » (1,3 butadiène, formaldéhyde, benz [a] anthracène, benzo [a] pyrène et dibenz [a, h] anthracène), tandis que l'effluent diesel dans son ensemble est considéré comme « cancérigène probable pour l'homme » et l'effluent essence « cancérigène possible pour l'homme » par le Centre International de recherche sur le cancer. Des estimations sur l'impact des émissions automobiles sur la fréquence des cancers sont publiées dans des pays proches du nôtre, disposant de données d'exposition plus nombreuses.

D'une façon générale, pour les effets à long terme (cancers, mais aussi révélation d'un terrain potentiellement allergique ou troubles chroniques de la fonction respiratoire), la mesure ou l'estimation d'une exposition cumulée est pour l'instant nettement insuffisante, rendant l'épidémiologie impuissante à quantifier d'éventuels effets. L'expérimentation animale est également plus difficile à conduire pour ces effets différés, et ses enseignements sont souvent délicats à extrapoler à l'espèce humaine.

Polluants à surveiller en priorité

Étant donné les évolutions observées et prévisibles des teneurs ambiantes des différents polluants étudiés, il est possible d'identifier les problèmes de santé prioritaires ainsi que les polluants à surveiller particulièrement.

Ainsi les particules fines, régulièrement mises en cause pour de faibles teneurs dans la survenue de troubles respiratoires, d'épisodes asthmatiques, dans la modification de divers indicateurs d'activité sanitaire (consultations, urgences hospitalières...), et la mortalité cardio-vasculaire ou respiratoire, sont préoccupantes, d'autant plus que le développement du parc diesel a été notable en France au cours des dix dernières années. Les enfants sont particulièrement sensibles aux particules, tant sur le plan des manifestations irritatives inflammatoires que sur le plan de la fonction ventilatoire, sans que l'on puisse en évaluer les conséquences à long terme. Les potentialités mutagènes et cancérogènes de ces particules pour l'homme, connaissances qui reposent encore aujourd'hui essentiellement sur des expérimentations chez certaines espèces animales, doivent être explorées en priorité, ainsi que leur rôle dans la sensibilisation des sujets asthmatiques.

L'ozone, indicateur de pollution photo-oxydante, s'accumulant de préférence à la périphérie des agglomérations, est également un polluant préoccupant, en raison de sa nocivité avérée et des nombreux dépassements des seuils de surveillance. Le fait que ses variations spatio-temporelles soient relativement indépendantes des autres polluants confère un caractère très convaincant aux nombreuses observations épidémiologiques le concernant, en particulier ses liens avec la morbidité respiratoire inflammatoire et la sensibilisation des asthmatiques. Il est donc important de prévenir les émissions de précurseurs de l'ozone : monoxyde de carbone, oxydes d'azote et hydrocarbures volatils.

La présence dans les carburants de benzène, cancérogène certain pour l'homme, ne peut que rester préoccupante, même si les concentrations ambiantes moyennes sont sensiblement plus faibles que celles ayant été associées à l'apparition de leucémies en milieu professionnel. Les teneurs de l'ordre de 2,5 % de benzène dans les carburants peuvent conduire à des expositions brèves mais élevées à l'occasion du remplissage des réservoirs par les usagers. Les concentrations rencontrées dans les espaces confinés (parkings, tunnels) sont au-delà des marges de sécurité habituellement retenues pour appliquer les résultats d'études en milieu professionnel à la population générale. Il est vrai, cependant, que les séjours dans ces espaces sont de courte durée.

L'annonce par les pouvoirs publics de l'extension de l'addition des biocarburants ou d'autres composés oxygénés pourrait s'accompagner d'émissions accrues d'aldéhydes (irritants à de très faibles teneurs, et cancérogènes probables). Ces mesures ne devraient pas être mises en œuvre sans une surveillance accrue des émissions, notamment des aldéhydes, ni sans des travaux conduits pour aboutir à leur réduction.

