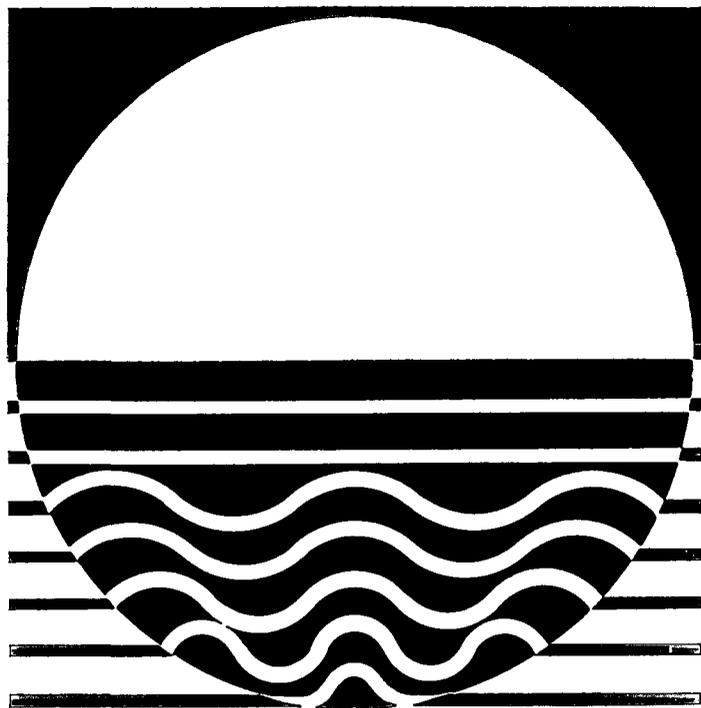


automobiles et pollution

pour un deuxième programme d'action



ENVIRONNEMENT

Cet ouvrage constitue le cinquantième volume de la collection « Environnement » dirigée par MM. Serge ANTOINE et Louis DOMINICI.

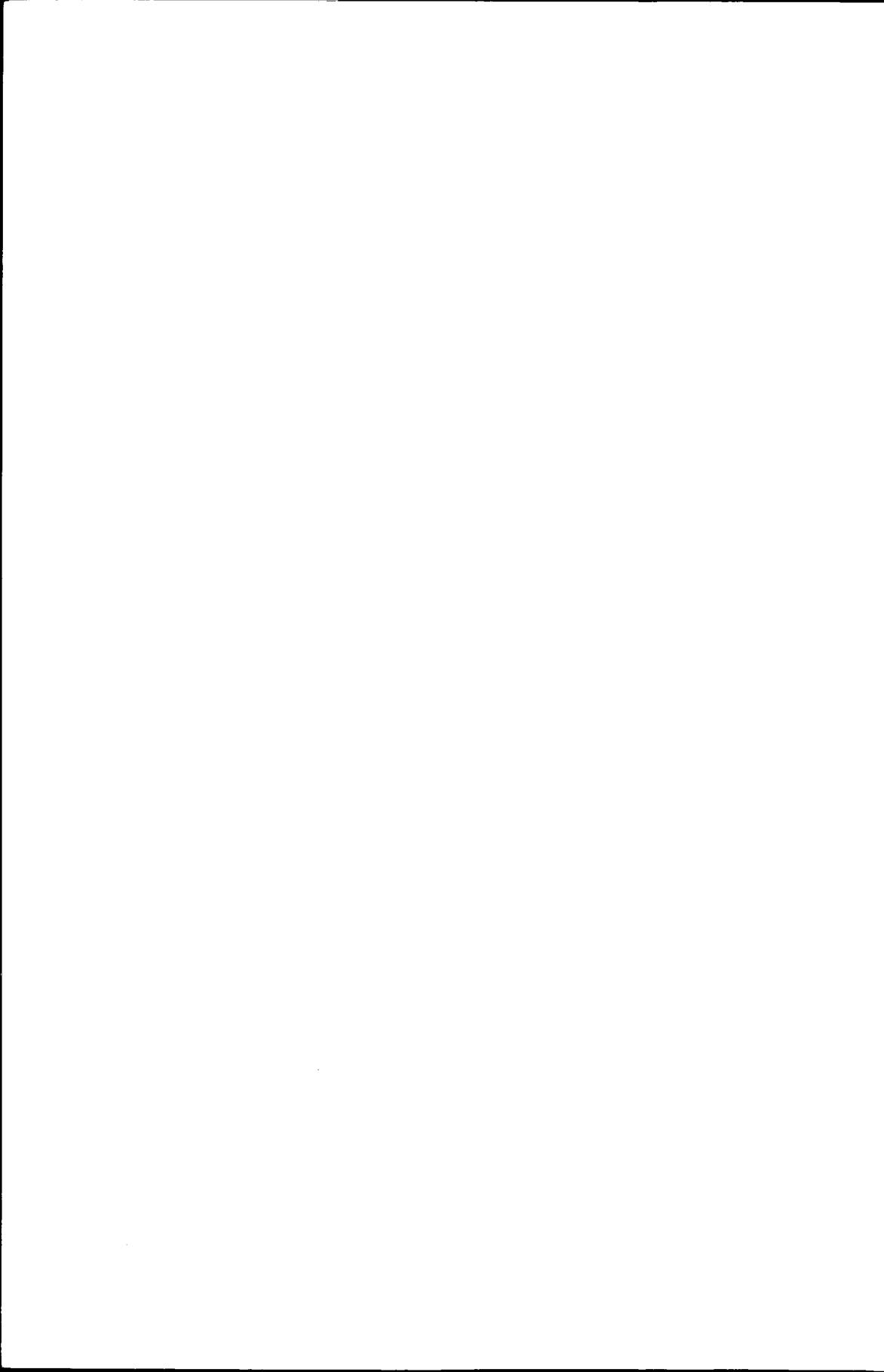
Il fait suite au rapport « Automobiles et Nuisances » publié en 1971 dans la même collection (n° 2).

Le lecteur trouvera en fin de volume la liste des ouvrages de la collection encore disponibles.

Rapport du groupe de travail créé pour actualiser les résultats dégagés, en 1971, lors de l'étude réalisée à la demande de Monsieur le Premier ministre.

sommaire

	Pages
1. Emissions des moteurs à combustion interne	9
1.1. Effets physiopathologiques des polluants de l'automobile	10
1.2. Niveaux de référence pour la qualité de l'air ambiant	17
1.3. Rappel de l'évolution de la réglementation française	18
1.4. Evolution des émissions depuis 1960	19
1.5. Prévision des niveaux de pollution futurs	21
1.6. Possibilités d'amélioration des émissions des moteurs à essence sans innovation technologique	26
1.7. Le problème du plomb	37
1.8. Le moteur Diesel et la pollution	39
 2. Les innovations technologiques	 44
2.1. Améliorations à moyen terme et généralisables à tout le parc ..	44
2.2. Améliorations à moyen terme applicables à des flottes spécia- lisées	45
2.3. Innovations à long terme	48
 3. Problèmes économiques	 55
3.1. Elasticité du marché	55
3.2. Influence sur la gamme automobile	57
3.3. Incidence sur la consommation d'énergie	57
3.4. Incidences générales	60
 4. Conclusions et propositions	 62
4.1. Orientations générales	62
4.2. Propositions relatives à la réglementation	62
4.3. Propositions relatives aux mesures des polluants dans l'atmo- sphère	63
4.4. Propositions relatives aux véhicules en circulation	64
4.5. Propositions de recherches	65
 Composition du groupe de travail	 72



INTRODUCTION

La pollution automobile s'est longtemps identifiée à celle du monoxyde de carbone, dont l'action sur l'homme est assez bien connue. L'apparition du brouillard oxydant, en Californie, a complètement modifié l'attitude de l'opinion et des pouvoirs publics. La liste des polluants s'est allongée et inclut, notamment, les oxydes d'azote qui agissent comme l'un des précurseurs dans l'apparition du brouillard oxydant.

En 1970, le Congrès des Etats-Unis fixa comme objectif de réduire de 90 % les émissions de polluants. Très vite, une polémique se développa avec les techniciens de l'automobile sur le réalisme de cet objectif et la date possible de sa mise en application. La difficulté rencontrée tenait, notamment, au caractère apparemment contradictoire des mesures susceptibles de diminuer les teneurs en monoxyde de carbone, reconnu unanimement comme un polluant, et de celles portant sur la réduction des oxydes d'azote, dont l'effet sur l'homme était moins évident.

Il importait que l'Europe précise sa politique; d'autant que la mise en cause des oxydes d'azote était liée, essentiellement, à l'apparition des brouillards oxydants non constatée, à cette époque, de ce côté-ci de l'Atlantique.

Un groupe de travail fut mis en place, en 1971, pour contribuer à préciser la position de la France vis-à-vis de nos partenaires européens et faciliter, ainsi, l'obtention d'un accord sur l'importance et le rythme des réductions d'émission à imposer par voie réglementaire.

Plutôt que de fixer, en dehors des limites de nos connaissances techniques, un objectif ambitieux à long terme, il a semblé au groupe préférable de procéder par étapes en faisant périodiquement le point des connaissances à la fois en matière de technique automobile et d'hygiène publique. On évitait, ainsi, des paris hasardeux qui pouvaient mettre en danger, soit la crédibilité d'une action réglementaire qui ne pourrait être menée jusqu'à son terme, soit la compétitivité de l'industrie automobile européenne et, ceci, sans réelle nécessité pour la santé publique.

Sans revenir sur les conclusions du rapport de 1971, publié à la Documentation Française, il suffit de rappeler que celles-ci furent adoptées par nos partenaires européens.

Depuis, des actions de recherche énergiques ont permis de faire progresser les connaissances dans ce domaine encore peu exploré de la protection de

l'environnement. Recherche technique et recherche médicale ont été menées de pair et des résultats substantiels ont été obtenus.

C'est pourquoi il a été décidé de créer un groupe de travail dont la mission, appuyée par le Haut Comité de l'Environnement, est d'actualiser les résultats qui avaient été dégagés en 1971.

Nous espérons que le présent rapport, publié six ans après, apportera également une contribution utile à l'adoption d'une politique européenne raisonnablement ambitieuse. Il faut, sans aucun doute, continuer à progresser dans l'amélioration de la qualité de l'air ambiant.

Pour ce qui concerne la pollution automobile, qui n'est qu'un élément de la pollution globale, un rendez-vous est d'ores et déjà prévu dans cinq ans pour fixer une nouvelle étape qui tiendra compte du progrès des connaissances. Dès maintenant, l'effort de recherche doit être renforcé d'autant que l'impératif d'économie d'énergie est venu compléter celui de la diminution de la pollution.



Ce rapport ne porte que sur la pollution des voitures particulières de grande diffusion, à l'exclusion des poids lourds et des flottes spécialisées ; le chapitre consacré au bruit sera disponible ultérieurement.

MINISTÈRE DE L'ÉQUIPEMENT

Direction des Routes
et de la
Circulation Routière

MINISTÈRE DE LA
QUALITÉ DE LA VIE

Secrétariat d'Etat
à l'Environnement

Paris, le 19 juillet 1976

Le Ministre de l'Équipement
Le Ministre de la Qualité de la Vie
à
Monsieur le Directeur
de l'Institut de Recherche des Transports

Le groupe de réflexion que vous avez animé en 1971 a fourni les éléments permettant de définir la politique française, dans le domaine de la réglementation des nuisances des véhicules, jusqu'en 1975 ; il est remarquable de constater que, compte tenu de l'ensemble d'éléments techniques et économiques dont était étoffé votre rapport, la politique française a été suivie au niveau européen.

Maintenant que les propositions que vous aviez faites en 1971 ont été suivies d'effet, il est nécessaire que le Gouvernement dispose des éléments qui lui permettent d'établir à l'horizon 1980, sa politique de réduction des nuisances. A cet effet, j'ai décidé la création d'un groupe de travail qui aura pour mission d'actualiser les résultats qui avaient été dégagés en 1971, c'est-à-dire :

- de mettre en évidence les évolutions qui se sont récemment produites en ce qui concerne le volume des nuisances actuellement créées par les véhicules automobiles à deux et quatre roues, et les perspectives qui en découlent ;
- de recenser les améliorations ou innovations technologiques actuellement envisageables pour réduire le volume des nuisances créées par les véhicules automobiles à deux et quatre roues, et d'évaluer leur coût et les résultats qu'elles sont susceptibles de permettre ;
- de proposer en conséquence, lorsqu'ils ne le sont pas déjà, les objectifs qu'il paraît raisonnable de fixer pour 1980 aux industries intéressées ; ou éventuellement au-delà de cette date lorsque les délais industriels de mise en œuvre appellent un long préavis (bruit des poids lourds par exemple) ;

- de recenser les mesures qu'il appartiendrait à l'Administration de prendre pour permettre l'obtention de ces objectifs ;
- d'évaluer les conséquences qui en résulteraient pour la qualité de l'environnement.

Ce groupe de travail, dont vous voudrez bien assurer la présidence, sera composé d'un représentant de chacun des ministères concernés (Equipement, Qualité de la Vie, Industrie et Recherche, Santé, Intérieur), et de représentants de l'industrie automobile française.

Compte tenu de l'importance économique des problèmes concernés, et de l'urgence qui s'attache à la définition d'une position nationale, je vous serais obligé de bien vouloir me faire part des conclusions de votre groupe de travail dans un délai de six mois en ce qui concerne la pollution atmosphérique et neuf mois en ce qui concerne le bruit. L'attention sera particulièrement portée sur les camions et motocycles.

Au cas où une position unanime n'aurait pu être établie sur certains points, il vous appartiendra d'indiquer les différentes opinions exprimées.

LE MINISTRE DE L'ÉQUIPEMENT,

Par délégation
Le Directeur des Routes
et de la Circulation Routière

Michel FÈVE

LE SECRÉTAIRE D'ÉTAT AUPRÈS
DU MINISTRE DE LA QUALITÉ DE LA VIE
(Environnement).

Pour le Secrétaire d'État
auprès du Ministre de la Qualité de la Vie
(Environnement)
et par délégation
(arrêté du 9 février 1976)
Le Directeur de la Prévention
des Pollutions et Nuisances

J.-F. SAGLIO

1. ÉMISSIONS DES MOTEURS A COMBUSTION INTERNE

La pollution de l'air par les gaz d'échappement des véhicules automobiles est, avant tout, un phénomène urbain dû à la concentration des voitures dans les villes, aux difficultés de la circulation et, bien évidemment, à la nature et à l'importance des polluants émis.

Ceux-ci sont effectivement très divers et comprennent le monoxyde de carbone, des hydrocarbures imbrûlés, des produits d'oxydation partielle, des oxydes d'azote, des oxydes de soufre, des dérivés du plomb, des particules solides ou liquides constituant les fumées et des composés mal définis caractérisés par leur odeur.

En 1968, une estimation faite aux Etats-Unis imputait aux véhicules à moteur environ 40 % des polluants de toutes provenances émis sur l'ensemble du territoire. Ce pourcentage devient beaucoup plus élevé dans les grandes agglomérations puisque, par exemple, dans le Comté de Los Angeles, les autorités ont évalué que, pour l'année 1973, les émissions de monoxyde de carbone, d'hydrocarbures et d'oxydes d'azote avaient représenté respectivement 97 %, 90 % et 70 % de toutes les émissions produites dans l'ensemble du Comté (industries comprises), et cela malgré les progrès réalisés depuis 1970.

En France, la part imputable aux véhicules à moteur est sensiblement plus faible, même en zone urbaine, par rapport à ce que l'on rencontre aux Etats-Unis. Néanmoins, l'accroissement régulier de la circulation, particulièrement dans les grandes banlieues et les grandes agglomérations de province, peut conduire, malgré les réglementations déjà mises en place, à des situations critiques.

En conséquence, et conformément aux directives données par le ministre de l'Équipement et le ministre de la Qualité de la Vie, le Groupe de travail a mené ses études suivant les axes ci-après :

- estimer les incidences de ce type de pollution sur la santé et le bien-être des individus ;
- dégager des « objectifs de qualité de l'air ambiant » qu'il importerait de ne pas dépasser compte tenu des connaissances scientifiques actuelles ;
- évaluer, en fonction des perspectives de circulation à long terme, les réductions d'émissions de polluants qu'il importerait d'obtenir des véhicules automobiles dans l'éventualité où les niveaux futurs prévisibles seraient trop élevés ;

- proposer, s'il y a lieu, une amélioration de la réglementation existante en tenant compte des résultats déjà obtenus ;
- étudier les progrès technologiques qui peuvent être envisagés et proposer, en conséquence, des améliorations techniques à court terme et des innovations à long terme permettant tout à la fois de réduire les émissions de polluants et de réduire la consommation énergétique des véhicules.

1.1. Effets physiopathologiques des polluants de l'automobile

Les effets physiopathologiques des principaux polluants des gaz d'échappement ont été étudiés dans un très grand nombre de pays (U.S.A., U.R.S.S., Grande-Bretagne, Japon, Allemagne, France, etc.) et ont fait l'objet de nombreuses réunions internationales, en particulier au sein de l'Organisation Mondiale de la Santé.

L'importance des travaux scientifiques relatifs aux effets physiopathologiques des polluants émis par l'automobile ne signifie pas, pour autant, que des réponses précises peuvent être fournies pour caractériser notamment l'action à moyen ou long terme de faibles doses de ces polluants sur l'organisme humain.

C'est la synthèse des informations disponibles qui est exposée brièvement pour présenter les conséquences biologiques du monoxyde de carbone, des oxydes d'azote, des hydrocarbures, des oxydants et du plomb présents dans l'environnement.

1.1.1. LE MONOXYDE DE CARBONE

L'importance des émissions provenant notamment des moteurs à allumage commandé a conduit à considérer le monoxyde de carbone comme le polluant témoin de la circulation automobile.

L'action biologique du CO est particulièrement bien connue. Son affinité avec l'hémoglobine du sang conduit à la formation de la carboxyhémoglobine, produit relativement stable qui réduit les quantités d'hémoglobine disponibles pour assurer le transport de l'oxygène aux cellules de l'organisme.

