

PREMIERE SESSION ORDINAIRE DE 1985-1986

OFFICE PARLEMENTAIRE  
D'EVALUATION  
DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES

ARCHIVES

**RAPPORT**

*SUR LES FORMES DE POLLUTION ATMOSPHERIQUE  
A LONGUE DISTANCE  
DITES "pluies acides"*

RAPPORTEUR : M. Georges LE BAILL, Député.

Déposé sur le Bureau de l'Assemblée nationale  
par M. Philippe Bassinet  
Président de l'Office

Annexe au procès-verbal de la séance  
du Vendredi 13 décembre 1985

Déposé sur le Bureau du Sénat  
par M. Jean-Marie Rausch  
Vice-président de l'Office

Annexe au procès-verbal de la séance  
du Vendredi 13 décembre 1985

1

---

**Pollution et nuisances.** — *Agriculture — Air — Automobiles — Bois et Forêts — Carburants — Communautés européennes — Construction — Cours d'eau, étangs et lacs — Droit communautaire — Electricité — Energie — Environnement — Essence sans plomb — Etats-Unis — Industrie — Japon — Monuments historiques — Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques — Pétrole et produits raffinés — Pluies acides — Recherche — République fédérale d'Allemagne — Santé publique.*

La Délégation parlementaire dénommée Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, créée par la loi du 8 juillet 1983 a pour but d'informer le Parlement des conséquences des choix de caractère scientifique et technologique afin notamment d'éclairer ses décisions. A cet effet, elle recueille des informations, met en oeuvre des programmes d'étude et procède à des évaluations.

La Délégation est ainsi composée :

### DEPUTES

#### Titulaires:

MM. Philippe BASSINET  
Jean-Michel BELORGEY  
Claude BIRRAUX  
Robert CHAPUIS  
Raymond DOUYERE  
Didier JULIA  
Georges LE BAILL  
Louis ODRU

#### Suppléants

MM. Jean-Paul DURIEUX  
Guy BECHE  
Pierre MICAUX  
Jean-Pierre SUEUR  
Yves TAVERNIER  
Robert GALLEY  
Bruno VENNIN  
Vincent PORELLI

### SENATEURS

#### Titulaires:

Mme Danielle BIDARD-REYDET  
MM. Louis BOYER  
Josy MOINET  
Pierre NOE  
Louis PERREIN  
Jean-Marie RAUSCH  
Jacques VALADE  
Pierre VALLON

#### Suppléants

MM. Guy SCHMAUS  
Richard POUILLE  
Georges BERCHET  
Bernard PARMANTIER  
Robert PONTILLON  
Jean FAURE  
Bernard-Charles HUGO  
Michel SOUPLET

Président : M. Philippe BASSINET  
Vice-Président : M. Jean-Marie RAUSCH  
Secrétaires : Mme Danielle BIDARD  
M. Didier JULIA

La Délégation est assistée d'un Conseil scientifique ainsi composé:

MM. Jean-Pierre CAUSSE, Directeur général adjoint chargé de la recherche Cie Saint Gobain, François CHAPEVILLE, Professeur à l'Université de Paris VII, Directeur de l'Institut Jacques MONOD, Vincent COURTILLOT, Physicien titulaire à l'Institut de Physique du Globe, François DAVOINE, Professeur au conservatoire national des arts et métiers, Conseiller scientifique du ministère des affaires étrangères, Michel DEMAZURE, Professeur à l'École Polytechnique, Guy DENIELOU, Président de l'Université de Compiègne, Jean HAMBURGER, Médecin, Membre de l'Institut, Jean-Paul HATON, Professeur à l'Université de Nancy I, Albert JACQUARD, Professeur à l'Université de Paris VI, Directeur de recherche à l'INED, Henri KORN, Directeur de Recherche, Responsable de l'unité 261 de L'INSERM à l'Institut Pasteur, Directeur de Laboratoire, Paul LACOMBE, Membre de l'Institut, Mme Hélène LANGEVIN, Directeur de recherche au CNRS, M. Marc MAURICE, Maître de recherche au CNRS, René PASSET, Professeur à l'Université de Paris I, Pierre SAMUEL, Professeur à l'Université de Paris-Sud.

## AVANT-PROPOS

La Commission des lois et la Commission de la production et des échanges de l'Assemblée nationale ont demandé à l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques de se saisir du problème des "pluies acides", terme recouvrant en fait un ensemble de phénomènes liés à ce que l'on pourrait plus généralement appeler la pollution atmosphérique à longue distance.

Pour cette étude, la première conduite par l'Office, le choix du sujet revêtait une importance particulière ; c'est en effet en grande partie sur le résultat de ce premier travail que la crédibilité de ce nouvel organisme sera établie.

De par ses statuts, l'Office ne peut se choisir lui-même ses sujets d'étude et doit répondre aux questions qui lui ont été posées sans porter de jugement sur leur opportunité.

Qu'il soit cependant permis au Président de l'Office de faire remarquer que ce sujet présentait, pour une première expérience, des difficultés particulières en raison des incertitudes scientifiques sur les causes mêmes du phénomène mais aussi en raison des implications internationales des mesures dont on avait à évaluer la portée.

D'autre part les modalités de fonctionnement de l'Office et en particulier les relations avec les experts ont été longues et délicates à mettre au point puisqu'il n'existait pas d'expérience équivalente en France et dans les autres démocraties parlementaires à l'exception des Etats-Unis. Dans ce pays l'Office of technology assessment a d'ailleurs mis des années avant d'acquérir l'autorité incontestée qui est la sienne aujourd'hui.

Le premier programme d'étude aura donc permis de "rôder" les nouvelles procédures de travail de l'Office et de le faire connaître à l'extérieur du Parlement. Les contacts pris par le rapporteur lors de ses déplacements en France et à l'étranger, les auditions auxquelles il a procédé ainsi que sa présence active lors des congrès et journées d'études sur les "pluies acides" ont montré que le Parlement s'était doté d'un organisme susceptible de le tenir désormais informé de sujets qui restaient jusqu'ici un peu trop confinés dans des cercles spécialisés.

Malgré toutes les imperfections inhérentes à une première expérience, le présent rapport apporte un éclairage nouveau sur le problème des pluies acides et a le mérite de poser des questions sur des sujets que l'on avait un peu trop vite considérés comme résolus.

Il reste à espérer que cette étude retienne l'attention non seulement des Parlementaires mais aussi de tous les responsables concernés ainsi que du grand public et qu'elle constitue le premier exemple d'une suite de travaux qui ferait de l'Office un instrument efficace d'information du Parlement.

Philippe BASSINET  
Député des Hauts de Seine  
Président de l'Office parlementaire d'évaluation  
des choix scientifiques et technologiques



TEXTE DES SAISINES

M. Philippe BASSINET, président de l'Office a reçu les deux lettres suivantes :

Paris le 20 novembre

Monsieur le Président,

Au cours de sa réunion du 8 novembre, la Commission que je préside a eu à examiner, sur le rapport de M. MASSOT, une proposition de résolution tendant à la création d'une commission d'enquête chargée d'étudier les graves conséquences des pluies acides sur les forêts de l'Est de la France et les mesures à prendre d'urgence pour y remédier.

Ecartant la solution proposée par les auteurs de la proposition de résolution, elle a, sur le fondement de l'article 6 ter, paragraphe V, 2°, de l'ordonnance n° 58-1100 du 17 novembre 1958 relative au fonctionnement des Assemblées parlementaires, et conformément aux propositions du rapporteur, décidé de saisir l'Office que vous présidez.

En conséquence, j'ai l'honneur de porter à votre connaissance, en votre qualité de Président de l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques, que la Commission des Lois demande à cet organisme de rechercher les causes des dommages actuellement subis par certaines forêts, d'évaluer en particulier les conséquences des "pluies acides" sur ces forêts et d'éclairer le Parlement sur les mesures à prendre en ce domaine. La Commission a par ailleurs exprimé le souhait que l'Office puisse mener sa tâche à bien dans un délai de six mois.

Je vous prie de croire, Monsieur le Président, en l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Raymond FORNI  
Président de la Commission  
des Lois de l'Assemblée nationale

Paris, le 19 Décembre 1984

Monsieur le Président,

Au cours de sa réunion du 19 décembre, la Commission de la Production et des Echanges a décidé de saisir, en application de l'article 6 ter, paragraphe V, 2°, de l'ordonnance n° 58-1100 du 17 novembre 1958, relative au fonctionnement des Assemblées parlementaires, l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques que vous présidez, de la question des nouvelles formes de pollutions atmosphériques transfrontalières, dites "pluies acides".

La Commission de la Production et des Echanges souhaite que l'Office recherche les causes de ce phénomène, détermine les rôles respectifs des divers agents polluants qui pourront être incriminés, et étudie les conséquences de ces pollutions sur les forêts, sur les plans d'eau, les cours d'eau et le milieu aquatique, sur les espèces végétales non forestières, sur les monuments, ainsi que sur la santé publique.

La Commission de la Production et des Echanges souhaite également que l'Office évalue l'efficacité des mesures prévues ou déjà prises par les différents pays européens concernés par les pluies acides pour combattre ce phénomène, et qu'il en estime également les conséquences, et notamment le coût, pour l'ensemble des économies concernées.