S'il demeure des incertitudes, en l'état actuel des connaissances, sur la pertinence du dioxyde d'azote en tant qu'indicateur de risque sanitaire, il constitue un intéressant indicateur global d'émissions d'origine automobile. En outre, il joue un rôle important dans la photochimie de l'atmosphère.

Recommandations

Beaucoup de points restent encore obscurs concernant les relations entre la pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé. Ces lacunes portent selon les cas sur l'estimation de l'exposition des individus, la mesure de la nocivité des effluents, la compréhension des mécanismes de l'agression ou la quantification de l'impact sanitaire.

Ceci est dû en partie au fait que la surveillance par les réseaux de mesure permanente est encore insuffisante, malgré des progrès récents, en ce qui

concerne la couverture géographique et les polluants à surveiller. Des équipements mobiles de surveillance devraient compléter les réseaux fixes pour des études particulières (garages, tunnels, proximité de grandes voiries, inter-cités). L'amélioration de la stratégie d'implantation des capteurs des réseaux, ainsi que des études spécifiques, devraient, notamment permettre de mieux évaluer la part de la source automobile dans la pollution générale, et dans l'exposition des populations. L'effort devrait également porter sur le développement de modèles prédictifs des pointes de pollution, et de la distribution géographique des concentrations ambiantes. Les recherches sur la mesure ou l'évaluation de l'exposition de la population à la pollution d'origine automobile devraient aussi être promues.

La surveillance épidémiologique est aussi grandement insuffisante et devrait être développée, notamment à partir des statistiques de mortalité, des systèmes d'information des urgences hospitalières et ambulatoires, de l'activité en médecine de ville ou de consommation de médicaments. Cette surveillance permettrait de mieux quantifier l'importance des pathologies susceptibles d'être liées à la pollution atmosphérique d'origine automobile ou, directement, au trafic.

D'une manière plus générale, la recherche dans le domaine des relations entre l'environnement et la santé doit être renforcée en France. C'est le cas de l'approche toxicologique expérimentale qui devrait concerner en particulier les particules d'origine automobile et les mélanges de polluants. Enfin, l'épidémiologie orientée sur les groupes vulnérables, les effets à long terme, le coût médico-social de la pollution atmosphérique automobile, constitue aussi un champ disciplinaire indispensable pour éclairer l'action des pouvoirs publics et des acteurs économiques. Les priorités à cet égard portent sur l'impact à long terme de l'exposition aux particules fines et à l'ozone, notamment chez les enfants, avec un accent particulier sur le cancer et le développement de la maladie asthmatique. L'ensemble de ces recherches permettrait de développer l'utilisation de la méthodologie d'évaluation des risques appliquée au domaine de la pollution automobile.

S'étant efforcé d'être une fidèle expression de l'état actuel des connaissances, ce rapport compte donc de nombreuses zones d'ombre que les recherches scientifiques en cours contribueront progressivement à éclaircir. Malgré ces lacunes, les faits sont aujourd'hui suffisamment établis pour justifier un renforcement considérable des efforts de chacun visant à réduire la menace que constitue pour les habitants des grandes cités, et tout spécialement pour les personnes les plus fragiles, la pollution atmosphérique d'origine automobile. Il ne s'agit certes pas du principal problème de santé publique aujourd'hui en France. Mais il est bien identifié, son impact est loin d'être négligeable, ses causes sont bien cernées, ses solutions, enfin, de natures très diverses, sont bien documentées et, pour certaines, déjà mises en œuvre par les différents acteurs concernés, ici ou au-delà de nos frontières.

Nul ne peut donc se dispenser aujourd'hui de la salutaire obligation de réduire cette pollution, pas plus les citoyens conducteurs que les élus locaux, les milieux industriels que les responsables de la politique de l'Etat.