Les conséquences toxicologiques résultant d'une augmentation du taux de carboxyhémoglobine dans l'organisme intéressent principalement le système cardiovasculaire et le système nerveux central.

Pour caractériser l'influence de la pollution urbaine sur l'élévation du taux de carboxyhémoglobine ainsi que sur les systèmes cardiovasculaire et nerveux, de nombreuses expérimentations ont été réalisées.

Les résultats de ces études expérimentales font apparaître :

- un accroissement significatif de l'oxycarbonémie des sujets exposés ; cet accroissement peut conduire à des oxycarbonémies ayant une action toxicologique certaine chez les sujets qui pratiquent le tabagisme et chez les sujets atteints d'affections respiratoires ou cardiovasculaires ;
- une présomption d'augmentation de la fréquence des décès par infarctus du myocarde plus élevée chez les sujets exposés à la pollution urbaine.

Le CO entraînerait, pour des taux de carboxyhémoglobine de 4 à 5 %, une modification de l'électrocardiogramme d'effort ; l'action à long terme de ce polluant favoriserait le dépôt de lipides dans les artères ; cette fixation des graisses s'effectuant par un processus biocatalytique expliquerait l'influence du CO sur la recrudescence de l'infarctus du myocarde.

Les conséquences du CO sur le système nerveux central se traduisant par des manifestations électroencéphalographiques ne s'observeraient qu'à partir de taux de carboxyhémoglobine relativement élevés (4 à 5 %). Des recherches complémentaires sont nécessaires pour apporter des précisions à ce sujet.

Sur la base des données scientifiques disponibles, la Commission des Communautés Européennes a formulé une proposition de directives tendant à prévoir l'organisation d'une surveillance biologique de groupes de population non fumeurs. Cette proposition, qui ne définit pas de manière précise le type de population, peut se résumer comme suit :

- pour 100 % de la population, l'oxycarbonémie ne devrait pas dépasser 2 % ;
- pour 90 % des individus du groupe sélectionné, la limite serait de 1,4 % ;
- pour 50 %, la valeur de l'oxycarbonémie serait de 0,8 % ; cette dernière valeur correspond à la limite maximale de la carboxyhémoglobine formée à partir du monoxyde de carbone endogène (c'est-à-dire par l'organisme).

A titre d'exemple, pour que le taux de carboxyhémoglobine de 2 % ne soit pas dépassé dans la population, il serait nécessaire que cette population ne soit pas exposée à une concentration de CO supérieure à 48 ppm pendant une heure.

Ces quelques données suffisent à démontrer que les concentrations les plus élevées rencontrées dans nos agglomérations (rues étroites notamment) ou dans des circonstances particulières (tunnels, parkings souterrains, intérieurs des véhicules) sont susceptibles d'avoir des conséquences biologiques pour des populations à haut risque (insuffisances respiratoires, malades cardiovasculaires, enfants) ou pour les personnes dont la profession les place en contact avec cette forme de pollution.

1.1.2. LES OXYDES D'AZOTE

Les véhicules à moteur sont surtout à l'origine d'émissions de monoxyde d'azote (NO) et de dioxyde d'azote (NO₂) et le rapport $\frac{\text{NO}}{\text{NO}_2}$ élevé est un indicateur de la pollution automobile.

L'étude des conséquences biologiques des oxydes d'azote est plus récente que celle du monoxyde de carbone.

Cependant, les travaux de recherche expérimentale et les enquêtes épidémiologiques permettent de dégager les conclusions suivantes :

- les oxydes d'azote NO et NO₂ atteignent l'alvéole pulmonaire ;
- le monoxyde d'azote NO, peu soluble dans l'eau et peu agressif pour la muqueuse pulmonaire, présente la particularité, d'après des expériences in vitro, de se fixer à l'hémoglobine avec une affinité mille fois plus élevée que le monoxyde de carbone ; les expériences menées in vivo n'ont pas permis de confirmer une telle affinité mais ont mis en évidence la formation de nitroso-hémoglobine et de nitrosométhémoglobine ainsi que la transformation lente du NO en NO₂, puis en nitrate dans le sang (confirmé par les expériences in vitro sur l'hémoglobine humaine et animale) ;
- la vitesse d'oxydation du NO en NO₂ dépend d'un certain nombre de facteurs (humidité, température...) et cette oxydation modifie la pathologie observée dans le cas où le NO se transforme plus ou moins rapidement en NO₂ ;
- le dioxyde d'azote NO₂ est un agressif pulmonaire qui, à concentration élevée, entraîne l'apparition d'œdème du poumon et, à des concentrations plus faibles longtemps répétées, la bronchite chronique et l'emphysème pulmonaire ;
- dans le cas d'expositions à des doses comparables à celles rencontrées en période de pointe dans l'environnement, les oxydes d'azote ont des effets marqués mais réversibles sur la fonction pulmonaire (modification du collagène et de l'élastine) ;
- si la teneur en oxydes d'azote et en particulier en NO₂ venait à croître de façon importante, cela conduirait à des atteintes à la santé, en particulier vis-à-vis de la fonction pulmonaire et des moyens naturels de défense de l'organisme contre l'infection bactérienne.

Des investigations sont encore, cependant, nécessaires pour préciser les modalités d'action des oxydes d'azote ainsi que leur rôle dans le processus de formation des nitrates et des nitrosamines ayant des propriétés carcinogènes.

Il convient d'insister sur le fait que les résultats de la seule enquête épidémiologique réalisée à ce jour — (Chattanooga) — avaient conclu que des concentrations en NO₂ rencontrées en zone urbaine pouvaient avoir des conséquences sanitaires probables notamment sur des enfants d'âge scolaire. Ces résultats ont été fortement contestés car d'autres polluants agressifs n'avaient pas été pris en compte dans les effets constatés.

L'enquête épidémiologique française en cours devrait permettre d'apporter des éclaircissements sur ce sujet.

1.1.3. LES HYDROCARBURES

Les véhicules automobiles sont à l'origine d'émissions d'hydrocarbures légers qui ne semblent pas avoir, aux concentrations actuelles, d'effets directs sur la santé. Leur rôle est néanmoins primordial dans le processus de formation du brouillard photochimique dont les conséquences biologiques seront examinées ultérieurement.

Les véhicules sont également responsables de l'émission d'hydrocarbures polycycliques lourds (benzo 3 - 4 pyrène notamment) dont le pouvoir carcinogène a été mis en évidence au cours d'expérimentations sur l'animal.

Cependant, rien ne démontre que ces produits jouent un rôle appréciable dans la genèse du cancer du poumon aux quantités normalement présentes dans l'air.

Malgré tout, en raison de leurs propriétés carcinogènes, les émissions de ces produits dans l'environnement doivent être réduites de manière que l'ampleur du risque soit limitée. Les limitations devraient intéresser, en particulier, les véhicules à combustion interne.

1.1.4. LES OXYDANTS PHOTOCHEMISTIQUES

Indépendamment de leurs propriétés spécifiques, les hydrocarbures et les oxydes d'azote interviennent dans le processus de formation du smog photochimique.

La présence d'aldéhydes, d'acroléine et l'apparition d'ozone et de produits secondaires comme le nitrate de péricétyle dans l'atmosphère des zones urbaines occasionnent une gêne indiscutable à la population.

Outre qu'ils contribuent à réduire la visibilité et, par voie de conséquence, altèrent le bien-être et la sécurité des personnes, ces polluants ont des propriétés agressives observées dans les zones caractérisées par une climatologie et une topographie particulières. Ses effets se manifestent par une irritation non seulement oculaire pouvant aller jusqu'au larmoiement, mais aussi une irritation des muqueuses du nez, de la gorge et des oreilles dès que, dans ces polluants, la concentration en ozone dépasse 0,1 ppm.

Bien que cette concentration ait été dépassée, en certaines circonstances, dans des régions françaises où la pollution oxydante fait l'objet de mesures, il ne semble pas que les effets caractéristiques de Los Angeles aient encore été observés.

Il apparaît que l'ozone pris isolément n'a pas, aux concentrations rencontrées dans l'environnement, de conséquences sanitaires évidentes. Des modifications de la fonction respiratoire et des signes d'irritation rhinopharyngée apparaissent pour des concentrations horaires supérieures à 0,40 ppm. Ces symptômes augmentent sous l'effet d'exercices musculaires et en fonction de l'état sanitaire de la population. Des concentrations plus basses accroissent, en effet, le nombre de crises d'asthme chez les personnes atteintes de cette affection.

Par contre, son association avec d'autres polluants, et en particulier avec l'anhydride sulfureux SO_2 (concentration de 0,37 ppm pour chacun des 2 polluants), entraîne une altération de la fonction respiratoire et une importante irritation des muqueuses.

Les propriétés synergétiques de ces polluants ne sont probablement pas uniques et doivent faire l'objet d'une attention particulière liée au fait que le SO_2 est présent en quantité significative dans toutes les zones à forte densité d'habitation ou à vocation industrielle.

1.1.5. LE PLOMB ET SES DÉRIVÉS

L'accroissement de la consommation d'essence, qui contient des dérivés organiques du plomb (plomb tétraéthyle et plomb tétraméthyle), a contribué à favoriser la dispersion du plomb dans l'environnement.

Dans les conditions normales d'utilisation du véhicule, les émissions de plomb organique ne représentent qu'un faible pourcentage du plomb total retrouvé dans les gaz d'échappement ; ils n'ont pas, de ce fait, une signification toxicologique.

Le plomb minéral, qui se présente sous forme microparticulaire, est composé d'oxydes et d'halogénures de plomb. Sa granulométrie inférieure à 1μ laisse supposer un fort pourcentage de pénétration des particules dans l'alvéole pulmonaire ; ce pourcentage est, en tout état de cause, supérieur à celui du plomb d'origine industrielle.

Les conséquences sanitaires du plomb, toxique aux propriétés cumulatives, sont bien connues en médecine du travail. Il n'en est pas de même pour le plomb retrouvé dans l'environnement où l'impact sanitaire le plus important paraît se situer au niveau de la biosynthèse de l'hémoglobine. Le plomb inhibe, en effet, deux enzymes dont les sites actifs sont constitués par des groupements thiols : l'Ala déshydrase et l'Héme synthétase. Cette inhibition se traduit par l'accumu-

lation dans le sang et dans les urines de précurseurs de l'hème parmi lesquels on trouve l'acide delta aminolévulinique, les coproporphyrines dans les urines et les protoporphyrines dans les globules rouges.

Il semble que l'inhibition la plus sensible se situe au niveau de l'Ala déshydrase dont la baisse de l'activité enzymatique est, à ce titre, considérée comme l'un des reflets caractéristiques de l'imprégnation plombique de l'organisme.

La plupart des auteurs ont mis en évidence une corrélation négative entre la baisse de l'activité enzymatique et l'élévation du taux de plombémie. Cette plombémie, qui pose encore des problèmes de dosage, a été jusqu'alors considérée comme le témoin le plus fidèle de l'imprégnation saturnine.

Le plomb aurait, par ailleurs, des conséquences neurophysiologiques sur l'enfant qui constitue une cible privilégiée. Ces manifestations subcliniques se traduiraient, essentiellement, par un retard de l'intelligence et une hyperactivité.

Par ailleurs, la contribution directe de l'automobile à la contamination de l'organisme par le plomb représenterait 20 % de l'imprégnation globale par ce polluant dont l'apport essentiel est imputable aux denrées alimentaires.

Il faut, cependant, noter que le plomb déposé le long des routes et autoroutes est introduit dans la chaîne alimentaire et participe, ainsi, à la plombémie due aux denrées alimentaires, mais cette contribution est extrêmement faible.

En conséquence, des recherches sont encore nécessaires pour préciser les conséquences biologiques du plomb de l'environnement, l'importance de la contribution automobile et pour améliorer les méthodes de dosage du taux de plombémie.

1.1.6. L'AMIANTE

L'amiante imputable aux véhicules automobiles résulte de l'usure des garnitures de freins. On ne dispose guère de données sur la part qui incombe à l'automobile de la pollution de l'environnement par l'amiante.

Des recherches s'avèrent donc nécessaires pour évaluer l'importance des émissions provenant des garnitures de freins et apprécier l'impact sanitaire de l'amiante ayant cette origine.

1.1.7. ODEURS

Les odeurs représentent plus une gêne qu'un effet à proprement parler dommageable pour la santé. Elles contribuent, cependant, à altérer le bien-être de la population et leur rôle ne doit pas être, de ce fait, sous-estimé.

1.1.8. EFFETS SUR LA VÉGÉTATION ET LES MATÉRIAUX

Les effets les mieux connus actuellement aux teneurs rencontrées dans l'environnement sont ceux du brouillard photochimique oxydant sur la végétation et sur les matériaux. Mais des expériences récentes ont montré que le dioxyde d'azote, associé à du dioxyde de soufre, provoquait des effets sur la végétation.

Effets sur la végétation

Brouillard photochimique oxydant

Ce sont des dommages à des semences de pétunias qui ont constitué le premier indice de la présence d'oxydants à Sidney, la concentration enregistrée a été de plus de 0,14 ppm pendant 4 h. Le type particulier de lésion infligée à des légumes feuillus, à des plantes ornementales et herbacées a été étudié pour la première fois de façon détaillée aux Etats-Unis.

Les dommages sont si caractéristiques que certains pays, surtout les Etats-Unis et les Pays-Bas, utilisent certaines plantes sensibles comme indicateurs biologiques de la pollution photochimique de l'air (œillet, peuplier, platane, colza, laitue, radis).

Les renseignements que l'on possède montrent que des dommages facilement identifiables se produisent lorsque les niveaux oxydants se situent entre 0,1 et 0,2 ppm pendant 2 à 6 h. Les essais en laboratoire ont révélé que certaines plantes sensibles sont lésées à une concentration d'ozone aussi faible que 0,05 ppm pendant 8 h de nitrate de peroxyacétyle (PAN) de 0,02 ppm pendant 5 heures. On a constaté des lésions aux feuilles de certaines espèces sensibles lorsque la concentration de la totalité des oxydants est de 0,05 ppm pendant 4 heures.

Oxyde d'azote

Il a été montré que des mélanges de dioxyde de soufre-dioxyde d'azote à des concentrations comprises entre 0,05 et 0,25 ppm (soit 95 à 475 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ NO_2 et 130 à 650 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ SO_2) provoquaient des dégâts visibles sur différentes espèces végétales alors que les mêmes polluants agissant seuls à des concentrations 10 fois supérieures n'ont pas d'effet ; on assiste, d'une part à un abaissement considérable des seuils nécosants, d'autre part les dégâts obtenus sont d'un type nouveau (nécrose essentiellement limitée à la face inférieure des feuilles).

Effets sur les matériaux

La plupart des travaux relatifs aux effets des oxydants et de leurs précurseurs sur les matériaux ont été effectués aux Etats-Unis. L'ozone a fait l'objet d'une

attention particulière étant donné qu'il joue un rôle capital dans la détérioration de différents matériaux organiques apparemment beaucoup plus sensibles à l'attaque de l'ozone que les êtres humains ou les animaux.

Ainsi, le caoutchouc naturel se fissure après avoir été exposé plus d'une heure à 0,02 ppm ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) d'ozone tandis que certains caoutchoucs synthétiques ne se fissurent qu'après avoir été exposés pendant un an à 0,05 ppm ($100 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

1.2. Niveaux de référence pour la qualité de l'air ambiant

Les épisodes de smog photochimique oxydant dans la région de Los Angeles, où les polluants ont principalement pour origine l'automobile, se sont traduits par un certain nombre d'effets comme l'irritation oculaire chez l'homme, les dommages à la végétation, la réduction de la visibilité... Ces effets n'ont pas encore été observés en France, du moins avec une grande ampleur, mais des campagnes de mesures réalisées sur la façade méditerranéenne qui ont mis en évidence la présence dans l'air de produits oxydants doivent inciter à être prudent et vigilant.

Les phénomènes observés rendent nécessaires une amélioration et un approfondissement des connaissances scientifiques sur les effets des différents polluants de l'automobile sur les différentes cibles exposées (êtres vivants, végétation, matériaux...) ainsi que des effets de synergie qui apparaissent comme très importants.

La fixation de normes de qualité de l'air ambiant prescrivant, par la voie de moyens juridiques contraignants, les niveaux de polluants ou nuisances à ne pas dépasser dans ce milieu, semble être un moyen séduisant de protéger l'environnement.

Conformément au programme d'action des Communautés Européennes en matière d'environnement, l'élaboration de telles normes de qualité constitue le terme d'une démarche préalable visant, notamment, à définir des critères, c'est-à-dire des relations entre l'exposition d'une cible (être humain ou tout autre élément sensible du milieu) à un polluant ou une combinaison de polluants ou une nuisance et l'effet défavorable ou indésirable qui en résulte, ces critères permettant eux-mêmes de définir :

- des niveaux de protection de base tels que toute cible ne soit exposée à un danger inacceptable ;
- des niveaux à effet nul tels qu'aucun effet identifiable ne soit causé à la cible.

Si la définition de tels critères, et donc celle de telles normes de qualité avec la rigueur scientifique requise, s'avère encore impossible en général, l'état

actuel de nos connaissances autorise, cependant, la détermination de ce que l'on peut appeler « des niveaux de référence de qualité », certes plus ou moins imparfaits, mais sur lesquels peut s'appuyer l'élaboration d'un programme d'actions.

En tout état de cause, l'absence de normes de qualité de l'air ne dispense pas de prescrire des normes d'émission pour les véhicules et des normes de produit (carburant).

1.3. Rappel de l'évolution de la réglementation française

La réglementation française comporte actuellement trois types de contrôles :

- émission des gaz de carter ;
- teneur en monoxyde de carbone des gaz d'échappement au régime du ralenti ;
- quantités globales de gaz polluants émis lorsque le véhicule décrit un cycle de fonctionnement représentatif des conditions de circulation en Europe dans les zones urbaines aux heures d'encombrement.

L'évolution de la réglementation s'est faite selon le processus suivant :

1.3.1. L'arrêté du 28 juillet 1964, relatif aux émissions de gaz de carter, a limité la quantité d'hydrocarbures contenue dans ces gaz à 0,15 % du poids du combustible consommé.