L'Office devra porter une attention particulière aux perspectives d'introduction de l'essence sans plomb dans la Communauté économique européenne. Pour cela, il devra évaluer la part de la pollution due à l'automobile dans le phénomène des pluies acides, l'efficacité des pots catalytiques qui rendent obligatoire l'utilisation de l'essence sans plomb, les conséquences de telles mesures sur l'industrie automobile française et européenne, et sur l'industrie pétrolière, ainsi que l'éventualité de technologies alternatives.

Enfin, la Commission de la Production et des Echanges souhaite que l'Office étudie le rôle que peuvent jouer dans le phénomène des pluies acides les rejets atmosphériques des installations industrielles de combustion.

Je vous prie de croire, Monsieur le Président, en l'assurance de ma considération la plus distinguée.

Gustave ANSART  
Président de la Commission  
de la Production et des Echanges  
de l'Assemblée nationale

**LISTE DES PERSONNES ET DES ORGANISMES  
CONSULTES POUR LA PREPARATION DU RAPPORT**

- Groupe de travail chargé de conseiller le rapporteur sur la méthodologie et sur la mise en oeuvre du programme d'étude :

- . Le Docteur Bignon, professeur à l'Université de Paris-Val-de-Marne, chef du service de pneumologie au centre hospitalier de Créteil (CHU Henri Mondor),
- . M. Lamure ingénieur en chef des ponts et chaussées, chef du centre d'évaluation et de recherche des nuisances et de l'énergie de l'Institut de recherche des transports,
- . M. Leygonie, président du Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique,
- . M. Mouvier, professeur à l'Université de Paris VII (laboratoire de physico-chimie de l'atmosphère),
- . M. Queiroz Directeur de recherche au CNRS (phytotron de Gif-sur-Yvette)

- Auditions par le Rapporteur

- . M. Roqueplo maître de recherche au CNRS, conseiller scientifique au Centre de prospective et d'évaluation,
- . Charbonnage de France,
- . Les amis de la Terre,
- . Chambre syndicale des constructeurs automobiles
- . M. de Perthuis, Union des chambres syndicales de l'industrie du pétrole et CNPF,
- . M. Rainville, directeur des forêts au Ministère de l'Agriculture,
- . M. Bazire, chef du service de l'inventaire forestier au Ministère de l'Agriculture,
- . E.D.F.,
- . Gaz de France
- . le Professeur Roussel, chef du service de l'hygiène hospitalière à l'Assistance publique,
- . M. Puzenat, ingénieur en chef des ponts et chaussées,
- . Mme Eléonore Gabarain,
- . M. Biren, directeur de l'Agence pour la qualité de l'air,

- . M. Balaceanu, directeur général de l'institut français du pétrole,
- . Union technique de l'automobile et du cycle,
- . M. Dambrines, chef de service à la Direction des hydrocarbures,
- . M. Baronet, maître de recherche au département de chimie de l'université I de Nancy,
- . M. Charpenet, directeur de recherche au CNRS.
- . CFDT.

- Auditions par la Délégation

- . Mme Bouchardeau Ministre de l'environnement

- Missions du rapporteur

- . En République fédérale d'Allemagne :

- M. Kroppenstedt, secrétaire d'Etat à l'intérieur,
- MM. Schmidbauer, Fellner, Reuter, députés du Bundestag,
- Fédération de l'industrie automobile,
- Office bavarois de protection de l'environnement
- Centrale thermique de Gelsenkirchen - Scholven

- . En Suisse :

- Office fédéral des forêts,
- Office fédéral de la protection de l'environnement,
- Institut fédéral forestier de Birmensdorf,

- . Communautés européennes

- M. Clinton - Davis Commissaire européen à l'environnement,

- . Nancy

- Centre de recherche forestière de l'INRA,
- MM. Bouvarel et Bonneau responsables du programme DEFORPA,
- Centre international de l'eau

- . Vosges

- M. Bonneau
- Office national des forêts

- Congrès et journées d'études auxquels a participé le Rapporteur :

- . Institut international de gestion et de génie de l'environnement à Aix les Bains (Pollution atmosphérique transfrontière)

- . Association pour la prévention de la pollution atmosphérique. Comité régional Marseille -Provence (Prévention technique et surveillance de la pollution atmosphérique. Le cas de Gardanne)
- . CIFFEN à Strasbourg (Les pluies acides et l'économie européenne).
- . association A2 RT à Clermont Ferrand (les forêts en Auvergne)
- . Salon équip'auto Paris
- . Journées d'études du CITEPA

- Mission de la Délégation au Japon

- . Institut pour l'étude de l'environnement
- . Ministère de l'environnement

Liste des experts ayant fourni  
des contributions pour la préparation du rapport

- M. David, Professeur émérite à la Faculté de Bordeaux : état des forêts en France et dans quelques pays industrialisés
- Centre départemental d'étude et de recherche sur l'environnement des Pyrénées Atlantiques, M. Bonte : atteintes aux végétaux autres que les arbres
- Laboratoire de recherche des monuments historiques, M. Jaton : impact des pluies acides sur les matériaux pierreux
- M. Schutz Professeur de sylviculture à l'école polytechnique fédérale de Zurich : synthèse des travaux scientifiques sur les dégâts aux forêts dus à l'environnement
- M. Queiroz, Directeur de recherche au CNRS : état des connaissances et rôle de la recherche fondamentale dans l'étude des effets des polluants sur les végétaux
- MM. Mouvier professeur à l'Université de Paris VII et Carlier chargé de recherche au CNRS : transformation des polluants dans l'atmosphère
- Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique, MM. Leygonie et Bouscaren : conséquences des mesures communautaires sur les grandes installations de combustion
- Institut de recherche des transports, M. Lamure : conséquences des mesures communautaires tendant à réduire les émissions de polluants par les véhicules automobiles
- Institut français du pétrole : conséquences sur l'industrie française de l'introduction de l'essence sans plomb
- Bureau d'information et de prévision économique : coûts et avantages de la lutte contre la pollution atmosphérique chronique diffuse généralement appelée "pluies acides"

Certaines des données et des informations obtenues par le Rapporteur au cours des auditions, lors des missions ou dans les contributions fournies par les experts ont été utilisées pour la préparation du rapport.

Le Rapporteur tient à remercier tous ceux qui ont bien voulu, sans ménager leur temps, l'aider dans l'accomplissement de sa mission et qui ont ainsi contribué à l'information du Parlement.

Il tient cependant à rappeler que les opinions et les recommandations présentées dans ce rapport sont celles de l'Office et qu'elles ne peuvent engager aucune personne ni aucun organisme extérieur au Parlement.

## SOMMAIRE

### INTRODUCTION

#### PREMIERE PARTIE

#### LA POLLUTION RISQUE T-ELLE DE PROVOQUER UNE CATASTROPHE ECOLOGIQUE MAJEURE ?

##### I - LES MENACES QUI PESENT SUR L'ENVIRONNEMENT

###### 1°/ Une évolution préoccupante des émissions de polluants dans l'atmosphère

- 1°-1. Evolution des émissions de dioxyde de soufre
- 1°-2. Evolution des émissions d'oxyde d'azote
- 1°-3. Les émissions d'hydrocarbures

###### 2°/ La transformation des polluants pendant leur transport dans l'atmosphère

- 2°-1. L'émission des polluants primaires
- 2°-2. Les transformations chimiques des polluants primaires et la formation des polluants secondaires et des photooxydants
- 2°-3. La dispersion des polluants
- 2°-4. Le dépôt des polluants
- 2°-5. Les problèmes posés par la mesure et l'analyse des dépôts

###### 3°/ Les précipitations acides et leurs effets sur l'environnement

- 3°-1. Des certitudes mais aussi beaucoup d'ambiguïtés
- 3°-2. Effets sur les lacs et les cours d'eau
- 3°-3. Effets sur les végétaux autres que les arbres
- 3°-5. Effets sur les bâtiments
- 3°-6. Effets sur la santé humaine

##### II - UN PHENOMENE SPECIFIQUE : LE DEPERISSEMENT DES FORETS

###### 1°/ Résultat des observations

###### 2°/ Des réserves sur les méthodes d'évaluation.

##### III - UNE INCERTITUDE : LE ROLE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE A LONGUE DISTANCE DANS LE DEPERISSEMENT DES FORETS

###### 1°/ Les risques de confusion

- 1°-1. Pollution locale ou pollution à longue distance ?
- 1°-2. Phénomène limité ou dépérissement généralisé des forêts des pays industrialisés ?

2°/ Les hypothèses sur les causes du dépérissement des forêts

- 2°-1. Une tentative d'explication du dépérissement par la pollution atmosphérique à longue distance
- 2°-2. Les hypothèses relatives au rôle des polluants acides
- 2°-3. Les hypothèses relatives au rôle des photooxydants et de l'ozone
- 2°-4. Les autres causes possibles

3°/ L'état de la recherche fondamentale

- 3°-1. En France : le programme DEFORPA
- 3°-2. A l'étranger (Etats-Unis, Japon, Allemagne, Suisse)

**C O N C L U S I O N :** Il faut renforcer la lutte contre la pollution atmosphérique indépendamment même de ses implications dans le dépérissement des forêts.