RAPPORT DE L'ACADÉMIE DES SCIENCES : « pollution atmosphérique due aux transports : les effets sur la santé et l'évolution technologique »

Rapport de l'Académie des Sciences (CADAS) (juin 1996)

L'examen critique de la situation concernant la pollution par les transports et son impact sur la santé humaine montre qu'il existe des lacunes de connaissance importantes. Concernant l'essence sans plomb et le gazole, deux résultats semblent, cependant, pouvoir être énoncés.

– Le supercarburant sans plomb permet l'utilisation de pots catalytiques, qui réduisent à des valeurs très faibles toutes les émissions de polluants à l'échappement des véhicules à essence actuels. En régime normal de fonctionnement : un moteur à essence catalysé récent ne semble pas avoir d'effets perceptibles sur la santé publique. Cependant, à la mise en marche du moteur, il faut quelques minutes avant que le catalyseur n'arrive à sa température de fonctionnement et que son efficacité croisse progressivement de zéro à sa pleine valeur. Cette période transitoire, autorisée par les normes actuelles, génère la majorité des émissions des moteurs catalysés en ville, où les trajets moyens sont courts. Des solutions existent pour réduire ce temps mort au départ, mais elles ne sont pas encore mises en œuvre pour les véhicules de série mis sur le marché en France.

– Le moteur diesel, fonctionnant au gazole, présente l'avantage de consommer moins que le moteur à essence, ce qui est un atout vis-à-vis de l'effet de serre. Il est par contre responsable de l'émission de particules fines mises en cause dans diverses pathologies respiratoires ou cardio-vasculaires et classées, comme l'ensemble des émissions de ce type de moteur, « probablement concérigènes ». La mise en œuvre de pots catalytiques d'oxydation, à partir de l'année prochaine, réduira certaines de ces émissions gazeuses ainsi que le désagrément des odeurs d'échappement, mais ne résoudra pas le problème des particules. Celles-ci ont par ailleurs tendance à être de plus en plus fines, ce qui les rend moins visibles, mais pas nécessairement moins nocives, car elles pénètrent plus profondément dans l'appareil respiratoire.

• Concernant les additifs et carburants de remplacement, un certain nombre de points peuvent être soulignés :

– L'ajout ou la substitution de produits oxygénés aux carburants pétroliers est apparu pour résoudre les problèmes spécifiques de certaines grandes villes américaines : l'émission d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés. Dans le contexte français, qui est différent, ces produits contribuent surtout à diminuer la pollution acide (puisque'ils ne comportent pas de soufre), permettent de réduire l'incorporation d'aromatiques et de benzène dans le carburant, enfin limitent l'émission de benzène (classé cancéri-

gène). Par contre, ils engendrent des aldéhydes, le méthyl-tertio-butyl-éther (MTBE) produisant le formaldéhyde – classé probablement cancérigène –, qui apparaît comme plus toxique que l'acétaldéhyde – classé potentiellement cancérigène – produit par l'éthyl-tertio-butyl-éther (ETBE). Ainsi, en France, l'intérêt qui s'attache à leur utilisation apparaît au mieux comme limité, et le risque lié à l'émission d'aldéhydes, mal connu, sera d'autant plus réduit que la proportion de ces composés oxygénés dans les carburants pour automobiles restera faible.

– Les gaz de pétrole liquéfiés (GPL) constituent un carburant d'excellente qualité, peu polluant, de même que le gaz naturel pour véhicules (GNV) avec lequel on peut obtenir un rendement énergétique voisin de celui du moteur diesel : pour des raisons de poids embarqué, le gaz naturel (GNV) concerne d'abord les autobus et les poids lourds, mais lorsqu'un réseau de distribution existe, il peut présenter également de l'intérêt pour les autres véhicules.

– La voiture électrique apparaît comme un excellent véhicule urbain. Une solution hybride permet de résoudre le problème de l'autonomie lié aux batteries : elle consiste à utiliser pour la propulsion des moteurs électriques alimentés par des batteries qui peuvent être rechargées lors des trajets extra-urbains grâce à un moteur thermique d'autant plus propre et économique qu'il fonctionne à régime constant et optimisé.