1.3.2. L'arrêté du 31 mars 1969, relatif à la limitation de la teneur en monoxyde de carbone des gaz d'échappement des véhicules automobiles émis au régime du ralenti, a limité cette teneur à 4,5 % (en volume). Une modification importante a été apportée pour les véhicules mis en circulation à partir du 1^{er} octobre 1976 ; elle a pour effet de contrôler, quel que soit le réglage du ralenti qui puisse être fait par un opérateur ne disposant pas d'outils spéciaux, que le taux de CO reste inférieur à la limite prescrite.

1.3.3. L'arrêté du 31 mars 1969, relatif à la composition des gaz d'échappement émis par les véhicules automobiles équipés de moteur à essence, fixe les quantités maximales de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures qui peuvent être émises pendant un cycle de mesures dénommé « cycle européen ». Cet arrêté a été appliqué à tous les véhicules mis en circulation après le 1^{er} septembre 1972.

1.3.4. L'arrêté du 16 janvier 1975 a modifié l'arrêté du 31 mars 1969 dans le sens d'un abaissement respectif de 20 % et de 15 % des quantités maximales

de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures émises pendant le « cycle européen ». Cet arrêté est appliqué à tous les véhicules mis en circulation après le 1^{er} octobre 1975.

1.3.5. Ces règles sont celles qui figurent dans le règlement n° 15 de la Commission Economique pour l'Europe et dans la directive du 20 mars 1970 de la Communauté Economique Européenne modifiée par la directive du 28 mai 1974 qui porte modification à celle du 20 mars 1970.

1.3.6. Une décision a été prise, en juin et juillet 1976, pour introduire dans ces deux réglementations internationales une mesure des oxydes d'azote (NOx) émis sur le cycle Europe ; cette modification, qui a été publiée à Genève et à Bruxelles en mars 1977, a été introduite dans la réglementation française par l'arrêté du 4 octobre 1977 et se trouve applicable aux véhicules réceptionnés par type à dater du 1^{er} octobre 1977 et à tous les véhicules mis en circulation à dater du 1^{er} octobre 1980.

Les valeurs limites permises à l'homologation sont croissantes avec le poids de référence (Pr) du véhicule (poids du véhicule en ordre de marche majoré de 120 kg) et sont reportées dans le tableau ci-après :

Poids de référence kg	Monoxyde de carbone g/essai	Hydrocarbures g/essai	Oxydes d'azote g/essai
Pr ≤ 750	80	6,8	10,0
750 < Pr ≤ 850	87	7,1	10,0
850 < Pr ≤ 1 020	94	7,4	10,0
1 020 < Pr ≤ 1 250	107	8,0	12,0
1 250 < Pr ≤ 1 470	122	8,6	14,0
1 470 < Pr ≤ 1 700	135	9,2	14,5
1 700 < Pr ≤ 1 930	149	9,7	15,0
1 930 < Pr ≤ 2 150	162	10,3	15,5
2 150 < Pr	176	10,9	16,0

1.4. Evolution des émissions depuis 1960

La pollution atmosphérique par les véhicules automobiles n'a fait l'objet d'études particulières, en France, comme dans la plupart des pays, que depuis 1958. A partir de cette date, les pouvoirs publics et les milieux industriels ont porté à ce problème un intérêt croissant et, depuis 1960, l'industrie a fait des efforts importants pour améliorer la combustion et diminuer les émissions de

polluants et a utilisé tous les moyens de la technique pour se mettre en conformité avec les réglementations prévisibles ou en vigueur. Aussi, constate-t-on une nette diminution des deux polluants principaux émis par les moteurs à allumage commandé qui sont le monoxyde de carbone et les hydrocarbures imbrûlés, comme le montre le tableau ci-après où les émissions 1970 ont été prises comme base 100 :

	Emissions				Répartition des émissions 1975
	1960	1970	1972	1975	
CO					
Echappement	118	100	60	48	
HC					
Gaz de carter	29,6	7,4	7,4	7,4	12,9
Evaporations	18,5	18,5	18,5	18,5	32,2
Echappement	74,1	74,1	37,1	31,5	54,9
Total	122,2	100	63	57,4	100
NO _x (ordre de grandeur) .		100	110	115	

Avant le 1^{er} octobre 1977, il n'a pas été procédé pour les homologations à la mesure des émissions d'oxydes d'azote mais les mesures systématiques conduites régulièrement montrent que la diminution des émissions d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures a été acquise au prix d'une augmentation des émissions d'oxydes d'azote.

Dans le tableau qui précède, les estimations sont basées sur les valeurs réglementaires et sur les taux estimés des réductions, généralement admis, des limites 1972 par rapport à la situation antérieure 1970.

Les valeurs 1960 ont été estimées en fonction de divers perfectionnements apportés aux moteurs entre 1960 et 1970, d'une part, et des études faites sur les véhicules pendant les mêmes périodes aux U.S.A. et dans des pays d'Europe, d'autre part.

Il existe assez peu d'informations relatives aux émissions des véhicules en circulation :

— si l'on considère que les émissions sont égales à celles relevées lors de l'homologation du prototype, il faudrait adopter des valeurs inférieures au tableau du paragraphe 1.3.4. (et parfois inférieures de près de 50 %) ;

— si, au contraire, on considère que les émissions peuvent atteindre les valeurs prévues pour le contrôle de production (limites d'homologation augmentées

d'une tolérance de 20 % pour le CO et de 30 % pour les HC) alors il faudrait admettre que les émissions des véhicules en service peuvent être supérieures à celles du tableau du paragraphe 1.3.4.

1.5. Une prévision des niveaux de pollution futurs

Pour évaluer la sévérisation nécessaire dans les années à venir, sur les taux d'émission des polluants par les gaz d'échappement des véhicules automobiles, pour améliorer la qualité de l'air, il a été procédé de la manière suivante : l'accroissement de l'intensité de la circulation a été estimé, en 1985, dans les différents types de zones urbaines : Paris intra-muros, sa banlieue (petite et grande couronne), les grandes villes de province et en particulier Lyon.

Compte tenu des résultats d'une étude et des conséquences de l'application des règlements déjà promulgués, il a été possible d'évaluer les niveaux futurs de l'air ambiant.

1.5.1. EVOLUTION DU PARC ET DE L'INTENSITÉ DE LA CIRCULATION ENTRE 1975 ET 1985

Au niveau national, le parc des voitures particulières et commerciales devrait passer de 15,8 millions de véhicules en 1975 (14,6 millions de voitures particulières, 1,2 million de véhicules commerciaux) à 22,6 millions en 1985 (20,5 millions V.P., 2,1 millions V.C.) soit une progression de 43 %.

Rappelons que ce même parc s'élevait, en 1971, à environ 13 millions de véhicules particuliers.

Pour Paris intra-muros, la circulation ne devrait augmenter que de 10 % entre 1975 et 1985 si l'on encourage l'utilisation des transports en commun.

Pour la banlieue parisienne, l'accroissement de la circulation sera de l'ordre de 35 % environ alors que dans les centres de province, et en particulier dans Lyon, il sera de l'ordre de 18 %.

Enfin, pour les zones périphériques en cours d'urbanisation, le trafic augmentera nettement plus que la moyenne nationale mais sans conduire à des niveaux de pollution identiques à ceux que l'on rencontrera dans les zones concentrées.

Le calcul a également tenu compte, d'une part de la réduction de la vitesse moyenne et de l'effet correspondant sur les émissions et, d'autre part, de l'extension de la durée des périodes de pointe dans la journée (*)

1.5.2. ÉVOLUTION DES NIVEAUX DE POLLUTION DUE AU MONOXYDE DE CARBONE A L'HORIZON 1985

Les prévisions d'accroissement de circulation dans les zones urbaines ont permis de calculer les quantités émises et de déterminer, en fonction de l'urbanisme existant, les niveaux de pollution futurs. Pour cela on a tenu compte des réductions du taux limite d'émission qui sont intervenues en 1972 et en 1976 et du renouvellement du parc urbain dont le taux se situe à environ 10 % par an.

Hypothèses sur les indices d'émission de CO

Année	Indice	Observations
Avant 1972	170	
1972	100	Réduction de 40 % par rapport aux années précédentes.
1976 (H ₀)	80	Réduction de 20 % par rapport à 1972.
1980 H ₁	80	Maintien de la norme 1975.
H ₂	65	Réduction de 35 %/1972.
H ₃	50	Réduction de 50 %/1972.
1985	?	Propositions ultérieures.

(*) L'hypothèse consiste à considérer que la répartition temporelle entre heures de pointe et heures creuses passera de 30 - 70 % en 1975 à 45 - 55 % en 1985, le trafic en heure de pointe étant égal au double du trafic en heure creuse.

Résultats pour Paris intra-muros (105 km²)

Le tableau ci-dessous indique l'ensemble des résultats :

Indicateurs		Situation	1975	1985 (H ₁)
Emissions de CO en heure de pointe du soir	En tonnes		89	57
	En tonnes/km ²		0,85	0,54
	Indice		100	64
Teneur moyenne en CO sur l'ensemble du réseau urbain exprimé en ppm	En heure de pointe du soir		16,5	10,5
	Diurne (6 h - 20 h)	En ppm	10,8	7,6
		Indice	100	70
% de la population de façade exposée à un seuil fixé pendant l'heure de pointe	15 ppm		29	23
	35 ppm		16	2

La réglementation actuelle (1976) apparaît suffisante pour qu'en 1985 le niveau de pollution soit inférieur de 30 % au niveau actuel.

Une réduction de 35 % par rapport à 1972 sur les émissions des véhicules sortis après 1980 conduirait à une diminution de 38 % des niveaux de pollution actuels. Une réduction de 50 % par rapport à 1972 sur ces mêmes véhicules amènerait une diminution de 45 %.

Résultats pour la banlieue parisienne

Dans la petite et grande couronne (2 000 km²), là où la circulation s'accroît plus fortement, on obtient les résultats suivants :

Indicateur		Situation	
		1975	1985 (H ₁)
Emissions de CO en heure de pointe du soir	En tonnes	100	169
	En tonnes/km ²	217	0,085
	Indice	0,11	78

On constate, par rapport à Paris, que les niveaux de pollution sont nettement moins élevés (dans un rapport de 1 à 8 en 1975, seulement 1 à 6 en 1985). Sans doute faudrait-il tenir compte non pas de la surface totale de la banlieue parisienne mais de sa surface urbanisée ou de la population en façade ce qui réduirait l'écart avec Paris.

Cependant, la réglementation actuelle permettrait non seulement de ne pas dépasser la situation 1975 mais de l'améliorer de plus de 20%.

Grandes villes de province. Cas de Lyon (45 km²)

Compte tenu de l'accroissement du trafic, on obtient les résultats suivants pour le centre de cette ville (30% du réseau) :

Indicateurs		Situation		
		1975	1985 (H ₁)	
Emissions de CO en heure de pointe du soir	En tonnes	5,9	4	
	En tonnes/km ²	0,97	0,66	
	Indice	100	68	
Teneur moyenne en CO sur l'ensemble du réseau urbain exprimé en ppm (1) ..	En heure de pointe du soir	14,5	10	
	Diurne (6 h - 20 h)	En ppm	9,5	7,3
		Indice	100	77
% de la population de façade exposée à un seuil fixé en heure de pointe ..	15 ppm	28	26	
	35 ppm	7	0	

(1) Ces teneurs ont été calculées avec un vent de 1 m/s.

On peut constater encore que la réglementation actuelle est suffisante non seulement pour maintenir en 1985 les niveaux de pollution de 1975 mais pour l'améliorer d'un peu plus de 20 %.

Une réduction de 35 % par rapport à 1972 sur les émissions des véhicules sortis après 1980 conduirait à une amélioration de 30 % environ par rapport à 1975. Avec 50 % de réduction des émissions par rapport à 1972 sur ces mêmes véhicules, on aboutirait à une amélioration de 40 % environ.

1.5.3. CONCLUSIONS ET REMARQUES

Il semble donc que la réglementation actuelle conduira à une amélioration de la qualité de l'air en zone urbaine en 1985. Toutefois, ces prévisions « moyennes » sont à prendre avec grande prudence tant sont nombreux les paramètres à prendre en compte pour les établir ; elles ne donnent qu'une tendance sans doute optimiste à moyen terme.

En effet, cette conclusion est le résultat d'un certain nombre d'hypothèses concernant les évolutions de trafic et les émissions automobiles.

On ne commentera pas les variations de trafic qui ont été évaluées par les services responsables en tenant compte de la priorité donnée aux transports en commun.

Par contre, les évaluations relatives aux émissions de polluants appellent quelques remarques :

— on n'a pas tenu compte de la dégradation des performances des véhicules en fonction de la durée de vie ; on peut, cependant, supposer que tous les véhicules construits entre 1972 et 1985 suivent le même processus de vieillissement, aussi cela n'est pas intervenu dans les calculs ;

— dans ce document, les calculs sont basés sur les valeurs d'émissions réglementaires qui sont les suivantes (base 100 en 1972) :

Véhicule antérieur à 1972 : émission \simeq 170.

A partir de 1972 : émission \simeq 100 (— 40 %/avant 1972).

A partir de 1976 : émission \simeq 80 (— 20 %/1972).

En fait, dans la pratique, les constructeurs européens ont devancé les réglementations 1972 et 1975 en ce sens que :

— en 1973, et *par rapport à la norme 1972*, sur 73 véhicules neufs homologués, 85 % émettaient moins de 80 % de la quantité limite de CO et 34 % émettaient moins de 60 % ;

— en 1975, et par rapport à la norme 1972, sur 114 véhicules neufs homologués, 33 % émettaient entre 60 et 80 % de la quantité limite de CO fixée en 1972, 32 % émettaient de 50 à 60 % et 34 % émettaient moins de 50 %.

L'hypothèse considérant qu'une éventuelle sévérisation de la norme de l'ordre de 10 à 20 % ne conduirait pas obligatoirement à un abaissement du même ordre sur les émissions de tous les véhicules vendus mais pourrait ne concerner que 33 % des modèles proposés n'a pas été prise en compte dans ce document. En effet, il est admis que les progrès concernent tous les véhicules.

Par ailleurs, plus que l'augmentation du trafic en heure de pointe, l'allongement de la durée de la pointe paraît être un facteur déterminant pour l'appréciation de la nuisance réelle subie par les populations. A cet égard, les tableaux du § 1.5.2. montrent que la baisse prévue de la teneur moyenne en CO est plus importante au cours de l'heure de pointe que pendant la période diurne : sur la base de l'indice 100 en 1975, les incides 64 et 70 sont ceux respectivement prévus en heure de pointe et en période diurne à Paris en 1985 ; pour Lyon les indices précédents deviennent 69 et 77. La diminution prévisionnelle des indices de pollution en 1975 et 1985 par période de huit heures serait peut-être encore moins élevée que celle des indices relatifs à la période diurne mais ce calcul n'a pas été possible vu les trop grandes incertitudes accompagnant les hypothèses sur la répartition des heures de pointes, entre 6 h et 20 h.

1.6. Possibilité de réduction des émissions des moteurs à essence sans innovation technologique

Les possibilités de réduction des émissions résident essentiellement dans la préparation du mélange, la qualité de l'alimentation et celle de la combustion, et dans le traitement des gaz d'échappement.

Les courbes de formation des polluants montrent que la teneur en CO et HC évoluent dans le même sens, en fonction du rapport air/essence, aussi leurs réductions seront donc traitées en même temps.

1.6.1. MOYENS POUR RÉDUIRE LES ÉMISSIONS DE CO ET HC

Les modifications du moteur

Deux catégories de solutions sont possibles en appauvrissant de plus en plus le mélange, tout en conservant au moteur un fonctionnement stable.

Solutions pour mélanges pauvres

Certaines solutions ont déjà été appliquées pour une première réduction des polluants en 1975 (— 20 % en CO, — 15 % en HC).

Ce sont :

- pour le dosage : carburateur à système de départ très précis ; tolérances plus serrées en fabrication ; amélioration des réglages et des systèmes de progression ;
- pour la répartition : amélioration du dessin des tubulures admission ; réchauffage de l'air à l'entrée du filtre à air ; réchauffage des tubulures admission ;
- pour la combustion : réduction des tolérances des systèmes d'allumage ; modifications des diagrammes et des lois de distribution.

En améliorant encore et en ajoutant de nouveaux dispositifs tels que :

- carburateur à réglage unitaire ;
- carburateur à pulvérisation plus fine ;
- système « décel » ;
- réchauffage plus rapide du mélange carburé ;
- turbulence augmentée à l'admission ;
- allumage à déclenchement électronique,

il est possible d'espérer des réductions de CO — 35 %, HC — 25 % (par rapport à la norme 1972).

Pour certains moteurs, les modifications précitées suffisent ; pour d'autres, il sera nécessaire d'aller plus loin dans les modifications à cause de la dispersion des différents paramètres technologiques entre les types de moteurs.

Des modifications de ce genre entraîneraient un accroissement du coût de l'ordre de 1 à 2 % (par rapport à un véhicule moyen 1975).

Solutions pour mélanges homogènes très pauvres

Les courbes de formation des HC montrent que, selon les moteurs la remontée en charge partielle n'est pas située au même endroit dans la zone d'instabilité.

De nombreux travaux de recherche sont donc actuellement en cours pour reporter plus loin cette zone d'instabilité et de remontée des hydrocarbures, ainsi que l'augmentation de la consommation, mais peu de résultats ont été jusqu'à présent publiés concernant ces recherches de fonctionnement en mélange homogène (le problème des mélanges hétérogènes ou stratifiés est traité par ailleurs).

Il paraît possible de réduire de façon notable le niveau de CO (de l'ordre de 50 %) et les HC (40 %), mais rien ne peut être encore affirmé.

Bien que ces solutions, pour la plupart, entraînent des modifications profondes de la chambre de combustion, et donc de la culasse du moteur, ainsi que des systèmes d'admission et des diagrammes de distribution, elles pourraient, si les essais d'endurance et de petite série de production en confirment la fiabilité, être applicables à de nouveaux moteurs. Par ailleurs, ces solutions nécessitent des tolérances de réglage et de fabrication très étroites.