**D E U X I E M E P A R T I E**

**LA REDUCTION DES EMISSIONS : UNE ACTION COMMUNAUTAIRE AUX CONSEQUENCES CONSIDERABLES**

- a/ Une prise de conscience progressive dans l'ensemble du continent européen
- b/ Dans le cadre communautaire
- c/ Des conséquences d'une ampleur considérable

**I/ LES GRANDES INSTALLATIONS DE COMBUSTION**

1°/ Les dispositions nationales existantes

- 1°-1. En France
- 1°-2. Dans les pays de la Communauté autres que l'Allemagne et la France
- 1°-3. Le cas de la République Fédérale d'Allemagne

2°/ Une impulsion nouvelle : la proposition de directive communautaire

3°/ Les moyens techniques

- 3°-1 Les poussières
- 3°-2 La limitation des émissions de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote
  - 3°-2-1 L'action sur le combustible
  - 3°-2-2 L'action pendant la combustion
  - 3°-2-3 La réduction des émissions après la combustion



3°-3 La réduction des oxydes d'azote

- 3°-3-1 La modification des conditions de combustion
- 3°-3-2 La modification de la chaufferie
- 3°-3-3. La dénitrification des gaz de combustion

3°-4 Les perspectives économiques et industrielles

- 3°-4-1 Les coûts
- 3°-4-2 Les perspectives pour les procédés
- 3°-4-3 La situation de la France

4°/ Situation d'ensemble et coûts nationaux

4°-1. Des coûts d'ensemble difficiles à évaluer

- 4°-1-1. Les indications contenues dans la proposition de Directive
- 4°-1-2. La méthodologie de calcul des coûts de dépollution pose bien des problèmes

4°-2. Le cas de la Grande Bretagne

- 4°-2-1. Résumé de l'étude du C.E.G.B
- 4°-2-2. Comment la Grande Bretagne peut satisfaire à la proposition de Directive

4°-3. Le cas de la R.F.A

4°-4. Le cas de la France

- 4°-4-1. La situation énergétique
- 4°-4-2. Des coûts en forme de handicap
- 4°-4-3. Une comparaison édifiante
- 4°-4-4. Une hypothèse pour 1995
- 4°-4-5. Comparaison avec le cas Allemand pour la production électrique
- 4°-4-6. L'industrie et raffinage pétrolier

5°/ Une réponse adaptée ?

- 5°-1. La réalité de l'autonomie d'action des Etats membres
- 5°-2. Une méthodologie inhabituelle
- 5°-3. Une application de cette méthodologie : les exigences de mesures
- 5°-4. Un champ d'application qui reste à préciser
- 5°-5. Le postulat du statu quo entre les sources d'énergie et la recherche d'une absence de distorsion entre les conditions de concurrence
- 5°-6. Une action complémentaire : l'abaissement du taux de soufre des hydrocarbures utilisés comme combustibles

**6°/ Conclusion : Une meilleure adéquation aux objectifs**

6°-1 Dans le cadre communautaire

6°-2 Dans le cadre national

**II - L'AUTOMOBILE**

**1°/ Les émissions de polluants**

1°-1. Le monoxyde de carbone

1°-2. Les oxydes d'azote

1°-3. Les hydrocarbures

**2°/ Les normes de limitation des émissions de polluants**

2°-1. Les actions déjà engagées

2°-1-1. aux Etats Unis

2°-1-2. au Japon

2°-1-3. par la Communauté économique européenne

2°-2 L'actuel projet de Directive

2°-2-1. Les propositions initiales de la Commission

2°-2-2. La position des différents pays européens

2°-2-3. La nouvelle approche de la Commission

2°-2-4. L'initiative allemande

2°-2-5. L'Etat actuel du projet

2°-2-6. Le Conseil de l'environnement du 28 juin 1985

2°-2-7. Les problèmes en suspens

2°-2-8. Le problème de la définition des cycles d'essai.

**3°/ Les techniques envisageables pour respecter les normes**

3°-1. Un problème en théorie différent selon les catégories de véhicules

3°-1-1. Les véhicules de 2000 cm<sup>3</sup> de cylindrée et plus

3°-1-2. Les véhicules dont la cylindrée est comprise entre 1401 cm<sup>3</sup> et 2000 cm<sup>3</sup>

3°-1-3. Les véhicules d'une cylindrée inférieure à 1400 cm<sup>3</sup>

3°-2. Les différentes techniques autres que le pot catalytique trois voies.

3°-2-1. Le catalyseur d'oxydation

3°-2-2. Le moteur à charge stratifiée

3°-2-3. Le moteur à mélange pauvre

4°/ Le convertisseur catalytique trois voies et ses implications

4°-1. Le principe de fonctionnement

4°-1-1. Description

4°-1-2. Mode de fonctionnement

4°-1-3. L'équipement électronique nécessaire

4°-1-4. Les autres contraintes

4°-1-5. Les précautions d'utilisation

4°-2. Les conséquences techniques de l'emploi du convertisseur catalytique trois voies

4°-2-1. Conséquences sur la puissance des moteurs

4°-2-2. Conséquences sur la consommation de carburant

4°-2-3. Conséquences liées à l'utilisation de l'essence sans plomb

4°-2-4. Conséquences liées à l'éventuelle utilisation d'adjuvants pour maintenir l'indice d'octane de l'essence sans plomb

4°-3. L'efficacité du convertisseur catalytique trois voies

4°-3-1. Les limites de fonctionnement

4°-3-2. Les incertitudes

4°-3-3. Le contrôle du bon fonctionnement

4°-4. Les difficultés découlant de l'utilisation du convertisseur trois voies

4°-4-1. Le problème du coût

4°-4-2. Le problème du parc existant

5°/ Une solution pour répondre à l'urgence de la situation : la limitation de vitesse.

5°-1. Vitesse et émission de NOx

5°-2. Vitesse et consommation de carburant

6°/ Les risques liés à l'extension de l'usage du moteur Diesel

6°-1. La situation

6°-1-1. L'évolution du parc de voitures particulières à moteur Diesel.

6°-1-2. Les raisons de cette évolution

6°-2. Les problèmes liés à l'utilisation du moteur Diesel

6°-2-1. Les émissions de polluants réglementés

6°-2-2. Les émissions de particules

6°-3. Les améliorations du moteur Diesel.

III / LES CONSEQUENCES DE L'INTRODUCTION DE L'ESSENCE SANS PLOMB POUR LES ACTIVITES PETROLIERES

1°/ La Directive du 20 mars 1985

1°-1. Les points de vue en présence

1°-2. Le dispositif de la Directive

1°-3. Les implications immédiates du compromis pour la France

2°/ Situation comparée des différents états membres face aux implications de la Directive

2°-1. Caractéristiques des carburants des différents pays

2°-2. Comparaison de l'industrie du raffinage des différents pays

3°/ Le recours aux nouveaux additifs, un moyen de maintenir un indice d'octane satisfaisant

3°-1. Les composés oxygénés

3°-1-1. L'apport en octane

3°-1-2. Législation relative aux composés oxygénés

3°-1-3. Le problème de la démixion

3°-2. Les hydrocarbures aromatiques

4°/ Les effets des substituants au plomb sur la pollution

4°-1. Les polluants réglementés

4°-2. Les polluants non réglementés

4°-2-1. Les composés oxygénés

4°-2-2. Les hydrocarbures aromatiques

4°-3. Les autres sources de pollution liées à l'automobile

4°-4. Les effets des polluants sur la santé

5°/ Les modifications du raffinage et leur coûts

5°-1. La modélisation du raffinage

5°-2. La transformation du raffinage

5°-2-1. Les possibilités et les contraintes techniques

5°-2-2. Les effets progressifs de la suppression du plomb :  
l'évolution des capacités

5°-2-3. Les effets de l'introduction des produits oxygénés

5°-3. L'évaluation des coûts des transformations du  
raffinage

5°-4. L'influence de l'utilisation de composés oxygénés sur  
les coûts du raffinage

6°/ Les conséquences pour la distribution et les choix qu'elles impliquent

7°/ Une condition préalable pour l'introduction des carburants sans plomb :  
l'incitation sur le prix

CONCLUSION de la deuxième partie : raison garder

**T R O I S I E M E   P A R T I E**

**COÛTS ET AVANTAGES DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION  
ATMOSPHERIQUE**

1/ LES DOMMAGES CONSTATÉS ET POTENTIELS

1°/ Les dommages aux forêts

1-1. La mesure du ralentissement de la croissance des arbres : un bon  
indicateur

1-2. Les pertes de valeur patrimoniales du Massif de l'Est

2°/ Les atteintes aux cultures

3°/ L'acidification des lacs et cours d'eau

4°/ La corrosion et l'altération des bâtiments et monuments historiques.