• On peut proposer dès maintenant un certain nombre de lignes d'action pour diminuer la pollution atmosphérique due au transport :

– en premier lieu, diminuer l'âge du parc : toute mesure aboutissant à rajeunir celui-ci et augmenter la part des véhicules à échappement catalytique à un impact direct sur la qualité de l'air. Ce rajeunissement présente un intérêt immédiat pour les véhicules à essence dont tous les modèles récents sont dotés de ports catalytiques performants. Dès que les véhicules diesel neufs seront dotés de ports d'oxydation, les mesures incitatives au renouvellement du parc seront d'autant plus utiles que la longévité de ce type de véhicule est plus grande que celle des véhicules à essence ;

– renforcer le contrôle de l'entretien des véhicules, y compris les véhicules utilitaires légers ou lourds ;

– favoriser l'usage bénéfique des GPL, par les flottes captives et les véhicules utilitaires légers, ainsi que l'usage du gaz naturel comprimé pour les poids lourds et les autobus ; promouvoir l'inscription des véhicules utilisant ces gaz liquéfiés ou comprimés au catalogue de base des constructeurs et supprimer certaines interdictions d'accès (certains parkings souterrains, etc.), injustifiées au regard de l'expérience accumulée, en particulier dans les pays étrangers (Italie, Pays-Bas) ;

– faire un effort majeur pour promouvoir le développement des véhicules électriques et des véhicules hybrides, en donnant aux investisseurs des raisons de croire au développement à terme du marché et en apportant, de manière transitoire, les aides nécessaires.

Conclusion

Aujourd'hui, des présomptions existent, pour relier la pollution liée aux transports à des effets sur la santé. En particulier, des études ont montré une association (avec un risque relatif faible) entre épisodes de forte pollution et effets sur la santé. Les résultats à long terme sont plus flous ; si aucune certitude n'est acquise aujourd'hui, c'est en premier lieu parce que ces effets à long terme, s'ils existent, sont d'une probabilité faible.

Pour accélérer le processus de diminution de la pollution due aux transports, qui s'effectue de façon « naturelle » par le renouvellement continu du parc de véhicules, des mesures concrètes ont été suggérées dans le *résumé pour décideurs* placé en tête de ce rapport.

En ce qui concerne la connaissance scientifique associée aux effets de cette pollution sur la santé, l'Académie des sciences et le CADAS considèrent qu'il faut progresser par un certain nombre d'études, pour appréhender de façon plus complète les éléments du problème :

- études toxicologiques et épidémiologiques, faisant, de façon claire, la part du tabagisme et de la pollution interne des habitations, et explorant l'éventualité que ce type d'exposition soit un facteur de sensibilisation à la pollution d'origine automobile ;
- études de biologie cellulaire visant à comprendre l'action d'un ou plusieurs polluants agissant simultanément sur des tissus animaux ou de préférence humains, les espèces pouvant réagir de façon très différente les unes des autres ;
- étude de la répartition en taille des particules diesel et de la composition spécifique des produits carbonés issus de la combustion (en particulier les hydrocarbures aromatiques polycycliques) selon la taille des particules ;
- développement d'une métrologie systématique de la qualité de l'air : accroissement du nombre et meilleure répartition des stations de mesure urbaines et péri-urbaines ; le réseau AIRPARIF constitue, même s'il n'est pas parfait, un des réseaux les plus performants en Europe. La spécialisation des hydrocarbures classés concérigènes (benzène) ou probablement cancérigène (HAP) et des aldéhydes (en particulier le formaldéhyde est dans le même cas) devrait devenir la règle ;
- développement d'un programme spécifique de métrologie fournissant des données permettant l'interprétation en termes d'exposition réelle des populations ; ce développement peut nécessiter l'usage de stations mobiles de métrologie, notamment pour mieux connaître les particularités locales et mieux apprécier l'éventail des niveaux de pollution suivant l'heure et le lieu ;
- développement de modèles numériques de la qualité de l'air, fondés sur une physicochimie réaliste et permettant d'exploiter les mesures en fournissant une aide à la décision : par exemple, pour des épisodes brefs de 2 ou 3 jours de pollution, est-il opportun de restreindre le trafic en cas de valeurs élevées d'oxydes d'azote NO_x , alors que cette même mesure serait inefficace pour des pics d'ozone O_3 ? ;
- enfin, comparaison des diminutions de pollution qui pourraient être obtenues par l'amélioration de la technologie des moteurs avec celles qui pourraient résulter d'une reformulation des carburants usuels, une fois acquise la diminution du soufre dans le gazole au 1^{er} octobre 1996.