Par contre, il n'est pas certain qu'elles soient transposables à tous les moteurs existants, et il est encore trop tôt pour établir un bilan financier des charges qu'elles imposeraient.

Ce ne sont certainement pas des solutions possibles pour le court terme (1980).

Distribution variable

Des dispositions susceptibles de s'ajouter à celles qui précèdent sont actuellement à l'étude.

Elles consistent à faire varier le croisement des soupapes et la loi de levée de ces dernières en fonction du régime moteur et de la charge. De tels dispositifs permettent d'améliorer les performances à haut régime tout en conservant aux faibles charges une bonne stabilité de fonctionnement et une facilité d'adaptation aux mélanges pauvres.

Le coût d'un tel dispositif est évalué au minimum à 2% du prix du véhicule (véhicule 1975) pour une réduction des émissions évaluée à 40 % pour CO et 30 % pour HC avec un gain de consommation compris entre 2 % et 5 %.

Le traitement des gaz d'échappement - la post-combustion

Il existe, actuellement, deux types distincts de systèmes de post-combustion :
— la post-combustion non catalytique,
— le réacteur catalytique.

La post-combustion non catalytique

Le principe de la post-combustion non catalytique repose sur l'oxydation plus ou moins complète des gaz d'échappement.

D'un point de vue technologique, cela nécessite soit une simple addition d'air dans les tubulures d'échappement, soit un système plus complexe appelé réacteur thermique.

L'addition d'air a une efficacité très faible lorsque le moteur fonctionne en mélange pauvre. Par contre, en mélange riche ou stœchiométrique l'efficacité augmente, bien que le démarrage de la post-combustion soit aléatoire sur un cycle d'essai de type urbain.

Ce dispositif dont l'efficacité est de l'ordre de 40-45% par rapport au niveau 1972 s'accompagne d'une augmentation de prix de 2 à 3,5% par rapport aux véhicules 1975 et d'une augmentation de consommation de l'ordre de 5%.

Le réacteur thermique est placé très près de la sortie du moteur : c'est une capacité dans laquelle les gaz chauds pourront séjourner assez longtemps pour que les réactions d'oxydation se fassent convenablement. Son fonctionnement nécessite une bonne isolation thermique — que le moteur soit réglé en mélange riche ou au contraire en mélange pauvre — et les dispositifs de contrôle et de sécurité sont indispensables pour éviter la mise en route lors des départs à froid avec le starter.

L'efficacité du réacteur thermique varie de 35-45% à 45-55% par rapport à 1972 selon que le mélange carburé est pauvre ou riche, pour un supplément de prix de l'ordre de 5 à 8% par rapport aux véhicules 1975 et une augmentation de consommation de l'ordre de 10 à 20% en mélange riche.

Les applications en mélange riche du réacteur thermique sont limitées aux U.S.A. et au Japon. Quelques types de moteurs fonctionnant en régime pauvre utilisent un tel dispositif pour réduire une masse trop élevée d'hydrocarbures.

Le réacteur catalytique

C'est le système le plus efficace.

Cette technique consiste à utiliser les propriétés catalytiques de certains métaux ou de leurs oxydes pour provoquer l'élimination du CO et des HC sous forme de gaz carbonique et de vapeur d'eau.

La phase catalytique active est déposée sur des petites billes ou sur des structures monolithiques gaufrées.

Lors des premiers essais, le fonctionnement d'un tel système imposait des contraintes très dures :

- le catalyseur n'avait une efficacité appréciable que si la température des gaz d'échappement atteignait au moins 400 °C ;
- le catalyseur nécessitait l'emploi de quantités importantes de métal précieux ;

— le carburant devait être exempt d'additifs au plomb à cause de la perte d'activité provoquée par ce métal.

Les recherches menées depuis près de dix ans ont abouti à la mise en place de systèmes catalytiques sur la majeure partie des véhicules construits aux Etats-Unis depuis 1975. Les progrès réalisés ont permis d'abaisser la température de pleine efficacité de 400 °C à seulement 300 °C, de réduire fortement la quantité de métal précieux indispensable tout en conservant un taux de conversion du CO et des HC compris entre 70 et 90 %.

Dans l'état actuel de la technique, l'efficacité du catalyseur diminue lentement au cours de la durée de vie du véhicule et son fonctionnement exige l'emploi d'essence sans plomb.

Des recherches sont actuellement en cours pour développer des catalyseurs permettant l'utilisation d'essences légèrement plombées mais aucun dispositif ne peut encore assurer une durée de vie suffisante.

A l'heure actuelle, le catalyseur est déposé sur un support céramique — l'un des éléments contraignants du système — et il est placé sous le plancher du véhicule. Il est parfois accompagné de dispositifs de sécurité pour éviter sa destruction accidentelle, ainsi que d'écrans isolants antichocs.

Le coût d'un véhicule ainsi équipé est augmenté de 4 à 12 %. L'alimentation des moteurs en essence sans plomb conduirait :

— soit à une augmentation de la consommation due à la réduction du taux de compression si l'indice d'octane choisi est inférieur à celui du super-carburant actuel ; à titre indicatif cette augmentation serait de 4 à 6 % pour un indice d'octane de 91 ;

— soit à un accroissement de la quantité de pétrole brut nécessaire à la production de la même quantité d'essence si l'indice d'octane est maintenu à une valeur élevée (voir à ce sujet le point 1.7.2. ci-dessous).

1.6.2. MOYENS DE RÉDUIRE LES OXYDES D'AZOTE

La formation des oxydes d'azote étant liée à la température de la flamme, toute action visant à diminuer cette température est efficace. C'est ainsi qu'agissent pour l'essentiel les dispositifs moteurs, l'autre forme d'action, consistant à traiter les gaz d'échappement, de façon à réduire également les émissions de CO et des HC.

Les dispositifs moteur

L'avance à l'allumage

Tout retard sur le point d'avance réduit la température de combustion : ainsi, un retard de 10 degrés de l'avance se traduit par une réduction de 15 à 25 % des émissions de NO_x.

En fait, un retard de 10 degrés n'est pas envisageable car il conduit à un désagrément de conduite et à une élévation de la consommation de 5 à 10 %. On est donc amené à se limiter à un retard plus faible qui conduit à une réduction des émissions de NO_x de 10 à 15 % accompagnée d'une augmentation de la consommation de 2 % seulement.

La recirculation des gaz d'échappement

La recirculation d'un certain volume de gaz d'échappement (5 à 12 %) permet d'espérer une réduction des émissions de NO_x de 30 à 50 %.

Ce principe est très utilisé aux Etats-Unis et cette solution s'avère très efficace avec un mélange stœchiométrique ou riche. Par contre, avec un mélange pauvre, les risques d'instabilité moteur s'accroissent et en limitent l'emploi.

Malgré de gros progrès pour réguler avec précision le taux de recirculation des gaz en fonction de la charge et de la vitesse du moteur, la recirculation conduit la plupart du temps à une augmentation de la consommation de l'ordre de 5 %.

L'enrichissement du mélange

Cette solution est parfois utilisée quand un appauvrissement exigé par les limites de CO et HC, conjugué à l'emploi de la recirculation des gaz d'échappement donne une qualité de conduite inacceptable.

L'enrichissement nécessite naturellement de traiter à l'échappement le CO et les HC (injection d'air, réacteur, etc.).

Cette solution coûteuse impose aussi une augmentation de la consommation d'essence qui peut atteindre 10 %.

L'appauvrissement du mélange

Pour agir efficacement sur la formation des NO_x , il faut faire fonctionner le moteur dans la zone des mélanges très pauvres, solutions déjà traitées au chapitre du CO et des HC.

Traitement des gaz d'échappement - Réduction de CO, HC et NO_x par voie catalytique

Cette opération consiste en la réduction, par l'oxyde de carbone, des oxydes d'azote en présence d'un catalyseur.

Les travaux menés en ce domaine avaient conclu, dans un premier temps, à la nécessité d'utiliser deux pots catalytiques installés en série et contenant chacun une certaine masse de billes ou de structures gaufrées recouvertes de métaux précieux : le premier pot réduisant les NO_x , le deuxième oxydant CO et les HC.

Cette disposition a dû être abandonnée à la suite de nombreuses difficultés : surcharge du catalyseur d'oxydation, consommation d'essence trop élevée (mélange riche) et formation d'ammoniac dans le premier pot recréant du NO dans le second.

Les travaux se sont donc orientés vers la réalisation d'un pot unique dans lequel toutes les opérations précédentes seraient effectuées : ce pot a été ainsi appelé pot catalytique tri ou multifonctionnel.

Le fonctionnement d'un tel pot exige un réglage très précis (à 1 % près) et permanent de la richesse du mélange nécessitant de disposer une sonde de contrôle à l'échappement.

A l'heure actuelle, cette solution a abouti à une réalisation industrielle sur véhicule en utilisant, pour l'alimentation en carburant, un système d'injection électronique piloté par une sonde détectant l'oxygène libre dans les gaz d'échappement.

Bien que les taux de conversion du CO, des HC et des NO_x soient extrêmement satisfaisants (de 70 à 80 %), ce système est, du fait de l'application de l'injection d'essence, coûteux et son développement pour tous les types de moteurs poserait des problèmes industriels importants. Des recherches sont donc en cours pour substituer à l'injection d'essence des carburateurs à pilotage électronique. Des travaux visent également à augmenter la durée de vie de la sonde à oxygène et à élargir les tolérances du mélange air/carburant acceptables par le catalyseur.

La nécessité d'alimenter les moteurs en essence sans plomb conduirait aux mêmes augmentations de consommation que celles occasionnées par le catalyseur d'oxydation (4 à 6 %).

En outre, l'obligation de maintenir la richesse du mélange carburé à une valeur quasi constante (rapport stœchiométrique air/essence voisin de 14,6) ne permettrait pas de tirer parti des possibilités de réductions des consommations qui pourraient être obtenues par l'emploi de mélanges carburés plus pauvres ; la nécessité de recourir à ce type de catalyse, essentiellement pour atteindre de bas niveaux d'émissions de NO_x , rendrait inopérants les résultats des efforts qui auraient déjà été accomplis et conduirait à l'arrêt des travaux dans le domaine de l'utilisation des mélanges pauvres.

Il ressort de tout ce qui précède qu'il n'existe actuellement aucun dispositif valable qui permette de réduire de façon sensible les émissions de NO_x sans entraîner une augmentation de la consommation d'essence.

1.6.3. RECYCLAGE DES GAZ DE CARTER

Le niveau prescrit pour les émissions de gaz de carter correspond à une réduction d'environ 75 % par rapport aux véhicules 1960. Il en résulte qu'en 1976 les hydrocarbures contenus dans les gaz de carter représentent 13 % des émissions totales d'hydrocarbures. Il est possible de réduire fortement et même de supprimer ces émissions au prix d'une dépense très faible.

1.6.4. SUPPRESSION DES ÉVAPORATIONS

Les hydrocarbures contenus dans les évaporations de carburants représentent, en 1976, 32 % des émissions totales d'hydrocarbures. Ces émissions pourraient être réduites au moyen de techniques connues dont le coût est de l'ordre de 1 % du prix du véhicule (un peu plus pour les petites voitures).

1.6.5. RALENTI

La teneur en monoxyde de carbone au régime de ralenti étant responsable en grande partie des teneurs observées dans l'atmosphère des zones encombrées, il est prescrit que la teneur en monoxyde de carbone ne doit pas dépasser 4,5 % au régime de ralenti.

Actuellement, les véhicules mis en circulation sont équipés de carburateurs conçus de telle sorte que les usagers ne puissent matériellement dépasser la teneur de 4,5 % lors des réglages de ralenti des véhicules.

Possibilités d'action sur les émissions des moteurs à essence sans innovation technologique

Moteur	Pollution par rapport à une voiture « Europe 1972 » à essence	Avantages et inconvénients techniques	Coût par voiture moyenne à l'achat (base véhicule/1975)	Coût d'usage (base véhicule/1975)	Délai possible grande série
1) Action sur CO et HC					
Mélange pauvre ..	CO — 35 % HC — 25 %	Fonctionnement avec essence plombée Légère augmentation des NO _x	+ 1,2 à 2,3 %	Consommation sans changement	1980 (préavis 3 ans)
Mélange pauvre avec distribution variable	CO — 40 % HC — 30 % NO _x inchangé	Essence plombée Mise au point réalisée sur prototypes	≥ 2 %	Consommation légèrement inférieure — 2 % à — 5 %	1982 (préavis 4 ans)
Mélange très pauvre	CO — 50 % HC — 40 %	Tolérances de réglage et de fabrication très étroites Investissements importants Essence plombée	?	?	? (Technologie non maîtrisée à l'heure actuelle)
Injection d'air simple	CO — 40 à HC — 45 %	Perte de puissance et de rendement si pompe Encombrement à air Peu d'efficacité par rapport au mélange pauvre (+ 10 %) Isolation thermique Essence plombée	+ 2 à + 3,5 %	+ 5 % d'essence	(préavis 5 ans)

Moteur	Pollution par rapport à une voiture « Europe 1972 » à essence	Avantages et inconvénients techniques	Coût par voiture moyenne à l'achat (base véhicule/1975)	Coût d'usage (base véhicule/1975)	Délai possible grande série
Réacteur thermique riche	CO — 45 à HC — 55 % NO _x — 25 % (lié à la richesse)	Perte de puissance et de rendement Encombrement Isolation thermique Implantation parfois très difficile sur les véhicules Essence plombée	+ 5 à 8 %	+ 10 à 20 % d'essence	(préavis 5 ans)
Réacteur catalytique d'oxydation	CO — 70 à 90 % HC NO _x inchangé	Essence sans plomb Isolation thermique Encombrement Polluants secondaires possibles Emploi d'essence légèrement plombée prévisible à moyen terme	+ 4 à 12 %	+ 4 à 6 % d'essence (dû à l'utilisation d'essence sans plomb Renouvellement des catalyseurs)	(préavis 6 ans)
2) Action sur NO _x	Réduction par rapport au 2 ^e amendement au Règlement 15 (pour NO _x)				
Avance à l'allumage	NO _x — 10 à 15 %	Moins bon fonctionnement du moteur Perte de rendement Allumage électronique peut-être nécessaire	+ 1 % (si allumage électronique)	+ 2 % d'essence	

Moteur	Pollution par rapport à une voiture Europe » 1972 à essence	Avantages et inconvénients techniques	Coût par voiture moyenne à l'achat (base véhicule/ 1975)	Coût d'usage (base véhicule/ 1975)	Délai possible grande série
Recirculation des gaz d'échappement	NO _x — 30 à — 50 %	Solution efficace si mélange riche Instabilité moteur si mélange pauvre Perte de rendement importante	+ 0,5 %	Jusqu'à + 5 % d'essence	1982 (préavis 3 ans)
3) Action sur CO, HC NO _x					
Catalyseur 3 voies	CO — 70 à HC — 80 % NO _x — 60 à — 80 %	Essence sans plomb Réglage très fin de la richesse Sonde de détection d'oxygène dans les gaz d'échappement Mélange stœchiométrique	?	+ 4 à 6 % d'essence Renouvellement des catalyseurs	1985 (préavis 5 ans)

1.7. Le problème du plomb

1.7.1. EXPOSÉ DU PROBLÈME

Dans le cadre de la lutte contre la pollution de l'air, le problème du plomb se pose sous deux aspects très différents :

L'incidence directe sur la santé humaine des composés du plomb émis par les gaz d'échappement des véhicules automobiles

Cet aspect de la question ayant été traité au paragraphe 1.1., nous ne le citons que pour mémoire.

L'effet des composés du plomb sur les systèmes catalytiques

Les normes d'émissions en vigueur dans l'Etat de Californie depuis 1975, a fortiori, les normes plus sévères prévues pour les années suivantes aux Etats-Unis nécessitent l'utilisation de systèmes catalytiques. Le plomb contenu dans l'essence étant, dans l'état actuel de la technique, incompatible avec le maintien de l'efficacité des catalyseurs sur la distance de 50 000 miles requis par la norme, la législation américaine impose, depuis 1973, qu'une qualité au moins d'essence sans plomb soit distribuée dans toutes les stations services.

1.7.2. ASPECTS TECHNOLOGIQUES

Dans la mesure où, pour des raisons sanitaires, il apparaîtrait réellement nécessaire de réduire les émissions de plomb dans l'échappement, deux voies différentes pourraient être suivies :

- imposer le montage, sur tous les véhicules, de dispositifs captant un certain pourcentage des particules de plomb émises ;
- réduire le taux de plomb admis dans les carburants.

Chacune de ces deux solutions présente, en contrepartie de l'avantage recherché, des inconvénients qui lui sont propres, et il est actuellement difficile de dire laquelle des deux solutions est la moins coûteuse ; nous les étudions séparément plus loin.

Si, au contraire, il s'avérait nécessaire de supprimer totalement le plomb pour permettre l'emploi de catalyseurs, seule la deuxième solution resterait envisageable ; en effet, l'efficacité des filtres à plomb est insuffisante et, en

outre, ils ne fonctionnent correctement qu'à température assez basse et ne peuvent donc être disposés à l'amont du pot d'échappement catalytique.

Filtres à plomb sur les véhicules

Les émissions de plomb dans l'atmosphère pourraient être réduites par la mise en place sur l'échappement des véhicules neufs, de dispositifs jouant à la fois le rôle de filtres pour les particules de plomb, et le rôle du silencieux classique. L'efficacité de ces systèmes serait d'environ 50 à 75 % sans qu'il y ait, en général, d'incidence sensible sur les performances des véhicules, sauf dans certains cas où les pertes de charges entraîneraient un accroissement de consommation pouvant aller jusqu'à 4-5 %. La mise en place de ces dispositifs conduirait à revoir les soubassements de plusieurs modèles.

Le coût de ces dispositifs se traduirait par une augmentation de 1 à 1,5 % environ du prix des véhicules. Le remplacement du dispositif s'imposerait avant qu'il soit saturé ; une durée de l'ordre de 30 000 km pourrait être envisagée sans que son encombrement devienne prohibitif.