5°/ Trois scénarios sur l'évolution des effets de la pollution à longue distance

## II/ COÛTS ET IMPACTS SECTORIELS DES MESURES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE A LONGUE DISTANCE

### 1°/ Les répercussions sur la production électrique et sur l'industrie

- 1°-1. L'équipement électrique
- 1°-2. La compétitivité du charbon
- 1°-3. Les exigences économiques

### 2°/ L'impact des normes sur la filière automobile

- 2°-1. L'industrie automobile
- 2°-2. Les conséquences sur les stratégies des constructeurs
  - 2°-2-1. Une anticipation progressive pour adapter l'offre
  - 2°-2-2. La nécessité d'une standardisation progressive de la production
- 2°-3. Les industries de l'équipement automobile : un risque de dépendance pour la France.
  - 2°-3-1. Le marché des convertisseurs catalytiques trois voies
  - 2-3-2 L'injection électronique

### 3°/ Impact sur l'industrie pétrolière

- 3°-1. Les tendances actuelles de l'évolution de l'industrie pétrolière
  - 3°-1-1. Le déclin de la demande de pétrole
  - 3°-1-2. Modification de la structure du marché : la conversion des produits lourds
  - 3°-1-3. Les "raffineries-sources" construites dans les pays producteurs
- 3°-2. Les perspectives entrouvertes par la suppression du plomb
  - 3°-2-1. La modification du procédé de raffinage
  - 3°-2-2. Les additifs de substitution à haut indice d'octane
  - 3°-2-3. Le bio-éthanol
- 3°-3. Les perspectives de consommation intérieure de produits pétroliers
  - 3°-3-1. Evaluation de la demande
  - 3°-3-2. Evolution de l'offre.
  - 3°-3-3. Investissements

### 4°/ L'accroissement de la demande des métaux platinoides

III - APPROCHE MACROECONOMIQUE DES EFFETS DES POLITIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION

1°/ Les principales conclusions des travaux réalisés au sein de l'OCDE

2°/ Orientations et méthodologie pour une analyse de l'impact macroéconomique des mesures de lutte contre la pollution

EXAMEN PAR LA DELEGATION PARLEMENTAIRE  
ET RECOMMANDATIONS

Glossaire : unités de mesures et termes techniques

## SOMMAIRE

On a longtemps considéré la pollution atmosphérique comme un problème local affectant les zones proches des sources d'émissions de polluants. Différentes solutions techniques avaient d'ailleurs permis d'en limiter les effets soit en réduisant l'importance des émissions, soit en dispersant les polluants sur une grande étendue.

Depuis quelques années de nombreuses études ont démontré que certains polluants pouvaient être transportés dans l'atmosphère sur de grandes distances et qu'ils pouvaient être retrouvés souvent sous une forme chimique différente dans des régions parfois relativement éloignées des sources d'émission.

L'acidification des précipitations souvent appelée "pluies acides" a été constatée dans de nombreux pays, elle ne constitue toutefois qu'une partie d'un phénomène que l'on pourrait regrouper sous le terme de pollution "à grande distance". Cette forme de pollution atmosphérique a pour caractéristique d'être diffuse, faiblement concentrée, chronique et constituée d'éléments chimiques différents de ceux qui ont été émis à l'origine.

S'il est d'ores et déjà prouvé que la pollution atmosphérique à longue distance peut avoir des effets néfastes sur l'environnement rien ne permet, pour le moment, de conclure qu'elle entraînera une catastrophe écologique majeure. Cependant, les dangers potentiels de cette forme de pollution sont suffisamment sérieux pour que des mesures nouvelles soient rapidement mises en place.

Comme il s'agit de problèmes complexes et encore mal connus, il faut donc les aborder avec détermination mais aussi avec beaucoup de calme et de sérieux en excluant dans toute la mesure du possible les facteurs extérieurs au débat scientifique.

### La pollution atmosphérique à longue distance constitue un motif légitime d'inquiétude...

Tout d'abord parce que les émissions de polluants "primaires" tels que le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les hydrocarbures provenant des installations de combustion ou des véhicules automobiles devraient, si rien n'est fait, continuer à croître dans les années à venir. La France constitue toutefois une exception puisque les émissions de dioxyde de soufre continueraient à baisser, même en l'absence de mesures nouvelles, en raison de la poursuite du programme nucléaire. Les autres pays industrialisés qui ont plus misé sur les énergies fossiles traditionnelles pour leur production d'énergie devront prendre des mesures techniquement compliquées et donc coûteuses.

Inquiétudes également car il apparaît que la chimie de l'atmosphère est infiniment plus compliquée que l'on pouvait le penser il y a quelques années. Pendant leur transport les polluants "primaires", se transforment en effet en polluants "secondaires" chimiquement différents des premiers. Les études les plus récentes attirent l'attention sur le fait que les redépôts d'acides nitriques et d'acides sulfuriques ne constituent qu'une partie des phénomènes en cause. Les polluants primaires et en particulier les oxydes d'azote peuvent en effet donner aussi naissance, sous l'effet des rayonnements solaires et des hydrocarbures en suspension dans l'atmosphère, à de l'ozone ainsi qu'à d'autres photooxydants qui auraient un effet particulièrement néfaste sur les végétaux. La circulation automobile aurait donc, dans ces conditions, une responsabilité particulière dans la formation de la pollution à longue distance.



### L'acidification des précipitations cause des dommages sérieux à l'environnement...

En ce qui concerne les précipitations acides proprement dites, de multiples études américaines et scandinaves ont montré qu'elles étaient à l'origine de l'acidification des lacs dans plusieurs régions du monde. Le pH de nombreux lacs de l'Amérique du Nord ou de Scandinavie est d'ores et déjà si bas que leurs écosystèmes sont gravement perturbés ; certains de ces lacs peuvent même être considérés comme biologiquement morts. Les effets des pluies acides sur les plantes sont par contre beaucoup plus difficiles à déterminer. On estime généralement depuis quelques temps que c'est surtout l'augmentation de la concentration en ozone qui entraînerait les ralentissements de la croissance des végétaux qui ont été constatés dans plusieurs pays.

Les précipitations acides ont certainement des effets destructeurs sur les matériaux et sur les bâtiments mais les études actuelles portent essentiellement sur les conséquences de la pollution de proximité et l'on ne dispose pas encore de relevés suffisants pour connaître l'importance des dégradations subies par les édifices situés en dehors des agglomérations.

Il en va de même pour la santé humaine, de nombreux experts pensent que la pollution à longue distance doit entraîner, malgré sa faible concentration, des perturbations en particulier chez les sujets déjà atteints de difficultés respiratoires, mais on manque encore de résultats d'études épidémiologiques pour confirmer ces premières impressions. De toute manière les mesures qui pourront être prises pour limiter la pollution à longue distance auront également un effet sur la pollution de proximité et réduiront par voie de conséquence les risques pour la santé humaine.

### Le dépérissement de certaines forêts européennes constitue un phénomène spécifique et inquiétant...

Le dépérissement des forêts constaté en Europe depuis quelques années inquiète tous les experts car il semble s'agir d'un phénomène spécifique et particulier qui continue à s'étendre.

En Europe le débat a eu en effet tendance à se focaliser sur cette seule question et à se transformer parfois en querelles où les arguments scientifiques sont quelque peu oubliés. On constate effectivement dans les forêts du centre de l'Europe des cas de dépérissement d'arbres qui ne peuvent apparemment pas être expliqués par les causes classiques de maladies des arbres. En France, ce phénomène a été constaté depuis 1983 dans les Vosges, ce qui a conduit à mettre en place un système d'observation, le réseau DEFORPA. Des signes de dépérissement ont aussi été constatés dans les Ardennes et en Franche Comté sur les résineux (Sapins, épicéas, pins) et dans une plus faible mesure sur certains feuillus (Hêtre, Chênes). Pour les Vosges à la fin de l'année 1984 28 % des sapins, 16 % des épicéas, et 10% des pins étaient considérés comme fortement atteints c'est-à-dire comme ayant perdu plus de 20% de leurs feuilles ou de leurs aiguilles. Les forêts allemandes et suisses paraissent plus gravement atteintes que les forêts françaises.

### Les causes du dépérissement n'ont pas encore été élucidées mais il y a de fortes présomptions pour que la pollution atmosphérique soit impliquée...

Il n'existe pas actuellement de preuve scientifique indéniable qui permettrait d'attribuer le dépérissement des forêts à une cause précise mais la grande majorité des experts sont d'accord pour conclure que la pollution atmosphérique à longue distance joue soit seule soit associée à d'autres causes un rôle déterminant.

Plusieurs thèses ont été avancées pour expliquer ce phénomène, action des polluants sur les feuilles, action des polluants par le sol, mais aucune ne permet d'expliquer toutes les particularités de ce dépérissement.

Des travaux très récents semblent indiquer que des concentrations excessives d'ozone seraient particulièrement néfastes pour les arbres et que cette forme de pollution atmosphérique aurait un rôle prépondérant dans le dépérissement des forêts.

Au cours de l'été 1985 une très vive controverse s'est élevée sur les travaux de professeurs allemands réputés qui estiment que des virus seraient en fait responsables des symptômes constatés sur les arbres malades.

La recherche scientifique concernant les différents aspects de ce phénomène doit donc être intensifiée et doit pouvoir disposer de ressources accrues et pluriannuelles.

**L'absence de preuve scientifique sur les causes du dépérissement des forêts ne doit cependant pas conduire à retarder le renforcement de la lutte contre la pollution atmosphérique...**

Il faut renforcer la lutte contre la pollution atmosphérique indépendamment même de ses implications dans le dépérissement des forêts.