Composition de la Commission de l'Académie des Sciences sur la qualité de l'air (CADAS)

Bernard TISSOT	Directeur général honoraire de l'IFP Membre correspondant de l'Académie des Sciences, Membre du Cadas Président de la Commission
Pierre FILLET,	Délégué général du CADAS, Représentant le Bureau Académie/Cadas
Michel PETIT,	Directeur Général adjoint (recherche) Ecole Polytechnique Membre correspondant de l'Académie des Sciences, rapporteur général
Michel AUBIER,	Chef de service (Pneumologie), hôpital Bichat
Philippe CHARTIER,	Directeur scientifique ADEME
Bernard DAVID,	Haut Commissariat à l'Energie Atomique
Pierre DEJOURS,	Membre de l'Académie des Sciences Centre d'Ecologie et physiologie énergétique, Strasbourg
Pierre EYZAT,	Membre du CADAS Directeur moteurs-énergie, ENSPM
Alain PEUGIER,	Directeur environnement, IFP
Jean-Louis FUNCK- BRENTANO,	Membre du bureau du CADAS Hôpital Necker Paris
Jacques LAMBROSO,	Directeur études médicales, EDF/GDF
Olivier PIRONNEAU,	Professeur, Université P. et M. Curie Dr. Laboratoire Analyse numérique
Emile QUINET,	Ecole nationale des Ponts et Chaussées, Associé du CADAS Conseil général des Ponts et Chaussées
Gérard THIBAUT,	Direction de l'Environnement, Ville de Paris
Maurice TUBIANA,	Membre de l'Académie des Sciences, Membre du CADAS Faculté de Médecine, Paris
Marcel BOHY,	Secrétaire scientifique

BIBLIOGRAPHIE

1. La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique - Bilan de quinze ans de recherche internationale
Société française de santé publique - mai 1996
(voir extrait annexe 1)
2. Pollution atmosphérique et transports - Académie des Sciences (CADAS)
Rapport d'étape juin 1996 (voir extraits annexe 2)
3. Annales des Ponts et Chaussées n° 79 -
Changement climatique août 1996 (notamment articles de Bert Bolin, André Berger, Robert Sadourny, Jean-Pierre Orfeuil)
4. Mobilité dans un environnement durable
Actes du colloque organisé par l'ATEC - novembre 1996 -
Presse de l'ENPC
5. Etat comparatif de la recherche prospective sur les mobilités
(France et étranger) DRAST CPVS/TETRA - novembre 1996
6. Travaux du Centre interprofessionnel d'étude de la pollution atmosphérique
(CITEPA)
7. Vers un refroidissement de l'Europe ? (un effet de serre accru pouvant
ralentir la circulation océanique)
Jc. Duplessy in la Recherche - février 1997
8. Effet de serre et changement climatique - Note de synthèse, mission
interministérielle de l'effet de serre - mars 1997
9. Livre de H. LE-BRAS « les limites de la planète »
Flammarion - collection champs - février 1996
10. L'environnement en France - édition 1994-95
IFEN - Dunod