Réduction de la teneur en plomb des carburants

La réduction de la teneur en plomb des essences nécessiterait une modification des schémas de raffinage et une adaptation des moteurs.

Du point de vue du raffineur, les additifs à base de plomb permettent de fournir aux consommateurs les carburants correspondant aux exigences des véhicules en évitant d'avoir recours à des procédés de raffinage complexes et coûteux. Ces additifs ont, en fait, pour but d'augmenter l'indice d'octane des carburants afin de diminuer la tendance au cliquetis et permettre l'emploi de taux de compression élevés.

La réduction de la teneur en plomb ne pose pas, sur le plan technique, de problème insoluble au raffineur mais entraîne des investissements dont le coût augmente rapidement lorsque l'on réduit le plomb au-dessous de 0,4 g/l en maintenant l'indice d'octane. En outre, la consommation de pétrole brut par tonne d'essence produite s'accroît lorsque l'on augmente l'indice d'octane de l'essence claire, ce qui serait nécessaire pour maintenir l'indice d'octane malgré la réduction de la teneur en plomb ; ainsi, pour un indice d'octane de l'essence éthyliée de 98, le passage de 0,6 à 0,15 g/l se traduirait par un accroissement de la consommation de pétrole d'environ 3 % de la consommation d'essence. Il en résulte finalement un accroissement du coût des carburants qui serait par

exemple d'environ 3 à 4 % pour un indice d'octane de 98 obtenu avec 0,15 g/l de plomb. Par ailleurs, la suppression du plomb ferait perdre au raffineur un facteur de souplesse important : la possibilité d'ajuster par un moyen simple et peu coûteux l'indice d'octane de l'essence à la valeur voulue compte tenu des fluctuations de la demande et de l'approvisionnement.

La réduction du plomb devrait s'accompagner d'une augmentation de la teneur en aromatiques de l'essence et, par conséquent, des émissions d'hydrocarbures aromatiques. Toutefois, par rapport aux essences actuelles, cet effet sera compensé, au moins partiellement, par la part plus grande d'essence de craquage, d'isomérisation et d'alkylation qui devrait résulter de l'évolution attendue de la structure du raffinage au cours des prochaines années. Notons également que si le véhicule est équipé d'un pot catalytique, le problème des émissions d'hydrocarbures aromatiques ne se pose pratiquement plus.

La suppression totale du plomb nécessiterait pour des raisons économiques une réduction de l'indice d'octane et, par conséquent, une baisse du taux de compression des moteurs. Compte tenu de l'effet de l'indice d'octane sur la consommation des raffineries et sur la consommation des moteurs par l'intermédiaire du taux de compression, la production et l'utilisation d'une essence sans plomb ayant un indice d'octane de 95 (valeur située entre l'optimum économique et l'optimum énergétique) conduirait au total, par rapport à une essence plombée d'indice 98, à un accroissement de la consommation de pétrole brut égal 5 à 6 % de la consommation d'essence.

La mise au point de moteurs ayant, pour un rendement donné, une exigence en octane plus faible, serait de nature à réduire cet accroissement de consommation, mais l'impact de tels moteurs ne peut être envisagé qu'à long terme.

En dehors de l'adaptation du taux de compression, l'emploi d'essence sans plomb peut poser un problème de tenue de sièges des soupapes d'échappement, ce qui nécessiterait l'emploi de matériaux appropriés.

1.8. Le moteur Diesel et la pollution

La réglementation actuelle ne différenciant pas les émissions des véhicules légers et lourds, ce paragraphe traitera de l'ensemble des véhicules équipés de moteurs Diesel.

1.8.1. INTRODUCTION

Dans toutes les considérations qui précèdent, il a été supposé que la quasi totalité des émissions, tant passées que futures, étaient dues aux véhicules à moteur à essence et que la part des véhicules à moteur Diesel était négligeable

Le développement rapide des ventes de voitures particulières à moteur Diesel, surtout depuis 1973, nous oblige, d'une part, à préciser l'hypothèse précédente, donc à évaluer le parc Diesel existant, et d'autre part, à examiner avec attention les composés émis par les moteurs Diesel et les améliorations possibles.

1.8.2. IMPORTANCE DU PARC DE VÉHICULES A MOTEUR DIESEL

Le tableau suivant donne aux 1^{er} janvier 1968 et 1976 les pourcentages des véhicules à moteur Diesel selon les catégories de véhicules.

	1968	1976
Voitures particulières et commerciales	1,0%	2,2%
Véhicules de transports de marchandises (selon le poids total en charge P) :		
P ≤ 6 T	9,0%	9,2%
6 T < P ≤ 12 T	64,0%	98,2%
12 T < P	100,0%	100,0%
Autocars et autobus	70,0%	97,8%
Toutes catégories	4,5%	6,1%

Les véhicules à moteur Diesel représentent encore actuellement une faible part du parc total même si certains d'entre eux sont relativement utilisés en ville. Néanmoins les ventes de voitures particulières à moteur Diesel ont atteint en 1975 en France 4% des ventes de voitures. Il paraît donc important de mieux connaître et d'évaluer les émissions et les risques qui en découlent.

1.8.3. LA RÉGLEMENTATION DES VÉHICULES A MOTEUR DIESEL

L'arrêté du 13 février 1974 a introduit dans la réglementation française les spécifications, d'ailleurs identiques, de la directive 72/306 de la Communauté Economique Européenne et du règlement n° 24 de la Commission Economique pour l'Europe.

Ces textes prévoient uniquement des mesures d'opacité des gaz d'échappement à différents régimes stabilisés sur la courbe de pleine charge du moteur, les résultats obtenus ne devant pas être supérieurs à des valeurs limites fonctions du flux contrôlé.

1.8.4. ÉMISSIONS DES VÉHICULES A MOTEUR DIESEL

Le fonctionnement de ces moteurs est caractérisé auprès du public par des émissions sensibles composées de fumées et de produits malodorants. Parallèlement à ces émissions, ces moteurs rejettent également, comme les moteurs à allumage commandé, du monoxyde de carbone, des hydrocarbures et des oxydes d'azote.

Fumées

D'une façon générale, les fumées émises par les véhicules à moteur Diesel revêtent un aspect salissant (fumée noire) ou irritant (fumée bleue). Un aspect toxique n'est pas exclu, les « fumerons » pouvant servir de support à des hydrocarbures lourds polyaromatiques. Par ailleurs, les émissions Diesel ont une odeur caractéristique considérée comme une source de gêne par la population riveraine des voies de circulation.

Suivant les régimes, les conditions d'utilisation du véhicule (température de fonctionnement) et l'état d'entretien, il se produit des fumées noires ou bleues ou un mélange des deux, la teinte noire ou bleue étant plus ou moins prononcée suivant les types de chambres de combustion et le système contrôlant la limite de saturation du combustible injecté dans la chambre de combustion.

La réglementation, en considérant l'opacité comme critère d'émission, ne distingue pas une fumée noire et une fumée claire. Elle n'a pas non plus considéré pour le moment d'autres aspects que celui de la perception par l'œil humain et de la gêne pouvant en résulter pour les autres usagers de la route.

Odeurs

La gêne apportée au public est suffisamment importante pour que des travaux aient été entrepris. Ils ont porté, d'une part, sur l'analyse physico-chimique des produits responsables de l'odeur et, d'autre part, sur la réponse psychophysologique au stimulus odorant.

Les résultats déjà connus montrent que d'un point de vue physiologique, parmi des personnes ayant participé à une expérience au cours de laquelle elles étaient soumises à un gaz d'échappement Diesel plus ou moins dilué, 30 % se sont avérées très gênées au niveau respiratoire. Les composés responsables des odeurs seraient notamment des composés aldéhydiques plus ou moins adsorbés sur les particules de fumées.

Autres polluants

Il a été généralement avancé que lorsqu'un véhicule Diesel ne fume pas au-delà de la limite de perception, ses émissions de polluants sont réduites. En effet, ceci est vérifié pour les hydrocarbures les plus lourds (Benzopyrènes) qui sont éminemment toxiques, mais aucune corrélation sérieuse n'a pu être établie avec les autres aspects des polluants : irritations et odeurs.

Dans les limites des connaissances actuelles, on peut dire que le moteur Diesel est peu polluant du point de vue du CO, et qu'il semble être d'un niveau de pollution sensiblement équivalent à celui du moteur à essence pour les NO_x.

Si l'on se réfère aux hydrocarbures totaux, les émissions globales sont nettement plus faibles, mais la nature des composés peut être très différente de celle des émissions des moteurs à essence (irritations, odeurs, toxicité).

Un problème particulier du Diesel est celui des composés d'oxydation du soufre du fait des quantités de ce corps rencontrées dans le gazole, ce qui se traduit par des émissions de composés soufrés et parfois d'anhydride sulfureux.

1.8.5. AMÉLIORATIONS ET RÉDUCTIONS DES ÉMISSIONS DIESEL

Toute amélioration nécessite tout d'abord une bonne connaissance des émissions actuelles et surtout des moyens de mesure précis et comparables d'un lieu à l'autre.

Or, dans le cas des émissions Diesel, certains moyens de mesure n'existent pas encore (odeurs) ou sont mal adaptés (fumées, hydrocarbures).

Moyens de mesures des polluants

En effet : — pour la mesure des émissions de fumées, un problème reste posé quant à la corrélation des essais en régimes stabilisés et celui dit en accélération libre.

Cette corrélation doit être recherchée par amélioration de l'essai en accélération libre qui doit être exécuté dans les mêmes plages de régimes que celui en régimes stabilisés (55/100 du régime de puissance maximale et le régime de rotation maximal permis par le régulateur) et sur la valeur à retenir pour le contrôle en circulation (*révision du facteur de correction*) ;

— pour la mesure du monoxyde de carbone, les moyens de mesure sont bien adaptés ;

— pour les émissions d'hydrocarbures, la réglementation américaine considère les émissions d'hydrocarbures totaux. Or, on a vu précédemment que les aspects principaux des émissions Diesel ne sont pas liés à ce critère. L'adoption de valeurs américaines et encore plus leur réduction, risquent de poser des problèmes pour ce type de moteur sans résoudre pour autant les vrais problèmes de pollution.

Il est donc nécessaire d'entreprendre des études pour mieux connaître la nature et les effets des composants hydrocarbonés émis ;

— pour les émissions de NO_x , il apparaît possible de fixer une limite pour les véhicules circulant en zone urbaine encombrée (voitures particulières et utilitaires légers) en se fondant sur le cycle de conduite de la réglementation actuelle et en précisant le mode d'utilisation de ces véhicules sur le cycle (d'après les expérimentations qui seront effectuées dans le cadre de l'A.T.P. « Energie - Nuisances ») ;

— pour la mesure des produits odorants, l'absence actuelle d'un traceur de l'odeur empêche de prévoir une quantification précise et reproductible.

Améliorations

Les améliorations devront porter sur la réduction des émissions toxiques et surtout des émissions sensibles (odeurs, fumées).

Une amélioration possible consisterait par exemple à filtrer les fumées.

A moyen et long terme, certaines modifications des chambres de combustion ou des injecteurs et la mise au point de systèmes catalytiques à l'échappement pourraient permettre de réduire de façon importante les émissions sensibles et les émissions toxiques.

Enfin, l'optimisation d'un système de suralimentation pourrait contribuer à l'effort nécessaire de réduction des émissions par les moteurs Diesel.

2. INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

Pour diminuer les émissions de polluants des automobiles, en plus des modifications possibles à court ou moyen terme indiquées précédemment, on peut envisager à plus long terme les voies suivantes :

— APPORTER DES PERFECTIONNEMENTS AUX MOTEURS A EXPLOSION par des modifications de conception, notamment :

- Mise au point de procédés permettant le fonctionnement à richesse variable des moteurs à allumage commandé.
- Emploi de carburants gazeux (gaz naturel, gaz de pétrole, hydrogène).
- Conversion préalable du carburant.

— DÉVELOPPER DES MOTEURS TOUT A FAIT NOUVEAUX POUR L'AUTO-MOBILE :

- Moteurs électriques alimentés par accumulateurs ou par piles.
- Systèmes hybrides.
- Moteurs à combustion externe (moteur à vapeur, moteur Stirling).
- Turbine à gaz.

Ces différentes solutions dont les caractéristiques sont résumées dans les tableaux ci-joints peuvent être classées en trois catégories selon qu'il s'agit d'améliorations pouvant aboutir à moyen terme, à des systèmes généralisables à tout le parc automobile ou au contraire seulement à des flottes spécialisées, et d'autre part qu'il s'agit d'innovations qui ne peuvent aboutir qu'à long terme.

2.1. Améliorations à moyen terme et généralisables à tout le parc

Parmi les améliorations possibles à moyen terme, outre celle citées précédemment, la stratification du mélange carburé paraît la principale voie de recherche.

Charge stratifiée

Ce procédé consiste à réaliser un mélange hétérogène dont les fractions riches sont localisées au voisinage de la bougie ce qui permet en principe la combustion de mélanges globalement très pauvres. Diverses solutions sont à l'étude avec ou sans préchambre, avec injection ou avec carburation, sur des moteurs à 4 temps ou à 2 temps. Jusqu'à présent, une seule solution a débouché sur une fabrication en série : il s'agit d'un moteur à préchambre avec une soupape d'admission supplémentaire pour mélange riche (système CVCC). Ce système permet une réduction des émissions de polluants, mais conduit à une réduction de la puissance par litre de cylindrée et à un accroissement de la consommation de l'ordre de 5 à 10% au lieu du gain attendu, ce qui est dû à plusieurs causes : pertes thermiques liées au fonctionnement de la préchambre, réalisation imparfaite de la stratification qui, en particulier, ne permet qu'une variation limitée de la richesse de fonctionnement. On constate toutefois une évolution favorable des résultats publiés en ce qui concerne la consommation.

Il sera sans doute difficile à la solution « charge stratifiée » d'atteindre des niveaux d'émission d'hydrocarbures très bas sans le secours de catalyseur d'oxydation compte tenu des difficultés de combustion rencontrées à faible charge ; un réglage du couple par la richesse sur toute la plage de fonctionnement risque à cet égard de rencontrer des difficultés liées aux faibles températures d'échappement correspondant aux charges peu élevées.

En ce qui concerne les oxydes d'azote, le moteur à charge stratifiée permet une réduction notable des émissions et d'atteindre le niveau de 3 g/cycle suivant le cycle Europe. Une réduction plus importante de ces émissions se heurterait à un obstacle majeur : l'impossibilité d'utiliser les catalyseurs de réduction ou trifonctionnels qui nécessitent l'emploi de mélanges stœchiométriques ou riches.

2.2. Améliorations à moyen terme applicables à des flottes spécialisées

2.2.1. EMPLOI DES GAZ DE PÉTROLE LIQUÉFIÉS ET DU GAZ NATUREL

Pour des raisons de coût d'installation et de sujétions d'emploi, l'utilisation du gaz naturel liquéfié, bien qu'essayée avec succès aux Etats-Unis et en France sur autobus, semble peu probable dans les voitures particulières. On se limitera donc aux gaz de pétrole liquéfiés pour lesquels les problèmes de stockage sont notamment facilités.

L'emploi de carburants gazeux permet de réaliser un mélange air-carburant homogène et de fonctionner correctement en mélange légèrement pauvre, ce

qui apporte une réduction très importante des émissions de CO et, dans une moindre mesure, de celles d'hydrocarbures, une réduction de consommation, mais a tendance à accroître les émissions d'oxydes d'azote ; il est généralement possible de pousser suffisamment loin l'appauvrissement pour réduire également les émissions d'oxydes d'azote mais au prix d'un relèvement des émissions d'hydrocarbures. Il est à noter que les nouvelles techniques de carburation et de formation du mélange actuellement à l'étude (cf. § 1.6.1.) devraient permettre d'atteindre un résultat de même ordre avec les carburants liquides.

En Europe (Italie, Bénélux), l'emploi de gaz de pétrole liquéfiés dans l'automobile n'est pas exceptionnel et concerne une gamme assez large de véhicules.

La disponibilité de ces carburants restera assez limitée malgré l'accroissement prévu de leur production — 4 à 5 millions de tonnes pour l'ensemble de l'Europe de l'Ouest. Cette considération ainsi que d'autres inconvénients tels que le coût d'installation à bord du véhicule, l'encombrement du système, ne permettent pas d'envisager l'utilisation des gaz de pétrole liquéfiés à très grande échelle.

2.2.2. EMPLOI DE L'HYDROGÈNE

L'utilisation d'hydrogène apporterait l'avantage d'une suppression quasi totale des émissions d'oxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés qui se trouveraient limitées à celles provenant du lubrifiant. En outre, la vitesse de combustion élevée de l'hydrogène autorise un fonctionnement en mélange très pauvre qui entraîne une forte réduction des oxydes d'azote. La contrepartie de l'emploi de l'hydrogène est une perte notable de puissance.

Des essais de laboratoire ont montré que l'utilisation de l'hydrogène sur le plan strictement technique est envisageable. L'hydrogène pourrait être produit à un prix restant dans l'ordre de grandeur de celui des carburants actuels à partir du pétrole, du charbon et, à plus long terme, comme moyen de stockage de l'électricité ou comme vecteur de l'énergie nucléaire. Les problèmes majeurs se situent au niveau de la distribution — prix, sécurité — et au niveau du stockage à bord du véhicule — poids, encombrement, sécurité. Une utilisation généralisée de ce carburant n'est pas concevable à moyen terme.

2.2.3. CONVERSION PRÉALABLE DU CARBURANT LIQUIDE EN CARBURANT GAZEUX

L'addition d'hydrogène au mélange carburé améliore les propriétés de combustion de ce mélange et facilite le fonctionnement en mélange pauvre à charge

partielle, d'où il résulte une amélioration de consommation et une réduction des émissions. L'utilisation sur le véhicule d'un réservoir auxiliaire contenant un gaz combustible étant exclue, on étudie dans différents laboratoires la possibilité de réaliser une conversion préalable, généralement catalytique d'une partie de l'essence en un mélange gazeux contenant une forte proportion d'hydrogène.