En matière d'environnement et de santé humaine, il n'est en effet pas possible de faire un pari et d'attendre pour agir de disposer de toutes les certitudes scientifiques. Certaines atteintes à l'environnement ou à la santé humaine pourraient en effet se révéler un jour irréversibles et les générations futures seraient en droit de nous reprocher notre inaction. Les Etats-Unis et le Japon qui ont depuis longtemps entrepris de lutter efficacement contre la pollution atmosphérique ont justifié les mesures parfois draconiennes qu'ils ont prises uniquement par la nécessité de protéger la santé de leurs citoyens.

**Face à un problème transfrontalier, l'intervention de la Communauté économique européenne était indispensable même si certaines dispositions des Directives peuvent faire l'objet de critique...**

Les polluants secondaires pouvant retomber parfois très loin de leur source, en Europe où les frontières sont très rapprochées, une action internationale était indispensable. La CEE a donc eu raison de proposer des directives bien que certaines de leurs dispositions ne paraissent pas toujours parfaitement adaptées aux problèmes à traiter.

#### **- Les grandes installations de combustion**

Une proposition de directive sur les grandes installations de combustion (plus de 50 MWth) est actuellement en cours de discussion. Elle constituera un des volets essentiels de l'action communautaire.

Les principales exigences qui sont actuellement prévues :

- réduction des émissions des grandes installations de combustion de 60% pour le dioxyde de soufre, de 40% pour les oxydes d'azote et de 40% pour les poussières, sur la base des émissions de l'année 1980 ;
- respect de normes à l'émission pour chacun des polluants par les installations nouvelles ou anciennes substantiellement modifiées ;

posent aux différents Etats membres des problèmes différents selon les types d'énergie principalement utilisés.

La RFA maintient dans des proportions importantes son recours au charbon pour la production d'énergie ; aussi impose-t-elle déjà au niveau national l'installation d'équipements de dépollution importants et coûteux, la prise en compte de contingences spécifiques permettant néanmoins des exceptions. Pour la Grande Bretagne, les dispositions communautaires impliqueront, de toutes façons d'importants efforts, compte tenu là aussi de la place toujours essentielle du charbon dans la situation énergétique nationale. Des problèmes particuliers peuvent se poser aux états de taille réduite. La France, quant à elle, a, par plusieurs choix (énergie nucléaire, limitation de la teneur en soufre des combustibles, économies d'énergie); déjà sensiblement réduit une pollution qui était proportionnellement plus faible au départ ; elle pourra satisfaire pour l'essentiel les obligations prévues au prix, de la poursuite de ses efforts et de l'engagement de nouveaux.

Tout en gardant sa force au mécanisme, il convient que l'excessive sévérité de certaines normes ou de certaines procédures, soit évitée.

L'impact de chaque mesure sur l'environnement doit en effet être rapporté à son coût. La reconquête de la qualité de l'air qui est et reste le seul objectif prioritaire : les moyens techniques que sont les paramètres et les normes ne doivent pas le faire perdre de vue. A cette fin, plusieurs aménagements à la proposition de directive sont à prévoir parmi lesquels l'adaptation du dispositif pour supprimer la pénalisation des installations fonctionnant en pointe ou de l'utilisation de combustible peu polluant ; il importe aussi qu'avant 1995, des objectifs de dépollution globaux soient fixés, pour 1990 par exemple.

#### . Les véhicules automobiles

Etant donné le rôle que la majorité des experts attribuent aux oxydes d'azote et aux hydrocarbures dans la formation de la pollution à longue distance il était urgent et nécessaire de prendre des mesures pour limiter les émissions de polluants par les véhicules automobiles.

D'autres pays et en particulier le Japon et les USA avaient estimé depuis longtemps que la protection de la santé humaine constituait unen raison suffisante pour réglementer sévèrement la teneur en polluant des gaz d'échappement.

Pour éviter les entraves à la circulation et les distorsions de concurrence, la réglementation des émissions de polluants par les véhicules automobiles devrait être communautaire.

Le projet de directive qui n'a pas encore pu entrer en vigueur du fait d'une réserve danoise constitue un compromis réaliste car il devrait permettre de réduire à terme la pollution sans déstabiliser les industries automobiles des différents Etats.

Le projet de directive prévoit des normes d'émission différentes selon la cylindrée du véhicule (moins de 1 400 cm<sup>3</sup> entre 1400 et 2000 cm<sup>3</sup> et plus de 2000 cm<sup>3</sup>). Des techniques différentes permettent pour chacune de ces trois catégories de respecter les normes prévues, toutefois pour les véhicules de plus de 2000 cm<sup>3</sup> le pot catalytique trois voies paraît être à l'heure actuelle, le seul moyen de satisfaire aux impératifs de la directive. Contrairement à ce que l'on pourrait penser, malgré l'expérience acquise aux USA et au Japon, de nombreuses incertitudes subsistent sur l'efficacité, les limites de fonctionnement et sur la

durée de fonctionnement des pots catalytiques. Il conviendrait donc de poursuivre et d'intensifier les expérimentations en conditions réelles de circulation. Il conviendrait également de prévoir dès maintenant les modalités du contrôle périodique des véhicules. Il ne servirait à rien en effet d'exiger la mise en place de dispositif coûteux si l'on n'est pas en mesure d'en vérifier l'efficacité tout au long de l'existence du véhicule.

L'adoption de cette Directive ne devrait cependant pas conduire à figer la situation et à empêcher toute diversification des moyens techniques. Les recherches sur les techniques alternatives au convertisseur catalytique trois voies doivent être poursuivies et encouragées car rien ne dit qu'on ne trouvera pas dans quelques temps une autre solution moins compliquée et surtout moins coûteuse.

L'application de la Directive étant progressive, il faudra attendre encore quelques années pour enregistrer des résultats appréciables. Dans ces conditions, il conviendrait de compléter les dispositions en cours d'adoption par des mesures qui seraient susceptibles d'avoir des effets quasi-immédiats.

La limitation de vitesse constituerait à cet égard un des moyens les plus simples et les moins coûteux pour réduire de façon sensible les émissions de polluants. Si la RFA estime que ses forêts sont véritablement menacées elle doit accepter de prendre la mesure de bon sens qui consisterait à limiter la vitesse sur les autoroutes, nul ne peut nier en effet que les émissions de polluants par les automobiles sont fonction de la vitesse à laquelle elles circulent. Les limitations de vitesse applicables en France paraissent être à un niveau convenable tenant compte des différents impératifs en cause ; il ne paraît pas utile de les modifier mais il faudrait par contre les faire respecter.

#### . L'essence sans plomb

La plupart des techniques de réduction des émissions polluantes des automobiles et en particulier le pot catalytique trois voies, impliquent le recours à un carburant sans plomb. Dès mars 1985, avant que l'accord communautaire se soit réalisé sur la "voiture propre", la Communauté a arrêté une directive prescrivant à partir de 1989 l'obligation de distribution de supercarburant sans plomb à 95 d'indice d'octane recherche et 85 d'indice d'octane moteur.

Face aux exigences d'adaptation de l'appareil de raffinage, à savoir remonter l'indice d'octane pour compenser partiellement la baisse due à la suppression du plomb comme additif, la France est le pays qui aura sans doute l'effort le plus substantiel à fournir, la République Fédérale d'Allemagne étant dans la position inverse. Les investissements à envisager pour ce qui concerne le raffinage seraient, si l'on n'ajoute pas les produits oxygénés, de l'ordre de 2,7 milliards de F. Mais il faut bien considérer qu'ils pourront s'étaler sur une période de plus de vingt ans, les transformations techniques de l'appareil de raffinage ne devenant nécessaires que lorsque le taux de pénétration du carburant sans plomb dépasse 30 % et se rapproche de 50 %, c'est-à-dire à dater de 1995.

Le recours aux composés oxygénés sera l'autre moyen de compenser la baisse d'indice d'octane entraînée par la suppression du plomb. En outre, il permettra de réduire les investissements nécessités par l'adaptation de l'appareil de raffinage. Les coûts, la disponibilité, les avantages et les inconvénients varient essentiellement d'un produit à l'autre. Leur adjonction est déjà autorisée en France dans des proportions limitées (arrêté de 1983) et tout récemment, la Communauté a pris des dispositions du même ordre.

Les problèmes spécifiques que pose l'introduction de nouveaux carburants sans plomb au niveau de la distribution sont, proportionnellement, plus importants que pour le raffinage lui-même. Pendant la période transitoire, qui durera au moins vingt ans, (distribution des 2 catégories), l'essence ordinaire avec plomb disparaîtra de toutes façons. On pourrait éventuellement se poser la question de l'opportunité de la distribution d'essence ordinaire sans plomb. Enfin, un impératif doit être souligné : toutes les dispositions, tant fiscales qu'administratives, devront être prises pour que le supercarburant sans plomb soit, à la pompe, moins cher que le super plombé, faute de quoi des efforts considérables auraient été faits en pure perte par la construction automobile, les consommateurs et les pétroliers.

### Les dispositions communautaires doivent être renforcées et complétées...

Les effets des directives ne se feront pleinement sentir que dans quelques années, mais il existe, outre les limitations de vitesse, des moyens qui pourraient permettre de réduire rapidement les émissions de polluants.