Les essais effectués jusqu'à présent semblent confirmer l'intérêt de ce type de procédé sur le plan des émissions mais la consommation d'essence est augmentée.

Dans le cas d'un carburant plus réactif comme le méthanol, il est possible, par reformage à la vapeur, de convertir en gaz riche en hydrogène la totalité du carburant dans un volume de quelques litres et en récupérant une partie de la chaleur perdue à l'échappement. Des premiers essais montrent que dans ce cas une réduction simultanée de la consommation et des émissions est possible ; mais de nombreux problèmes resteront à résoudre notamment en ce qui concerne la régulation ; en outre, par suite du manque de disponibilité du méthanol, cette solution n'est envisageable dans le contexte français que dans le cas de flottes spécialisées à vocation urbaine.

2.2.4. VÉHICULES ÉLECTRIQUES

Dans l'automobile, la traction électrique serait a priori intéressante du point de vue pollution et bruit, mais elle est limitée par les performances des générateurs actuels d'électricité qui sont essentiellement les accumulateurs au plomb. On estime généralement en effet qu'une énergie massique minimale de 150 Wh/kg est nécessaire pour que les applications de la traction électrique à l'automobile puissent se développer. Or, malgré les progrès envisageables, il ne semble pas que les accumulateurs au plomb puissent dépasser 40 à 50 Wh/kg.

En dehors des générateurs d'électricité, l'ensemble de la chaîne de traction : moteurs électriques, transmissions, commandes et asservissements, bien que ne posant pas de problème technique insoluble, reste d'un coût élevé, estimé à lui seul à peu près équivalent à celui d'une chaîne thermique classique.

2.2.5. VÉHICULES HYBRIDES

Le montage hybride consiste à utiliser deux sources d'énergie dont l'une fournit une puissance de l'ordre de la puissance moyenne d'utilisation — par exemple un petit moteur thermique de quelques kW — et l'autre, les pointes de puissance — accumulateurs électriques, inertiels, pneumatiques —, l'accu-

mulateur pouvant également être utilisé pour emmagasiner puis restituer la variation d'énergie cinétique du véhicule correspondant au freinage.

Bien que plusieurs prototypes aient été réalisées aux Etats-Unis, l'intérêt de tels systèmes n'a pas pu être clairement démontré tant du point de vue énergétique que du point de vue émission de polluants, tout au moins pour une application à l'automobile.

2.3. Innovations à long terme

2.3.1. MOTEURS A ALLUMAGE COMMANDÉ A RICHESSE VARIABLE

Le fonctionnement en mélange pauvre à richesse variable avec réglage du couple par le débit d'essence, le débit d'air restant constant, constitue en principe la mise en œuvre idéale du fluide moteur dans un moteur à allumage commandé car il permettrait d'obtenir simultanément :

- la consommation minimale réalisable en chaque point de fonctionnement compte tenu des pertes mécaniques, ce qui se traduirait par des gains importants à faible charge par rapport au moteur classique ;
- la réduction des émissions de tous les polluants.

Mais la réalisation de ces gains implique le maintien d'une vitesse de combustion suffisante sur toute la plage de fonctionnement et notamment aux très faibles richesses correspondant aux charges partielles, ce qui présente beaucoup de difficultés et n'a jamais pu être obtenu jusqu'à présent.

La stratification de la charge présentée dans le paragraphe 2.1. constitue une première approche technique permettant de maintenir la vitesse de combustion à la valeur requise malgré l'appauvrissement du mélange.

2.3.2. MOTEURS A COMBUSTION EXTERNE

Dans ces moteurs où le travail est produit par l'évolution d'un fluide moteur en circuit fermé, la combustion est continue et son rôle est limité à la fourniture de l'apport de chaleur au fluide moteur ; il est ainsi possible de la régler de telle sorte que les émissions de tous les polluants soient très faibles. Ces moteurs présentent en outre l'avantage d'être polycarburants.

Moteur à vapeur

Quelques moteurs expérimentaux ont été réalisés aux Etats-Unis et en Grande-Bretagne. Les recherches continuent à porter sur le choix du fluide moteur ; l'eau présente des inconvénients : difficulté de lubrification dans la vapeur à haute température, ennuis dus au gel ; mais les fluides organiques ne sont pas assez stables pour permettre l'emploi de températures élevées, ce qui entraîne une dégradation du rendement. Le moteur à vapeur est lourd et encombrant, le long délai de mise en route du moteur reste un handicap sérieux ; mais surtout, le faible rendement du moteur à vapeur compromet ses chances réelles de succès dans l'automobile.

Moteur Stirling

L'étude du moteur Stirling est conduite principalement par la Société Philips. Ce moteur utilise un fluide de travail non condensable : l'hydrogène qui décrit, grâce à des transferts de chaleur entre différentes phases du cycle, l'équivalent d'un cycle de Carnot. Des progrès importants ont été faits sur plusieurs points importants : étanchéité à l'hydrogène, efficacité des échangeurs, simplification de la cinématique, réduction de l'encombrement et du poids. Ce moteur reste néanmoins assez complexe et le coût en sera vraisemblablement élevé. Mais le moteur Stirling possède l'avantage d'avoir un très bon rendement et pour cette raison, à laquelle s'ajoute le fait qu'il satisfait sans difficulté aux normes d'émissions les plus sévères envisagées aux Etats-Unis, il continue à susciter un intérêt marqué auprès de certains constructeurs.

2.3.3. TURBINE A GAZ

Les avantages potentiels de la turbine à gaz ont incité des constructeurs dans plusieurs pays à l'adapter à l'automobile. Aux Etats-Unis en particulier les études ont été poussées très loin, jusqu'au stade d'une avant-série expérimentale, mais malgré les progrès importants réalisés en trente ans, de sérieux problèmes restent à résoudre.

La turbine à gaz envisagée pour l'automobile fonctionne suivant un cycle à régénération où l'énergie des gaz d'échappement est partiellement récupérée pour réchauffer l'air à l'entrée de la chambre de combustion ; il faut donc utiliser un échangeur, qui est lourd et encombrant et fait perdre en grande partie à la turbine à gaz son avantage de principe sur le plan de la puissance massique.

Les émissions de la turbine à gaz sont très faibles en ce qui concerne l'oxyde de carbone et les hydrocarbures, mais atteignent difficilement le

niveau des normes les plus sévères prévues aux Etats-Unis en ce qui concerne les oxydes d'azote. Malgré la régénération, la consommation en ville reste forte ; en outre, le coût de fabrication est généralement considéré comme nettement plus élevé que celui d'un moteur classique.

Les travaux en cours concernent essentiellement l'amélioration des performances de l'échangeur, la réduction de l'inertie du rotor pour améliorer la qualité des reprises, la mise au point des matériaux réfractaires qui permettraient d'augmenter la température à l'entrée de la turbine et de ce fait de ramener la consommation en ville à celle d'un moteur classique, ce qui impliquerait la mise au point de chambres de combustion à deux étages ou stratifiées pour maintenir les émissions d'oxydes d'azote à un faible niveau.

Les spécialistes estiment généralement que la réalisation de turbines de 50 à 100 chevaux pour la voiture européenne sera particulièrement difficile. L'adaptation aux véhicules industriels, avec des puissances supérieures, pose des problèmes analogues, mais à un moindre degré et des prototypes d'autobus et de camions ont été réalisés aux Etats-Unis.

2.3.4. LES PILES A COMBUSTIBLES

Certaines piles à combustibles permettraient d'obtenir un véhicule pratiquement non polluant alliant les avantages de rendement des générateurs électrochimiques à celui de l'autonomie que procurent les machines thermiques. Néanmoins, les carburants usuels n'ont pas une réactivité suffisante pour être utilisés dans des piles à combustibles.

Les recherches et développements en cours sont maintenant concentrés autour de deux filières : la pile à hydrogène assez proche d'un développement industriel et la pile à méthanol pour laquelle d'importants problèmes de fond subsistent, notamment au niveau du catalyseur et de la puissance massique.

Les objectifs essentiels des diverses recherches sont les suivants :

- réduire le prix de ces générateurs à un niveau compatible avec les exigences de la traction ;
- réduire la durée de mise au point technologique de ces piles tout en accroissant la durée de vie ;
- réduire pour la pile à méthanol les polluants que peuvent entraîner les produits de la réaction ;
- pour l'hydrogène, achever l'étude des coûts de distribution de ce combustible et étudier les problèmes de stockage à bord du véhicule et de sécurité.

2.3.5. VÉHICULE ÉLECTRIQUE AVEC ACCUMULATEURS DE FORTE ÉNERGIE MASSIQUE

Plusieurs types d'accumulateurs, dont notamment ceux mettant en œuvre les couples *Zinc-Air* et *Sodium-Soutre*, seraient capables d'approcher ou même de dépasser le seuil de 150 Wh/kg ; ils sont à divers stades de recherche et de développement. Les travaux en cours concernent, outre l'amélioration de l'énergie massique, la réduction du temps de recharge ainsi que l'augmentation du nombre de cycles et de la fiabilité. Un budget très important leur est consacré aux Etats-Unis et ces deux systèmes sont étudiés tout particulièrement en France.

INNOVATIONS TECHNOLOGIQUES

Type de moteur	Effets sur les émissions / 72	Effets sur la consommation d'énergie / 72	Avantages et inconvénients	Délai possible en série
GÉNÉRALISABLE A TOUT LE PARC A MOYEN TERME				
Richesse variable (charge stratifiée)	CO — 80 % HC ↗ (→ catalyseurs) NO _x — 60 %	+ 5 à 10 % avec les moteurs actuellement industrialisés — Gain théoriquement possible	— Réduction possible de l'exigence en octane — Complication mécanique — Perte de puissance avec les prototypes actuels	1985-1990
APPLICABLE A DES FLOTTES SPÉCIALISÉES				
Moteur à G.P.L. G.N.L.	CO — 80 % HC ↘ ↗ (à faible richesse) NO _x — 40 % (à faible richesse) pas d'émission de plomb	— 5 à 10 %	— Stockage encombrant et lourd — Coût d'installation plus élevé — Disponibilité limitée — Politique fiscale à définir	1980
Moteur à hydrogène	CO — 99 % (lubrifiant) HC — 60 % NO _x — 60 %	?	— Problèmes de distribution et de stockage à bord du véhicule non résolus — Problème de sécurité — Perte de puissance — Coût élevé	> 1990

Type de moteur	Effets sur les émissions/72	Effets sur la consommation d'énergie/72	Avantages et inconvénients	Délai possible en série
Conversion préalable du carburant	CO — 80 % HC ↘ NO _x — 60 % (méthanol)	? (essence) favorable (méthanol)	— Complexité — Problème des régimes transitoires et du démarrage — Perte de puissance	1990
Electrique Accumulateurs au plomb	Pas de polluants	Favorable en circulation urbaine	— Silencieux — Agrément de conduite — Lourd et encombrant (avec accumulateur au plomb) — Faible autonomie (avec accumulateur au plomb) — Temps de recharge — Coût élevé	1980-1985 pour service urbain
Systèmes hybrides	CO ↘ HC ↘ NO _x ?	Favorable en principe	— Complexité — Encombrement et poids — Coût élevé	1990
ENVISAGEABLE POUR LE PARC A LONG TERME				
Moteur à vapeur	CO HC — 90 % NO _x	Défavorable	— Silencieux — Polycarburant — Poids et encombrement élevés — Complexité — Coût élevé	?

Type de moteur	Effets sur les émissions / 72	Effets sur la consommation d'énergie / 72	Avantages et inconvénients	Délai possible en série
Moteur Stirling	CO HC NO _x — 90 %	Favorable	<ul style="list-style-type: none"> — Silencieux — Polycarburant — Complexité — Coût élevé 	> 1990
Turbine à gaz	CO HC NO _x — 90 % — 80 % (nouvelles chambres de combustion)	Défavorable en circulation urbaine (espoir d'amélioration grâce à de nouveaux matériaux réfractaires)	<ul style="list-style-type: none"> — Relativement polycarburant — Faiblesse des accélérations — Coût élevé 	> 1990 (pour l'automobile)
Electrique Accumulateur (Na — S ou Li — S)	Pas de polluants	Favorable en circulation urbaine	<ul style="list-style-type: none"> — Silencieux — Agrément de conduite — Autonomie importante — Temps de recharge élevé — Coût élevé 	1995
Electrique Pile à méthanol	CO NO _x Pas d'émissions Risques d'émissions de méthanol (→ catalyseur)	Très favorable par rapport au moteur thermique à méthanol	<ul style="list-style-type: none"> — Silencieux — Agrément de conduite — Grande autonomie — Problèmes techniques non résolus 	> 1990
Electrique Piles à hydrogène	Pas de polluants	Très favorable par rapport au moteur à hydrogène	<ul style="list-style-type: none"> — Silencieux — Agrément de conduite — Grande autonomie — Problème de distribution de l'hydrogène et de stockage à bord du véhicule (mais stockage plus facile qu'avec un moteur thermique à hydrogène) — Coût élevé 	> 1990

3. PROBLÈMES ÉCONOMIQUES

Toutes les mesures prises pour réduire la pollution ont des répercussions plus ou moins notables sur les prix des véhicules : certains effets de substitution ou de transfert peuvent apparaître brutalement si des précautions ne sont pas prises.

Au plan international il est évident que l'application des mesures crée d'autant moins de déséquilibres que leur mise en œuvre est simultanée : une harmonisation européenne est en tout cas obligatoire de par le Traité de Rome.

Au plan national l'effet peut porter sur la position relative des marchés de l'occasion et du neuf (les véhicules d'occasion ayant une moyenne de pollution plus élevée), sur les rapports entre véhicules de « bas de gamme » (petites cylindrées) et les véhicules plus puissants, sur les rapports entre la production automobile et d'autres consommations.

Une intervention trop radicale dans le domaine de la pollution pourrait également entraîner un ralentissement dans la mise en œuvre d'améliorations techniques ou d'éléments de confort (dont la progression est évidente d'année en année), voire dans l'application de mesures de sécurité liées au véhicule, et un accroissement de la consommation.

Il est indispensable d'échelonner dans le temps les contraintes et de choisir un ordre de priorités. Il faudrait par exemple mesurer l'intérêt d'une protection efficace contre le bruit, d'une amélioration de la sécurité ou celui d'une lutte contre l'évaporation des carburants. Une stratégie doit être mise au point en considérant l'automobile comme un ensemble formant un tout mais également ouvert à d'autres systèmes économiques ; il existe des rapports évidents entre la pollution de l'air, le bruit, la consommation et le système fiscal — actuellement établi en France sur la cylindrée —. Il existe d'autres rapports avec les industries du carburant : le problème du plomb en est un exemple.

3.1. Elasticité du marché

Les études récentes de l'INSEE (1) fournissent une prévision à moyen terme du parc automobile et permettent d'apprécier l'influence sur ce parc du taux

(1) Economie et Statistiques, 95 (décembre 1977) - Bientôt vingt millions d'automobiles.

de croissance du revenu réel (à francs constants) et du taux de croissance du prix réel des voitures neuves sans que l'on distingue dans cette dernière augmentation la part due à l'anti-pollution de celles dues à la réduction du bruit ou à l'augmentation de la qualité (sécurité, confort).

Les modèles élaborés, qui tiennent compte de la « multi-motorisation » des ménages, sont ajustés sur les données de la période 1960-1975 et ont été utilisés pour effectuer des projections pour la période 1975-1985.

Les estimations obtenues sont résumées ci-dessous, pour les hypothèses suivantes :

— croissance du revenu réel, par ménage : + 15 % en 5 ans (de 1975 à 1980 et de 1980 à 1985) ce qui correspond à un taux d'accroissement annuel de 2,8 % donc plus faible que pour la période passée (plus de 4 % par an pour la période 1960-1975) ;

— croissance du prix réel des voitures correspondant approximativement au taux moyen de croissance de 1,4 % par an constaté pendant la période récente de hausse des prix réels (1968-1975) soit + 15 % pour la période 1975-1985.

Année	1960	1965	1970	1975	1980	1985
Parc (janvier) en milliers	4 782	8 117	11 179	14 413	17 493	20 751
Augmentation du parc en 5 ans, en milliers		3 335	3 062	3 234	3 080	3 258

Avec ces hypothèses, nous constatons que le développement du parc se poursuit de manière approximativement linéaire. Notons que la projection 1980 est analogue à celle effectuée par la Chambre Syndicale des Constructeurs Automobiles.

La projection du volume annuel des immatriculations de voitures neuves demanderait une analyse de la structure du parc selon l'âge et la formulation d'hypothèses précises sur l'évolution de la durée de vie des voitures. Nous noterons simplement que le développement linéaire du parc devrait entraîner une croissance sensible des immatriculations annuelles.

L'évolution du parc est sensible à la croissance du revenu réel. D'après les modèles de l'I.N.S.E.E. (et ceci est confirmé par les modèles en cours d'élaboration à l'I.R.T.), une diminution de 1 % du taux annuel d'accroissement (+ 10 % en 5 ans au lieu de + 15 %) conduirait aux baisses relatives suivantes :

- en 1980 (5 ans) : - 2,2 %, soit environ 380 000 voitures en moins ;
- en 1980 (10 ans) : - 3,1 %, soit environ 640 000 voitures en moins.

Notons également que les modèles de l'I.N.S.E.E. montrent qu'un resserrement de l'éventail des revenus, pour une même croissance du revenu moyen, conduirait à une croissance sensible du parc : de 1975 à 1985 une croissance relative modulée entre - 10 % pour les catégories socio-professionnelles à revenu élevé et + 10 % pour les catégories les moins aisées, conduirait à une augmentation du parc d'environ 400 000 voitures.

Nous en déduisons facilement qu'une diminution de 1 % du taux annuel d'accroissement du revenu, de 1975 à 1985, accompagnée d'un resserrement de l'éventail réduirait de moitié seulement la croissance du parc (— 400 000 voitures au lieu de — 800 000).

D'après les modèles de l'I.N.S.E.E., une augmentation de 1 % du taux annuel d'accroissement du prix réel des voitures neuves (en 10 ans : + 27 % au lieu de + 15 %) conduirait aux baisses relatives suivantes du parc :

- en 1980 (5 ans) : — 1,6 % soit environ 280 000 voitures en moins,
- en 1980 (10 ans) : — 3,1 % soit environ 640 000 voitures en moins.