Il conviendrait ainsi de rendre obligatoires les dispositifs techniques destinés à limiter les évaporations d'hydrocarbure dans les installations industrielles et par les voitures. Ces dispositifs existent et sont d'ores et déjà mis en place notamment aux Etats-Unis ; compte tenu de l'importance donnée aux hydrocarbures dans la formation des polluants secondaires, de telles mesures auraient certainement une efficacité certaine pour un coût minime.

Dans le même sens il conviendrait de ne pas encourager le développement de l'usage du moteur Diesel pour les véhicules particuliers tant que l'on n'aura pas mis au point de dispositif efficace pour épurer les gaz d'échappement provenant de ces moteurs. Il ne servirait à rien de réglementer les véhicules à essence si toute une partie des conducteurs s'orientaient vers les véhicules à moteur Diesel, tendance qui semble se manifester très nettement à l'heure actuelle.

Enfin, la réduction des teneurs en soufre du fuel domestique et du gazole devront également venir compléter l'ensemble du dispositif communautaire.

### La lutte contre la pollution atmosphérique entraîne des coûts mais aussi des avantages qui sont difficiles et peut être impossibles à évaluer...

Le renforcement de la lutte contre la pollution atmosphérique va entraîner des coûts supplémentaires et même des risques pour certains secteurs industriels, mais il peut dans le même temps offrir des opportunités nouvelles de développement à d'autres industries et être ainsi à l'origine de la création d'emplois nouveaux. On ne peut pour le moment faire de comparaison sérieuse entre les coûts et les avantages qui peuvent découler des mesures de lutte contre la pollution atmosphérique en raison du manque de données chiffrées dans certains domaines.

Il n'est d'ailleurs peut être pas souhaitable de tenter d'effectuer ce type de calculs car ils ne prendront toujours en compte que les dommages qui peuvent être évalués alors que certains éléments non "marchands" de l'environnement sont absolument indispensables au bien-être et même à la survie de l'espèce humaine.

Le premier principe était de ne recevoir aucune chose pour vraie que je ne la connusse évidemment être telle ; c'est-à-dire d'éviter soigneusement la précipitation et la prévention et de ne comprendre rien de plus en mes jugements que ce qui se présenterait si clairement et si distinctement à mon esprit, que je n'eusse aucune occasion de le mettre en doute.

DESCARTES

### INTRODUCTION

Pour son premier programme de travail l'Office parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques a été saisi par la Commission des Lois puis par la Commission de la Production et des échanges de l'Assemblée Nationale d'une étude sur les relations entre l'activité économique et la protection de l'environnement.

Si pendant les années soixante dix l'opinion publique et les responsables politiques avaient montré un très vif intérêt pour tout ce qui concernait l'environnement, il est indéniable que cet intérêt s'est peu à peu amoindri sous l'effet des difficultés économiques qui assaillent les pays industrialisés.

Depuis quelques années on aurait pu penser que les préoccupations écologistes étaient passées au second plan et que les énergies devaient se rassembler pour relancer la production sans que l'on s'interroge outre mesure sur les conséquences éventuelles d'une reprise de l'activité économique.

Parler aujourd'hui par exemple de la "croissance zéro" paraîtrait quelque peu déplacé quand on sait que des millions de chômeurs comptent justement sur la reprise de la croissance pour retrouver du travail et des conditions de vie normales.

La constatation de cas de dépérissement accéléré de certaines forêts est venue brutalement reposer le problème des conditions du développement industriel à un moment où l'on ne s'y attendait plus tellement.

A nouveau reparaissent en Europe et en Amérique du Nord de nombreuses études sur la dégradation de l'environnement par les activités humaines et de nombreux experts s'alarment des risques de rupture du "contrat écologique" qui relie, comme le disait Bertrand de Jouvenel, l'homme à la biosphère dans laquelle il vit.

Contrairement à ce que l'on a pu penser à une époque, il apparaît de plus en plus clairement, dans les pays industrialisés du moins, que ce n'est pas l'épuisement des ressources énergétiques mais la dégradation de l'environnement qui risque à terme de remettre en question les schémas actuels d'organisation de la production industrielle.

Les écosystèmes terrestres malgré leur complexité et leur fragilité sont capables de retrouver d'eux-mêmes leur équilibre à condition toutefois que les perturbations extérieures ne dépassent pas un certain seuil.

Or, il apparaît clairement que certaines activités humaines conduisent désormais à une accumulation de déchets que les mécanismes naturels ne permettent plus de recycler.

Comme le faisait également remarquer Bertrand de Jouvenel : "Tout ce qui est dépouillé de la vie peut être reconstitué en élément de la vie mais les déchets de notre civilisation industrielle sont en proportion croissante non dépouillés de la vie mais des démembrements de la matière inanimée et il ne semble pas que la nature dispose de mécanismes aptes à renverser ces métamorphoses".

Ces phénomènes de destruction et de reconstitution de la biosphère ont été longtemps ignorés des économistes qui ne s'intéressaient qu'aux mécanismes du marché, les richesses naturelles étant par définition considérées comme inépuisables et gratuites. Ce n'est en fait que depuis très peu de temps que l'on a tenté de réintroduire dans le calcul économique ces biens collectifs que sont l'eau, l'air, les sites, les espèces vivantes...

Le Professeur René PASSET faisait remarquer à juste titre dans "L'économique et le vivant" que : "l'intégration de l'économique à la biosphère qui pendant longtemps n'a semblé faire aucune difficulté, devient à partir d'un certain niveau de développement, l'un des problèmes majeurs posés aux activités des hommes".

Tout ce qui est entré dans le cycle de production doit à un moment ou à un autre en sortir sous forme de déchet, or l'évolution de la production, surtout depuis les deux dernières décennies, montre que l'on passe peu à peu dans tous les secteurs, de déchets dégradables et recyclables aux déchets polluants et intransformables par les mécanismes naturels.

La poursuite de la croissance est donc subordonnée à la nécessité de trouver des solutions à l'accumulation des polluants engendrés par la fabrication puis par l'utilisation des produits de l'industrie.

Des efforts importants ont été faits pour réduire le niveau de la pollution. Dans la plupart des pays développés, la qualité des eaux des rivières et des fleuves est en voie d'amélioration parfois de façon spectaculaire.

La lutte contre la pollution des eaux douces était sans doute la plus facile à réaliser puisqu'il était à la fois possible d'identifier les polluants et les pollueurs avec une assez grande précision. De plus, cette forme de pollution facilement identifiable, même pour les non-spécialistes, entraîne immédiatement des réactions de défense qui contraignent les pouvoirs publics à agir.

La pollution atmosphérique de proximité qui avait dans le passé provoqué des accidents spectaculaires est aujourd'hui pratiquement maîtrisée dans les pays industrialisés. Certains pays comme les Etats-Unis, le Japon et à un degré moindre la France se sont dotés des moyens d'alerte mais aussi de dispositifs de réduction des émissions de polluants qui commencent à donner des résultats appréciables.

Ainsi c'est donc au moment où l'on pouvait espérer être sur la voie d'une amélioration sensible de la qualité de l'air ambiant que sont venus se poser des problèmes nouveaux que beaucoup estiment être liés à une nouvelle forme de pollution atmosphérique que l'on nomme généralement mais à tort "pluies acides". Cette pollution aurait pour caractéristique d'être faiblement concentrée et diffuse, mais chronique et susceptible d'agir à une assez grande distance des sources d'émission.

L'Office a donc eu à s'intéresser à un phénomène nouveau, scientifiquement encore mal connu et dont les tentatives d'explications sont encore largement contestées. Le sujet était donc en raison de toutes les incertitudes qui l'entourent, difficile à cerner puis à traiter; au cours des quelques mois de cette étude on a d'ailleurs assisté à des changements parfois très importants dans les thèses proposées et certaines "vérités" de la fin de l'année 1984 paraissent aujourd'hui très largement dépassées.

L'Office a eu recours pour ce programme d'étude aux travaux de plusieurs scientifiques qui ont tenté d'apporter des éclaircissements sur les points les plus difficiles du sujet à traiter. Une importante documentation venant des principaux pays intéressés a été réunie et consultée. On peut donc espérer que ce rapport apportera quelques informations utiles et parfois nouvelles. Il ne faut cependant pas s'attendre à y trouver l'explication unique et définitive du dépérissement des forêts. Tel n'était d'ailleurs pas le but de ce travail, il s'agissait avant tout, en effet, pour un organisme qui émane du Parlement de porter un jugement critique sur les théories qui sont avancées et d'évaluer la portée et les conséquences des mesures prises ou qui vont être prises pour lutter contre cette forme de pollution atmosphérique.

De toute manière il est parfois bon, quand un débat entre spécialistes a tendance à dégénérer en aigres querelles de chapelles, qu'un non-spécialiste pose les questions fondamentales que l'on a parfois tendance à perdre de vue.

Cette première expérience, qui a eu l'avantage de permettre la mise au point des modalités de fonctionnement de l'Office, a également montré qu'il ne fallait pas avoir peur de se montrer "naïf" et qu'il fallait demander les preuves de toutes les assertions avancées même quand elles sont présentées comme des évidences.

Les conclusions et les recommandations contenues dans ce rapport ne trouveront malheureusement pas de traduction législative, les domaines concernés relevant en effet soit du simple règlement, soit de la compétence communautaire. Il faut néanmoins espérer qu'elles serviront à informer le Parlement et par la suite à éclairer les débats qui ne manqueront pas de s'instaurer sur les relations entre la pollution et les atteintes à l'environnement.



## PREMIERE PARTIE

### LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE RISQUE-T-ELLE DE PROVOQUER UNE CATASTROPHE ECOLOGIQUE MAJEURE ?

Les dangers de la pollution atmosphérique sont connus depuis très longtemps même par le grand public mais on considérait jusqu'ici qu'il s'agissait de problèmes ponctuels concernant uniquement les zones urbaines et fortement industrialisées.

Soudainement à la fin de l'année 1984 un nouveau thème lié au danger de la pollution a fait son apparition dans la grande presse : le dépérissement des forêts.

Rappelons quelques titres d'articles parus à cette époque, parmi les plus significatifs : "Nos forêts à l'agonie"(1), "Adieu à nos forêts"(2), "La forêt assassinée"(3).

L'opinion publique française se trouvait ainsi tout à coup confrontée à un problème qui n'avait jusque là intéressé que les forestiers, les écologistes et quelques scientifiques.

Dans d'autres pays comme les Etats-Unis, la Suède ou la République fédérale d'Allemagne le problème des atteintes à l'environnement attribuées aux "pluies acides" était depuis beaucoup plus longtemps familier à l'ensemble de la population et constituait même un enjeu important dans le débat politique.

S'il était utile de sensibiliser les Français à ces problèmes, on peut regretter le sensationnalisme qui a prévalu dans ces articles. La plupart d'entre eux donnaient, souvent à l'aide de trucages photographiques, une vision absolument apocalyptique de l'avenir des forêts et de l'environnement en général.

Comme dans le même temps d'autres articles insistaient sur les dangers qu'allait entraîner le rapide déboisement des pays pauvres, on peut comprendre que certaines personnes aient pu se sentir réellement menacées par un cataclysme écologique sans précédent.

De fait, si ces prévisions devaient se réaliser et qu'une grande partie des forêts qui couvrent encore le globe disparaissent, l'humanité devrait s'attendre à des bouleversements considérables.

La biosphère, dont les écosystèmes forestiers sont une pièce maîtresse, repose sur des équilibres extrêmement fragiles. Les perturbations que les activités humaines y apportent sont en général compensées et les équilibres originaux se rétablissent au terme de cycles plus ou moins longs.

Une diminution substantielle de la forêt entraînerait à coup sûr des dérèglements de ces cycles naturels et les équilibres biologiques risqueraient d'être compromis de façon irréversible.

Le danger d'une catastrophe écologique majeure n'est donc pas à exclure, mais reste à savoir si les phénomènes que l'on constate depuis quelques années sont véritablement annonciateurs de graves bouleversements.

---

(1) Paris Match, Janvier 1985.

(2) Marie-Claire, Décembre 1984.

(3) Le Point, Mai 1985.

Parallèlement à ces réactions émotionnelles et quelquefois irrationnelles les premiers travaux scientifiques sont heureusement venus apporter quelques éléments de réponse qui permettent de mieux comprendre ce qui se passe.

La compréhension de certains aspects du phénomène a fait de rapides progrès mais il reste quantité de questions qui n'ont pas encore trouvé à l'heure actuelle de réponse satisfaisante.

Il convient donc de tenter de faire le départ entre les faits que l'on peut raisonnablement considérer comme scientifiquement vérifiés et qui peuvent faire naître des inquiétudes légitimes et les lacunes dans les connaissances qui doivent au contraire nous inciter à une grande prudence.

## I - LES MENACES QUI PESENT SUR L'ENVIRONNEMENT

La multiplicité des études déjà réalisées sur les causes et les effets des "pluies acides" en particulier aux Etats-Unis permettent d'ores et déjà de tirer un certain nombre d'enseignements qui n'incitent malheureusement que modérément à l'optimisme.

Sans renforcement des mesures de lutte, l'évolution actuelle des émissions de polluants conduirait à peu près inévitablement à une accélération de la dégradation de l'environnement.

### 1° Une évolution préoccupante des rejets de polluants dans l'atmosphère

Alors que dans les pays du tiers monde la pollution atmosphérique provient principalement des sources naturelles (volcans, évaporation marine, biomasse...) dans les pays industrialisés au contraire les polluants atmosphériques résultent pour leur plus grande part des activités humaines.

Pour l'ensemble de la terre les émissions naturelles et anthropogènes s'équilibrent à peu près mais dans les pays industrialisés les émissions naturelles sont négligeables par rapport à celles qui proviennent de l'activité humaine : moins de 5 % du total pour le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote. On estime généralement que les sources anthropogènes produisent plus de 90 % des polluants qui se trouvent dans l'atmosphère des pays européens.

Chaque année les foyers de combustion, les industries, les véhicules envoient dans l'atmosphère des tonnes de polluants. Selon l'O.C.D.E. les pays membres de cette organisation émettaient en 1980 :

- 149 millions de tonnes de gaz carbonique ;
- 54 millions de tonnes de dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ;
- 37 millions de tonnes d'oxydes d'azote (NO<sub>x</sub>) ;
- 16 millions de tonnes de matières sous forme de particules

et ceci malgré les réglementations très strictes qui existent parfois depuis près d'un siècle !

En vertu du principe selon lequel "rien ne se perd, rien se crée mais tout se transforme" il faut bien s'attendre à ce que les polluants émis dans l'atmosphère retombent à un moment donné sous une forme ou sous une autre.

Les effets néfastes de ces retombées sur l'environnement et sur la santé humaine sont connus depuis longtemps bien que leur mise en évidence soit beaucoup moins facile que dans les cas de pollution des eaux.

Dès les années 60, des efforts considérables ont été faits dans la plupart des pays industrialisés pour mieux connaître ces polluants et leurs effets.

Dans le même temps, des mesures étaient prises pour réduire le niveau des émissions. Des résultats certains ont été obtenus et l'on peut considérer qu'en général la pollution atmosphérique est aujourd'hui globalement moins importante qu'au début des années 1970.

Malgré cela, toutes les prévisions sur l'évolution des pollutions atmosphériques montrent que le problème sera loin d'être résolu à l'horizon de l'an 2000 en l'absence d'une très sérieuse "sévérisation" des normes actuelles.

L'état de l'environnement dans les années à venir dépendra étroitement du niveau de l'activité humaine mais aussi des efforts qui seront faits pour limiter les nuisances qui proviennent de ces activités.

Les émissions anthropogènes des polluants dits "primaires" proviennent principalement de l'utilisation des combustibles fossiles soit dans les installations de combustion soit par les moteurs des véhicules automobiles.

Trois des polluants primaires semblent particulièrement impliqués dans les processus de dégradation de l'environnement :

- le dioxyde de soufre (ou anhydride sulfureux)  $SO_2$ ,
- les oxydes d'azote  $NO_x$ ,
- les hydrocarbures HC.

#### 1°.1 Evolution des émissions de dioxyde de soufre ( $SO_2$ )

L'origine du  $SO_2$  est strictement liée à la présence de soufre dans les combustibles soit à l'état d'impureté gazeuse (hydrogène sulfuré dans certains gaz naturels ou de raffinerie), soit chimiquement combiné dans le cas des combustibles liquides et solides.

On peut donc calculer les quantités de  $SO_2$  émises si l'on connaît la teneur en soufre du combustible (\*), caractéristique générale donnée par les bons de livraison. Toutefois il existe certains combustibles solides dont les cendres, de nature alcaline, retiennent une partie du soufre. Ainsi, cette rétention est d'environ 30 % pour le lignite de Gardanne dont les cendres contiennent divers sels, surtout du carbonate de calcium.

Le gaz naturel est en général complètement désulfuré avant livraison et son émission  $SO_2$  est négligeable.

Tous les combustibles liquides et solides contiennent du soufre (\*\*) en plus ou moins grande proportion.

Selon leurs origines les charbons peuvent contenir en moyenne de 0,6 à 4 % environ de soufre, certains lignites dépassant toutefois largement ces chiffres.

---

(\*) 1 gramme de soufre donne exactement 2 grammes de  $SO_2$

(\*\*) La présence de soufre s'explique en grande partie par le fait que le soufre est un constituant essentiel de la matière vivante (le plus important après carbone, hydrogène, oxygène, azote) et que les combustibles fossiles dérivent de la matière vivante.

Le soufre dans le charbon existe sous deux formes principales, en proportions très variables d'un charbon à l'autre :

- . combinaison chimique avec les molécules organiques
- . sulfure de fer (pyrite).

Les charbons vendus sur les marchés internationaux sont rarement très sulfureux mais aux Etats-Unis, en Allemagne, en Grande-Bretagne et dans les pays de l'Est européen, il existe des gisements sulfureux (2 à 4 % de soufre) dont l'utilisation pose de plus en plus de problème de pollution et peut obliger à une désulfuration (Etats-Unis, Japon, Allemagne).