Toutefois, ces résultats ne doivent être considérés que comme des ordres de grandeur, les élasticités des taux d'équipement et de multi-équipement des ménages en voitures particulières par rapport au prix réel des voitures neuves restant à confirmer.

3.2. Influence sur la gamme automobile

L'application de mesures radicales aurait pu conduire globalement, pour le prix de petites voitures, à une augmentation relativement plus grande que pour celui des grosses d'où un resserrement de la gamme. En fait, cette augmentation est moins sensible car la réglementation est adaptée aux possibilités techniques et permet aux petites voitures de se passer de dispositifs anti-pollution chers.

Il ne faut pas oublier qu'en 1975, 30 % des voitures produites en France avaient une cylindrée inférieure à 1 000 cm³ et qu'on ne peut toucher trop brutalement ce marché sans répercussions économiques graves.

3.3. Incidence sur la consommation d'énergie

3.3.1. LES DONNÉES DU PROBLÈME

La pollution engendrée par les véhicules automobiles dans un contexte urbain déterminé peut être analysée comme résultant de trois catégories de facteurs :

a) les émissions des véhicules en circulation réelle, chaque véhicule étant pris isolément ;

b) les conditions de circulation de l'ensemble des véhicules (volume du trafic, conditions d'écoulement, influence du type d'infrastructure) conduisant à un taux de pollution potentiel émis par ces véhicules ;

c) l'environnement urbain permettant une plus ou moins grande diffusion des émissions globales des véhicules (conditions climatiques, sens des vents, disposition et hauteur des immeubles, espaces verts...).

La consommation d'énergie est en ce qui la concerne influencée par les catégories a) et b), il convient donc d'étudier les relations existant entre ces deux objectifs au niveau de chacune de ces catégories de facteurs.

En ce qui concerne les facteurs de catégorie b), il est tout d'abord évident que, à véhicules et conditions de circulation équivalents, la consommation d'énergie, de même que les quantités de polluants émis, sont directement proportionnels au volume de trafic. Par ailleurs, une amélioration des conditions de circulation correspond, à trafic constant en zones urbaines, à une réduction du nombre d'arrêts et de redémarrages des véhicules, élément favorable aussi bien à la réduction des émissions en oxyde de carbone et en hydrocarbures qu'à la réduction de la consommation. On peut donc en conclure qu'un strict contrôle du développement du trafic automobile et une amélioration des conditions d'écoulement de celui-ci en zones urbaines concourent directement à la réduction des émissions polluantes et à la réduction de la consommation d'énergie.

Les facteurs de catégorie a) comprennent essentiellement :

a1) le type de véhicule (taille, émissions à la réception, émissions des véhicules de série) ;

a2) l'état de dérèglement du véhicule par rapport au réglage de référence préconisé par le constructeur ;

a3) le style de conduite du conducteur.

Une amélioration du style de conduite réduit la demande d'énergie globale au niveau des roues du véhicule et l'importance des régimes transitoires, elle permet donc de réduire la consommation et l'ensemble des polluants émis.

Dans la mesure où les contraintes réglementaires permettent de définir des réglages de base optimaux en ce qui concerne la consommation d'énergie et satisfaisants sur le plan des émissions polluantes, l'amélioration du réglage des véhicules est favorable aussi bien à la réduction de la consommation d'énergie qu'à celle des émissions polluantes, c'est le cas en ce qui concerne les véhicules existant en Europe.

3.3.2. INFLUENCE DE LA RÉGLEMENTATION DES ÉMISSIONS POLLUANTES SUR LA CONSOMMATION D'ÉNERGIE

La consommation d'énergie des véhicules automobiles actuels dépend de deux types de facteurs :

- ceux déterminant l'appel de puissance du véhicule au niveau des pistons moteurs (poids, aérodynamisme et rendements mécaniques) ;
- ceux déterminant le rendement thermodynamique du moteur.

Toutes les actions visant à réduire la consommation en agissant sur le premier point ont un effet direct équivalent sur les niveaux de polluants émis à caractéristiques de combustion équivalentes. Ce fait a une traduction directe au niveau de la réglementation puisque celle-ci a fixé des seuils réglementaires croissant avec le poids des véhicules. Une réduction du poids moyen du parc automobile permet donc, à réglementation constante, de réduire la masse globale des polluants émis.

Les actions visant à modifier le déroulement de la combustion ont des effets variables sur la pollution et la consommation.

Pour les moteurs à allumage commandé conventionnels, les relations entre ces divers effets sont bien connues en régime stabilisé, et décrites dans d'autres paragraphes de ce rapport.

En fait, le fonctionnement des moteurs en zones urbaines est très éloigné du régime stabilisé, et les niveaux de CO et d'HC émis dépendent pour une large part, des fonctionnements en régime transitoire.

Il a été montré qu'il était possible, par une amélioration du fonctionnement des systèmes de carburation, notamment en régimes transitoires, de réduire par rapport à la situation actuelle dans des proportions très considérables, les émissions de CO et d'HC et dans des proportions plus légères la consommation sans augmenter significativement les émissions en oxydes d'azote des moteurs. Des techniques plus avancées peuvent se révéler, à moyen et long terme, capables de faire réaliser des gains significatifs sur l'ensemble des polluants et sur la consommation.

Il existe également des actions ayant pour objet la réduction du niveau de polluants émis par traitement des gaz d'échappement ; ces procédés peuvent imposer des contraintes au niveau des caractéristiques de la combustion et avoir ainsi une influence indirecte sur la consommation. Ces divers procédés sont décrits en détail dans le rapport avec leur influence sur chacun des paramètres. On se contentera ici de souligner que la solution la plus efficace actuel-

lement envisageable à long terme permettant de réduire, dans des proportions considérables, les émissions polluantes est la solution catalytique. L'emploi du catalyseur multifonctionnel n'imposerait que la surconsommation entraînée par la suppression du plomb, soit 4 à 6% par rapport à un moteur actuel qui accepterait les contraintes réglementaires relatives aux émissions.

En outre, cette solution barre la route à toute nouvelle réduction de consommation du fait que le fonctionnement du catalyseur multifonctionnel impose une richesse égale à un.

Il convient enfin de noter que la réduction du gaspillage de carburant par évaporation permettrait de réduire à la fois la consommation, et dans des proportions importantes, les émissions d'hydrocarbures notamment dans les régions à fort ensoleillement.

3.3.3. RÉSUMÉ

Les objectifs d'économie d'énergie et de réduction des polluants émis par les véhicules automobiles (CO et HC) sont très largement convergents. Toutes les actions visant à mieux contrôler la croissance et l'écoulement du trafic dans les zones urbaines, celles visant à un meilleur entretien des véhicules, celles conduisant enfin à la réduction du poids et à l'amélioration des rendements mécaniques des véhicules permettent de réduire dans des proportions équivalentes, consommation d'énergie et masses de polluants émis.

L'évolution de la réglementation des émissions polluantes en Europe a, par ailleurs, constitué depuis plusieurs années et dès avant la crise de l'énergie, le principal facteur d'amélioration du rendement énergétique des moteurs. En effet les émissions de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés constituent les indices d'une combustion de mauvaise qualité engendrant une surconsommation énergétique. Une réduction progressive des normes d'émission de ces produits devrait dans la mesure où elle accompagne les progrès techniques comme cela a été le cas ces dernières années, être un élément stimulant le développement des solutions techniques permettant de réduire la consommation. Les progrès potentiels apparaissent en effet encore importants notamment au niveau du fonctionnement des moteurs en régimes transitoires.

La réduction des normes d'émissions d'oxyde d'azote au niveau actuellement prévu pour 1979 n'apparaît pas de nature à empêcher l'amélioration du rendement des moteurs actuels. En ce qui concerne l'évolution ultérieure dans ce domaine, celle-ci ne devrait être décidée qu'après une analyse approfondie de l'influence de ces polluants sur la santé et l'environnement en général, et un examen des conséquences d'un abaissement des normes réglementaires sur le rendement énergétique des moteurs futurs.

3.4. Incidences générales

Si on veut rationaliser les choix des dépenses, il est possible d'avoir des estimations approchées dans les domaines de la sécurité et de la consommation d'énergie car on peut calculer le coût des accidents de la route et des importations de produits pétroliers pour la collectivité.

Il n'en est pas de même dans le domaine de la pollution due aux véhicules automobiles.

3.4.1. L'imperfection des outils de prévision économique incite à recommander la prudence et la progressivité dans l'établissement de nouvelles normes, le marché risquant d'être assez sensible, surtout si les mesures prises vont à l'encontre d'une utilisation des véhicules dans les zones urbaines.

Aucune conséquence sur le marché n'a pu être décelée après la mise en place des normes de 1972, et, bien qu'il soit encore trop tôt pour en dresser le bilan, l'application des normes 1976 ne paraît pas avoir eu plus d'effets sur la demande. Il n'en demeure pas moins que les conséquences sur le marché découlant de la mise en place de nouvelles normes doivent être décelées le plus rapidement possible pour pouvoir doser l'application des mesures suivantes.

3.4.2. Il pourrait être nécessaire de moduler les règlements futurs en fonction de la taille des voitures car ce sont les voitures du bas de gamme qui répondent le plus facilement aux problèmes posés par l'urbanisation croissante : cela éviterait des à-coups fâcheux pour l'industrie automobile française et assurerait la survie des voitures populaires de bas de gamme, accessibles aux catégories socio-professionnelles les plus modestes.

4. CONCLUSIONS ET PROPOSITIONS

4.1. Orientations générales

Au terme des études qui ont abouti à la rédaction du présent rapport, le groupe de travail constate qu'avec les normes 1976 (Règlement n° 15 amendé de la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies) et les perspectives de circulation dans les zones denses jusqu'en 1985 (et sans doute au-delà), le niveau de pollution de l'air dans les zones les plus concentrées du territoire français, sera, pour ce qui est du monoxyde de carbone, probablement inférieur d'environ 30 % par rapport au niveau constaté dans Paris intra-muros en 1975, et un abaissement sensible (20 %) devra être constaté en banlieue dense et dans les grandes agglomérations de province. Ce niveau peut être abaissé par un renforcement progressif des normes à l'émission et par un développement des études et recherches.

4.2. Propositions relatives à la réglementation

4.2.1. Le groupe de travail propose que le Gouvernement fixe pour objectifs de qualité d'air ambiant pour le monoxyde de carbone, les hydrocarbures et les oxydes d'azote, les objectifs retenus par les instances communautaires.

4.2.2. Le groupe de travail prend acte de la modification récente du règlement n° 15 de Genève selon laquelle, à partir du 1^{er} octobre 1979, les limites des émissions seront réduites de 35 % pour le monoxyde de carbone et de 25 % pour les hydrocarbures par rapport aux valeurs initiales du règlement n° 15, et de 15 % pour les oxydes d'azote par rapport aux limites précédentes.

Le groupe de travail propose que cette modification du règlement de Genève soit transposée dans la réglementation française.

Compte tenu de l'étude prévisionnelle faite dans ce document, le groupe estime que des réductions plus sévères ne devraient pas intervenir avant 1982. Le groupe précisera ses intentions sur le « pas suivant » dans les meilleurs délais.

Dans le cas où des études physiologiques apporteraient la preuve d'une nocivité importante des gaz d'échappement à long terme chez les individus ou si les niveaux de pollution mesurés avaient tendance à augmenter de façon alarmante, surtout pendant de longues périodes, la position précédente devrait être revue et des réductions plus sévères seraient à envisager tout en faisant le maximum pour que ces réductions restent compatibles avec les réductions de la consommation d'énergie des véhicules.

4.2.3. Une réflexion devra être menée pour décider à plus longue échéance s'il est préférable de porter à nouveau tous les efforts sur la réduction des émissions de NO_x , sur la réduction des émissions d'hydrocarbures dits réactifs ou sur la réduction simultanée de ces deux polluants. Cette réflexion s'appuiera sur les travaux théoriques et expérimentaux menés actuellement dans le monde industrialisé dans le but de prévoir les épisodes de formation des brouillards photochimiques et sur les campagnes de mesures réalisées en Europe.

4.2.4. Le groupe de travail souhaite que les évaporations de carburant soient limitées autant qu'il est possible avec les techniques existantes.

4.2.5. En ce qui concerne les véhicules automobiles à moteur Diesel, le groupe de travail propose d'étudier l'établissement d'une norme tenant compte de tous les polluants sensibles et autres émis par ces moteurs.

4.2.6. Le groupe de travail estime que, dans l'état actuel de nos connaissances, le niveau actuel des émissions de composés du plomb ne semble pas justifier au regard de la santé des mesures réglementaires. Il estime, notamment, que par suite de la réglementation mise en application en 1976 et limitant les teneurs maximales en plomb à 0,55 g Pb/litre au lieu de 0,64 g Pb/litre précédemment, il n'y a pas lieu de prescrire une nouvelle réduction des teneurs en plomb actuellement autorisées dans les carburants. Cependant, il propose que le problème du plomb soit réexaminé en 1979 à la lumière des études d'ordre sanitaire et technologique qui auront pu être faites.

4.3. Propositions relatives aux mesures des polluants dans l'atmosphère

Le groupe de travail estime indispensable de renforcer la surveillance des niveaux de pollution par les gaz d'échappement des véhicules automobiles : elle doit être poursuivie à Paris et développée dans les autres grandes villes de France en constituant des réseaux publics permettant d'obtenir des résultats

comparables, ce qui implique une normalisation des appareils, du point de vue de leur sensibilité et leur fiabilité, des emplacements des capteurs et des techniques d'étalonnage.

Cette surveillance devra porter non seulement sur le monoxyde de carbone mais aussi sur les hydrocarbures dits « réactifs » (autres que méthane) et surtout sur les oxydes d'azote — précurseurs des brouillards photochimiques oxydants — ainsi que sur le plomb.

Ces mesures devront être menées de façon permanente sur le plan international et confrontées périodiquement.

4.4. Propositions relatives aux véhicules en circulation

Les améliorations apportées aux véhicules neufs ne peuvent avoir une influence sur les niveaux de pollution observés dans l'air des villes que pour autant que les véhicules soient maintenus, tout au long de leur existence, en bon état de fonctionnement.

A cet effet, il est recommandé de faire effectuer les opérations d'entretien du moteur conformément aux préconisations du constructeur et de faire contrôler le taux d'émission de CO au régime du ralenti. Le groupe constate avec satisfaction que cette opération est devenue possible en raison du très grand nombre de professionnels et de centres techniques qui sont aujourd'hui équipés d'un appareil homologué permettant la mesure du CO dans les conditions réglementaires.

Compte tenu des énormes obstacles économiques et pratiques auxquels se heurte la réalisation d'un système satisfaisant de contrôle périodique des véhicules, du nombre nécessairement limité des contrôles opérés sur les véhicules en service et de l'impossibilité de juger de la conformité d'un véhicule à la réglementation sans disposer d'un appareil homologué, le groupe considère que l'exécution par les particuliers des contrôles prévus au précédent alinéa constitue une preuve de leur bonne foi quant à leur volonté de maintenir leur véhicule en conformité avec la réglementation.

Une éducation des conducteurs serait également opportune car certaines conditions de conduite (accélération, utilisation abusive du starter...) sont génératrices de pollution et de consommation excessives.

Enfin, bien que le parc automobile actuel soit amené à disparaître progressivement par renouvellement, le problème peut être posé du contrôle particulier des véhicules très usagés.

4.5. Propositions de recherches

L'évaluation des effets de la pollution émise par l'automobile reste toujours des plus difficiles. Il convient donc de poursuivre vigoureusement les recherches dans ce domaine tout en persévérant dans l'étude de solutions techniques visant à réduire les émissions et à augmenter le rendement énergétique des véhicules.

4.5.1. ÉVALUATION DES EFFETS DES POLLUANTS SUR L'HOMME, LES VÉGÉTAUX ET LES MATÉRIAUX

Nous distinguerons deux catégories de travaux : les uns, classiques, ont pour objet les effets physiologiques sur un individu, sur un animal, sur un végétal, les autres définissent des méthodes d'estimation de l'exposition à la pollution de telle ou telle catégorie de la population.

a) La nuisance des oxydes d'azote émis par les automobiles devrait être l'objet de recherches prioritaires car leurs effets directs, au niveau de la fixation dans le sang par exemple, sont loin d'être connus.

De même, les différents hydrocarbures émis par les automobiles devront être inventoriés et des recherches seront entreprises sur les effets directs de certains hydrocarbures notamment les hydrocarbures polyaromatiques et polycycliques.

En ce qui concerne le monoxyde de carbone, bien que les effets directs dus à certaines expositions soient assez bien connus, en particulier les liens entre les maladies cardiovasculaires et la teneur en carboxyhémoglobine, quelques points précis restent à étudier.

Bien entendu, il convient de tenir compte des travaux importants menés dans le monde et, notamment, aux Etats-Unis sur la toxicologie de ces composés.

Enfin, pour mieux cerner les effets indirects dus aux polluants automobiles, la France devrait procéder à l'estimation des risques de smog atmosphérique oxydant dans les diverses régions exposées.

Les laboratoires français de physiologie animale et cellulaire pourraient être intéressés aux recherches sur la pollution automobile au double titre des effets directs des polluants sur les animaux domestiques ou non et de l'extrapolation à l'homme.

On pourrait envisager que des études épidémiologiques très précises puissent être menées en France, éventuellement — vu l'ampleur de certaines d'entre elles — dans le cadre élargi de la C.E.E. Il est à noter que la lenteur des effets

dus à la pollution rend ces études plus délicates que les recherches sur les cellules ou les animaux en laboratoire.

Les polluants particuliers tels que l'amiante et les métaux lourds (Pb, Cd, Cu, Cr) devront faire l'objet d'un recensement visant à cerner l'ampleur de leur dispersion dans l'air ambiant et de recherches pour l'évaluation des risques biologiques qui leur sont liés.

L'étude de la réponse physiologique aux polluants dits sensibles : odeurs, fumées, devra être poursuivie.

b) La description de l'impact des diverses pollutions de l'automobile sur la population devra prendre en compte, non seulement l'exposition de la population active, celle des automobilistes et des piétons, mais aussi l'exposition de la population à l'intérieur des locaux. On développera en particulier les travaux nécessaires pour estimer l'impact de la pollution sur un individu soumis de manière répétitive à certains cycles de pollution — cycles journaliers par exemple.

Bien entendu, ces études d'impact impliquent l'amélioration des méthodes d'évaluation et de prédiction des émissions et des teneurs de l'air pour les divers polluants. Il serait nécessaire de constituer des indicateurs tenant compte à la fois des teneurs rencontrées et des populations exposées à ces teneurs et aussi de mettre en œuvre un ensemble d'observations de la situation existante.

Dans ce cadre, des études d'enjeu et d'alternatives portant par exemple sur l'impact du transfert moral — c'est-à-dire du remplacement progressif de l'usage du véhicule particulier par celui du véhicule de transport en commun par exemple — devraient être poursuivies pour évaluer les modifications apportées à long terme au niveau de la pollution et de la consommation de carburant.

4.5.2. RECHERCHES SUR LES VÉHICULES CLASSIQUES

Les moteurs actuels sont le résultat d'une évolution technologique qui leur a permis d'être bien adaptés aux exigences de plus en plus variées ou sévères des utilisateurs dans tous les pays d'utilisation sous tous les climats. Leurs qualités d'économie, de souplesse et de fiabilité sont hautement appréciées.

Il est loin d'être certain que des moteurs complètement nouveaux pourront donner un jour entièrement satisfaction et leur mise au point demandera encore de longues recherches, leur industrialisation de lourds investissements et on peut penser que, sauf bouleversement de nos connaissances sur la pollution atmosphérique par l'automobile, la nécessité de faire appel en grande série à des moteurs de type nouveau pour l'ensemble du parc ne devrait pas se faire sentir avant 1990-1995. La construction automobile va donc évoluer

avec la double nécessité de réduire la consommation et de satisfaire à des normes internationales antipollution et de sécurité croissante.

Dans ces conditions, le groupe estime souhaitable de financer parmi les travaux de recherches correspondant aux deux exigences simultanées de réduction de la pollution et de la consommation :

- l'amélioration du contrôle du fonctionnement du moteur pendant son utilisation (par exemple, grâce à l'électronique), ainsi que des méthodes de diagnostic (stabilité des réglages, régulations) ;
- l'amélioration de la préparation du mélange carburé et de sa répartition entre les différents cylindres ;
- l'étude expérimentale de la suralimentation sur les petits moteurs ;
- la poursuite et le développement des solutions de stratification ou de systèmes fonctionnant avec des mélanges très pauvres ;
- l'amélioration du rendement des accessoires liés au fonctionnement du moteur (alternateur, radiateur, pompes...) ;
- la recherche prospective et expérimentale de transmissions à variation continue ;
- la diminution importante de la gêne sensible des Diesels (odeurs, fumées), ce qui permettrait d'exploiter au mieux les avantages énergétiques aux charges partielles de ces moteurs.

Plus spécifique de la pollution sont les trois actions proposées de :

- poursuite des recherches sur les réacteurs catalytiques d'oxydation ou multifonctionnels fonctionnant avec de l'essence sans plomb ou avec plomb (fiabilité, endurance, moindre coût) ;
- étude des conditions de ventilation des véhicules pour diminuer la pollution actuellement très élevée que subit l'automobiliste urbain ;
- poursuite des expériences de moteurs fonctionnant au gaz liquéfié en vue de l'application à des flottes très spécialisées, les gaz de pétrole ou le gaz naturel étant dans un premier temps préféré à l'hydrogène.

Toutes ces recherches doivent s'appuyer sur des essais comparatifs menés dans le cadre de cycles représentatifs pour juger de la valeur des objectifs proposés ou atteints et, dans le cas de prototypes par des essais sur route, ces cycles étant à définir en fonction du type de véhicule et de son utilisation (petite voiture de ville, livraisons porte à porte, ...). Par ailleurs, certains des thèmes de recherche sur les véhicules classiques seront beaucoup plus ambitieux que ceux menés à ce jour (programme PREMICES). Une recherche analogue doit être menée pour les innovations technologiques envisagées dans la suite de ce document.

4.5.3. LES INNOVATIONS POUR LA PROPULSION AUTOMOBILE

Il est indispensable d'engager ou de poursuivre les recherches qui doivent permettre à nos industries de développer en temps utile les solutions nouvelles

qui deviendraient nécessaires en tenant compte du long délai d'industrialisation prévisible et de l'importance exceptionnelle des investissements à mettre en jeu.

L'importance des coûts d'étude sur les moteurs thermiques nouveaux et l'évaluation de leur intérêt potentiel ayant découragé les plus grands laboratoires, les recherches menées en France se sont limitées aux véhicules électriques et à l'électrochimie.

Il est donc proposé de poursuivre les recherches sur les véhicules à propulsion électrique, tout spécialement sur la mise au point des différentes filières de piles à combustible et de suivre les progrès à l'étranger du moteur à vapeur, de la turbine à gaz et du moteur Stirling.

Véhicule électrique

Le véhicule à accumulateurs au plomb ne permettra pas, malgré les progrès constants, d'améliorer fortement les performances, aussi ce véhicule restera-t-il réservé aux flottes spécialisées.

Par contre, un véhicule équipé d'une pile à combustible pourrait disposer de performances ville et route analogues à un véhicule actuel.

En conséquence, un effort important doit être consacré à l'étude des différentes filières de piles à combustible et au problème posé par le stockage des sources d'énergie embarquables (hydrogène, méthanol). En parallèle, un effort d'amélioration devra porter sur les accumulateurs légers de type Sodium-Soufre par exemple et sur l'ensemble propulseur (réduction de l'appel de puissance exigé par le déplacement et optimisation de la transmission). De toute manière le développement de piles à combustible ou d'accumulateurs nouveaux a un intérêt qui dépasse largement le secteur de l'automobile.

La solution d'un véhicule hybride à transmission électrique devra être évaluée avec précision sur les plans énergétique et des émissions.

Moteur à vapeur

Très mal placé à cause de son encombrement et son faible rendement, les réalisations et les projets futurs devront être cependant suivis avec attention.

Turbine à gaz

Bien que la petite turbine à gaz paraisse difficile à réaliser, il convient de suivre les progrès obtenus avec des turbines de moyenne puissance montées sur des voitures américaines depuis quelques années.

La turbine de forte puissance pourrait équiper à plus court terme les véhicules industriels.

Moteur Stirling

Il faut se tenir au courant des possibilités d'application du moteur Stirling à l'automobile et suivre avec attention les progrès constants et récents réalisés dans la simplification mécanique.

Enfin, bien qu'il ne s'agisse pas d'innovation au niveau du système propulsif, de nombreux pays industrialisés (Etats-Unis, Allemagne, Grande-Bretagne) envisagent de transformer le charbon en composés liquides susceptibles d'être raffinés comme le pétrole. Plusieurs procédés sont préconisés et quelques usines pilotes fonctionnent à travers le monde. Il apparaît donc nécessaire d'examiner dès à présent la nature des polluants émis par des véhicules ainsi alimentés et le coût énergétique global qui en découlerait.

4.5.4. COUT ET FINANCEMENT DES RECHERCHES

Evaluation des effets de la pollution sur la santé

Les recherches épidémiologiques et les études toxicologiques sont longues et d'un coût élevé, leur financement notamment dans le cadre du Comité sur la pollution atmosphérique du ministère de la Culture et de l'Environnement doit être amélioré : si l'on désire maintenir la valeur des travaux et des recherches à un niveau international, un minimum de 1 MF par an paraît souhaitable soit environ 1/5 du coût total des recherches du C.P.A. A cet effet, il est souhaitable que l'enveloppe financière annuelle du Comité soit augmentée. La définition de méthodes d'évaluation des impacts n'exige que des moyens beaucoup plus limités de l'ordre de 150 KF par an (1,5 chercheur).

Recherches et améliorations au niveau des véhicules Recherche sur les véhicules classiques

Les recherches appliquées sur les véhicules classiques sont financées partiellement par l'Etat dans le cadre de l'A.T.P. Energie - Nuisances ainsi que dans les cadres des Comités mécanique, thermodynamique et électronique automobile de la D.G.R.S.T., ces aides étant accordées à de grands centres de recherches dépendant des secteurs privé et nationalisé plus ou moins liés à la construction automobile et à plusieurs bureaux d'études indépendants très bien équipés et très compétents.

Depuis 1973, les crédits engagés et consacrés à la réduction de la pollution et à la réduction de la consommation des véhicules ont évolué de la façon suivante dans le cadre de l'A.T.P. Energie - Nuisances :

- 1973 : 3,50 MF ;
- 1974 : 4,65 MF ;
- 1975 : 6,00 MF ;
- 1976 : 5,50 MF ;
- 1977 : 5,50 MF.

Compte tenu des résultats déjà obtenus, mais surtout du fait que la réduction de la pollution se double maintenant d'une réduction simultanée et impérative de la consommation, le groupe de travail souhaite que l'effort d'aide à la recherche dans le cadre de l'A.T.P. Energie - Nuisances soit progressivement relevé pour atteindre un niveau moyen d'environ 10 MF/an (francs 1977) au cours des cinq prochaines années. Ce relèvement permettrait ainsi d'accompagner l'accroissement nécessaire de l'effort de recherche des constructeurs automobiles.

Le rythme de financement et d'engagement souhaité pourrait être le suivant :

- 1978 : 7,5 MF ;
- 1979 : 8,5 MF ;
- 1980 : 10,5 MF ;
- 1981 : 11,5 MF ;
- 1982 : 12,5 MF.

Le groupe de travail considère que parmi tous les thèmes de recherches envisageables, certains thèmes très prometteurs sont à financer en priorité :

- ** — amélioration de la préparation du mélange carburé ;
- ** — amélioration de la distribution (distribution variable) ;
- ** — poursuite des recherches de solutions de stratification sur les moteurs 2 temps et 4 temps (mélanges très pauvres) ;
- * — recherches sur les transmissions à variation continue ;
- ** — étude de l'optimisation permanente de la marche d'un moteur (capteurs régime, charge, avec électronique associée) ; moteurs à essence et Diesel ;
- amélioration du rendement des accessoires (alternateurs, pompes, ventilateur) sur véhicules légers et poids lourds ;
- recherches de catalyseurs multifonctionnels permettant d'utiliser de l'essence plombée ;

** : Coût supérieur à 1 MF/an.

* : Coût compris entre 0,8 et 1 MF/an.

* — emploi de carburants issus de synthèse ou de conversion catalytique partielle ; études expérimentales (méthanol, essence-hydrogène par conversion, ...) ;

— recherches fondamentales sur les lois de combustion avec différentes formes de culasse (recherche universitaire).

Le groupe de travail estime qu'un tel budget s'avère indispensable si l'on veut accélérer l'innovation pour maintenir un bon niveau technologique et ne pas accuser un retard préjudiciable par rapport à l'innovation internationale dans le domaine des réductions de la pollution et de la consommation des véhicules automobiles.

Recherches sur les systèmes non classiques. Innovations

Dans le domaine des systèmes non classiques et des nouveaux moteurs thermiques applicables à la traction automobile (véhicules hybrides légers ou lourds, turbines à gaz, moteur Stirling), un suivi technologique permanent de recherches menées à l'étranger sur l'ensemble des composants pourrait être assuré par l'I.R.T. Parallèlement l'aide à la recherche devrait permettre d'expérimenter certains composants ou sous-ensembles particulièrement intéressants pour réduire les émissions de polluants et la consommation (transmission hydrostatique par exemple).

Pour ce qui est des véhicules électriques, le groupe de travail souhaite :

— que les actions menées par plusieurs comités dépendant de la D.G.R.S.T. soient poursuivies dans le domaine de l'amélioration des composants et des sous-ensembles (moteurs de traction, électronique associée) ;

— que l'action financée par la D.G.R.S.T., par l'intermédiaire du Comité « Générateurs électrochimiques », soit poursuivie dans le domaine des accumulateurs classiques ou nouveaux (fer-nickel, sodium-soufre) et dans le domaine des piles à combustible.

COMPOSITION DU GROUPE DE TRAVAIL

Président :

M. Michel FRYBOURG,
Directeur de l'Institut de Recherche des Transports.

Représentants des Ministères :

M. Bernard GAUVIN, rapporteur général, Ministère de l'Équipement et de l'Aménagement du Territoire ;

MM. Jean-Claude OPPENEAU, Raoul MONIN, Philippe VESSERON, Ministère de la Culture et de l'Environnement ;

M. Bernard LACOSTE, Ministère de l'Industrie, du Commerce et de l'Artisanat ;

MM. les Professeurs Paul CHOVIN, André ROUSSEL, Pierre BOURBON.

M. Michel JOUAN, Ministère de la Santé ;

M. Loïk LE FLOCH, Délégation Générale à la Recherche Scientifique et Technique ;

M. Jean-François VIVIER, Agence pour les Économies d'Énergie ;

M. Henri VIELLARD, Préfecture de police ;

Représentants des constructeurs d'automobiles :

MM. Pierre TIBERGHIEU, André CHEVENEZ, Régie Nationale des Usines Renault ;

MM. Jacques DESBOIS, Gérald ALLEGRET, Automobiles Peugeot ;

MM. André ESTAQUE, Jean-Jacques de LASSUS-SAINT-GENIES, S.A. des Automobiles Citroën ;

M. Jacques ROUSSEAU, Chrysler-France.

Représentant du Syndicat des fabricants d'équipement et de pièces pour automobiles :

M. André DUCHANGE.

Représentants de la Chambre syndicale de constructeurs d'automobiles :

MM. Michel MARTIN, Marc BEHAGHEL.

Représentant de l'Union technique de l'automobile et du cycle :

M. Edouard CHAPOUX.

Représentant de l'Institut français du pétrole :

M. Bernard SALE.

Représentants de l'Institut de recherche des transports :

M. Marc HALPERN-HERLA ;

M. Jean DELSEY, rapporteur.

**OUVRAGES DISPONIBLES
DANS LA COLLECTION « ENVIRONNEMENT »**

- Automobiles et nuisances. Pour un programme d'action (1971), n° 2.
- Sauvegarde du milieu naturel et urbain. I. La lutte contre les nuisances (1971), n° 3.
- Répertoire de films (1972), n° 6.
- Le développement de l'action des agences financières de bassin durant le VI^e Plan (1972), n° 10. (Edition en allemand).
- Pour une politique de lutte contre la pollution des mers. Rapports du G.I.P.M. (Groupe interministériel d'étude des problèmes de pollution de la mer) (1973), n° 12.
- Orientation et mise en œuvre de la politique de l'eau en France (éditions en français, en anglais, en allemand) (1973), n° 13.
- Une ville pilote pour la lutte contre les pollutions et les nuisances : la ville nouvelle du Vaudreuil (1973), n° 14.
- Livre blanc du Bassin Seine-Normandie (2 fascicules) (1973), n° 15.
- Paramètres de la qualité des eaux (hors collection) (1973).
- Inventaire du degré de pollution des eaux superficielles, rivières et canaux (1973), n° 16.
- Rapport d'activités du conseil de la recherche scientifique sur l'environnement, 1972 (1973), n° 18.
- Evaluation de l'environnement (1973), n° 19.
- La pollution par le plomb et ses dérivés (1974), n° 20.
- Evaluation du coût de la prévention de la pollution atmosphérique dans l'industrie en France (1974), n° 21.
- La pollution par les oxydes d'azote (monographie scientifique) (1974), n° 22.
- Les déchets solides. Propositions pour une politique (1974), n° 24.
- Guide administratif de la pêche fluviale (1974), n° 26.
- La pollution par le mercure et ses dérivés (Monographie scientifique) (1974), n° 27.
- La pollution par les composés organochlorés (1974), n° 28.
- Prévention et lutte contre les pollutions et nuisances des porcheries (1974), n° 29.
- Environnement et cadre de vie, dossier statistique, tome I : Description des milieux, les activités économiques et l'environnement, gestion des milieux, pollutions et nuisances (1974), n° 31.
- Environnement et cadre de vie, dossier statistique, tome II : Comparaisons internationales (1974), n° 32.
- Vers une 2^e génération de véhicules ? Les véhicules électriques (1974), n° 33.
- Jardins botaniques et arboretums en France (1974), n° 34.

- Rapport sur les relations entre le secteur de l'énergie et l'environnement dans une perspective à long terme (1974), n° 35.
- Pour un développement des véhicules électriques (rapport de M. Saulgeot) (1974), n° 36.
- Méthodologie et théorie économique de l'environnement (Groupe interministériel d'évaluation de l'environnement) (1975), n° 37.
- Rapport d'activités du Conseil de la Recherche scientifique sur l'environnement, 1973-1975 (1975), n° 38.
- Groupe interministériel d'évaluation de l'environnement. Rapport annuel 1974 (1975), n° 40.
- Données scientifiques générales sur le littoral de la Baie de Seine (1975), n° 41.
- Les indicateurs de l'environnement dans les zones industrielles (1975), n° 42.
- Agriculture - Environnement. Eléments pour une évaluation de l'espace rural (1976), n° 43.
- Usines propres. La technologie au service de l'environnement (1976), n° 44.
- La pollution de l'air en France en 1973 (1976), n° 45.
- Vers une évaluation du cadre de vie. Groupe interministériel d'évaluation de l'environnement (1976), n° 46.
- Rapport sur l'aménagement du temps (1976), n° 47.
- La télédétection (1977), n° 48.
- Rapport d'activité du Conseil de la recherche scientifique et technique sur l'environnement, 1974-1975 (1976), n° 49.
- Essai de géographie des risques écologiques (1976), hors collection.
- La recherche scientifique et technique sur l'environnement. L'eau, la recherche, l'environnement. Colloque de Rennes, mai 1975 (1976), hors collection.

ACHEVÉ D'IMPRIMER
SUR LES PRESSES DE
GRAPHIC EXPANSION S.A.

— N A N C Y —

D.L. n° 14355 - 2° trim. 1978