La teneur en soufre des pétroles bruts est également très variable puisqu'elle peut aller de 0,10 % pour les pétroles algériens à 2,84 % pour le pétrole lourd d'Arabie Saoudite. La teneur en soufre varie également selon les fractions pour un pétrole de la même origine :

	<u>% poids de soufre</u>	
	"Forties" (mer du Nord)	Arabe léger
Essence .....	0,001	0,025
Kérosène .....	0,016	0,094
Gazole .....	0,16	1,09
Distillat sous vide .....	0,41	2,46
Résidu sous vide .....	0,78	4,40

Les bruts peu sulfureux n'exigent aucune désulfuration, sauf circonstances très particulières.

Sauf exception, et pour tous les bruts, la teneur en soufre de la fraction essence est acceptable.

Sur les bruts moyennement et fortement sulfureux, les fractions kérosène et gazole sont désulfurées catalytiquement à l'hydrogène, procédé bien au point et mis en oeuvre dans beaucoup de raffineries.

La plupart des bruts sulfureux, mais pas tous, permettent de produire le fuel lourd aux spécifications françaises (4,0 % S maximum). Les fuels lourds dits BTS (basse teneur en soufre : 2,0 % S maximum) et TBTS (très basse teneur en soufre 1 % S maximum) ne sont obtenus qu'avec des bruts peu soufrés.

Ajoutons que les bruts peu soufrés sont le plus souvent des bruts légers, donc peu riches en fraction fuel lourd.

Pratiquement seuls les bruts du Proche Orient sont sulfureux. La France traite donc aujourd'hui une proportion élevée de bruts peu sulfureux.

Quand on considère l'énormité des réserves du Proche Orient et la modestie des réserves d'Afrique et surtout de la Mer du Nord, on peut dire que la France, et l'Europe en général, "mangent leur pain blanc le premier". D'ici 10 à 20 ans sauf événement politique majeur, il faudra revenir aux bruts du Proche Orient avec tous les problèmes de soufre qu'ils peuvent poser sauf si, les besoins en fuels lourds étant devenus très faibles, les pétroliers sont obligés de convertir les fractions lourdes en fractions légères ou moyennes par des formes de craquage appelées "conversion profondes" et qui obligeront à une désulfuration quasi totale du pétrole brut.

A l'occasion de la conférence de Stockholm sur l'acidification de l'environnement en 1982, des chiffres d'émission de SO<sub>2</sub> ont été donnés pour tous les pays d'Europe ainsi que les prévisions des émissions pour les années 1992 et 2002.

(en millions de tonnes de SO<sub>2</sub>)

	1972	1982	1992	2002	% Variation sur 1982
Austria.....	0.70	0.43	0.57	0.72	67
Belgium.....	1.14	0.81	0.84	0.87	7
Bulgaria.....	0.68	0.77	1.18	1.60	108
Czechoslovakia....	2.91	3.37	3.78	4.18	24
Denmark.....	0.62	0.45	0.51	0.58	29
FRG.....	3.91	3.51	3.72	3.93	12
Finland.....	0.55	0.57	0.60	0.63	11
France*.....	3.5	2.4	1.4	1.4	- 41
GDR.....	4.00	4.00	4.20	4.40	10
Greece.....	0.20	0.34	0.54	0.74	118
Hungary.....	1.50	1.72	1.94	2.17	26
Ireland.....	0.33	0.26	0.45	0.64	146
Italy.....	3.17	3.07	3.21	3.35	9
Luxembourg.....	0.05	0.03	0.04	0.04	33
Netherlands.....	0.78	0.49	0.50	0.63	29
Norway.....	0.18	0.14	0.14	0.18	29
Poland.....	3.00	2.50	2.78	3.07	23
Portugal.....	0.11	0.14	0.20	0.26	86
Romania.....	0.85	2.00	2.67	3.35	67
Spain.....	1.30	2.09	2.91	3.73	78
Sweden.....	0.83	0.51	0.33	0.36	- 29
Switzerland.....	0.15	0.12	0.14	0.18	50
Turkey.....	0.60	0.65	1.31	1.97	203
USSR.....	23.50	25.50	30.05	34.60	36
UK.....	5.61	4.25	4.75	5.26	24
Yugoslavia.....	0.65	0.83	1.37	1.91	130
<b>TOTAL.....</b>	<b>60.54</b>	<b>61.44</b>	<b>70.97</b>	<b>80.78</b>	

Source : BEIJER Institute (Suède)

\* Les émissions de SO<sub>2</sub> pour la France ont été corrigées par le C.I.T.E.P.A.

Il apparaît clairement sur ce tableau qu'en 1982 tous les pays sauf la France et la Suède devaient connaître une augmentation de leurs émissions de SO<sub>2</sub>, les plus fortes augmentations en pourcentage concernant les petits pays en voie d'industrialisation comme la Turquie, l'Irlande, la Yougoslavie ou la Grèce.

La cause de ces accroissements tient aux choix énergétiques faits par presque tous les pays européens qui ont misé plus sur le charbon que sur le nucléaire pour faire face à leurs besoins en énergie. Pour certains de ces pays, Grande-Bretagne, Grèce, République fédérale d'Allemagne, Tchécoslovaquie, U.R.S.S. on envisage même de remplacer les combustibles actuels trop coûteux par des ressources locales de très mauvaise qualité. Certains lignites qui devraient être massivement utilisés contiennent en effet jusqu'à 12 % de soufre ,

Une étude de l'O.C.D.E. (\*) confirme également que la tendance à la baisse des émissions que l'on avait pu constater dans la période qui vient de s'écouler risquait de s'inverser dans la plupart des pays jusqu'en 1990.

Il s'agit bien entendu de prévisions établies à partir de différents scénarios de croissance économique et d'utilisation des différentes sources d'énergie qui ne tiennent pas compte des engagements internationaux que les différents pays ont déjà pris ou qu'ils pourraient prendre en matière de protection de l'environnement.

La France présente un cas un peu particulier puisque les émissions de SO<sub>2</sub> ont déjà régressé de 42 % en 10 ans ce qui s'explique par :

- les économies d'énergie,
- le recul général du fuel lourd utilisé par l'EDF et les industries,
- le progrès de l'utilisation du gaz,
- la multiplication par 9 de l'électricité d'origine nucléaire.

Pour l'avenir, en se basant sur les différents scénarios de croissance économique à l'horizon 1990-2000 contenus dans le Rapport du Groupe "long terme énergie" dit Rapport Joseph de 1983, on peut estimer que les émissions de SO<sub>2</sub> seront en France en l'an 2000, pour tous les cas de figure, en forte baisse par rapport au niveau actuel (de - 47 % à - 58 % selon les différentes hypothèses).

Si la part de l'industrie dans le total des émissions de SO<sub>2</sub> doit passer de 35 % à 44-50 % en 2000 et si la part du secteur résidentiel doit également augmenter mais dans une moindre proportion, la part des centrales électriques ne sera plus par contre que de 12 à 21 % du total.

Cette régression spectaculaire de la pollution qui mettrait la France en avance sur tous les autres pays, même en l'absence de mesures nouvelles, est en grande partie le résultat de la politique énergétique française qui a privilégié le nucléaire.

Cette politique qui avait essentiellement pour objectif d'accroître l'indépendance énergétique de la France a donc eu également des résultats intéressants sur la réduction de la pollution atmosphérique.

Les autres pays industrialisés, à l'exception de la Belgique et de la Suède qui ont aussi un programme nucléaire important, ont fait des choix radicalement différents en s'orientant principalement vers le charbon, le gaz et le fuel oil. S'ils veulent désormais limiter les émissions de polluants soufrés ils devront renforcer, parfois aux prix d'investissements très lourds, leurs installations de dépollution et par là même augmenter le coût de leur énergie.

---

(\*) O.C.D.E. Environnement et économie. Vol II. 1984.

### 1°2 Evolution des émissions d'oxydes d'azote

Le mécanisme de formation des oxydes d'azote dans les combustions est tout-à-fait différent de celui de l'anhydride sulfureux. Toute combustion dans l'air émet des oxydes d'azote, mais la formation ne devient importante qu'au-delà de 1000° C.

La formation des oxydes d'azote se fait principalement selon deux processus qui conduisent à distinguer :

- a) le "NOx thermique" dû à la combustion chimique de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température,
- b) le "NOx du combustible" lié à la présence d'azote chimiquement combiné dans les molécules de fuel lourd et de combustible solide.

Le NOx thermique est fonction :

. de la température et du temps de séjour des gaz à température élevée (vers 1 500 °C, une augmentation de 50 °C de la température accroît les NOx de 100 ppm si l'équilibre chimique est atteint).

. de la concentration en oxygène, donc de l'excès d'air de combustion.

Le NOx du combustible est nul dans le cas des gaz, modéré dans le cas des combustibles liquides lourds (0,1 à 0,4 % d'azote dans les fuels lourds) et peut atteindre 70 % de l'émission totale NOx dans le cas des combustibles solides. Aux concentrations élevées d'azote dans le combustible, on observe un "plafonnement" de la formation des NOx, qui par ailleurs est favorisée par la présence d'oxygène combiné dans les molécules de combustible solide.

En France, les émissions provenant de la circulation routière étaient estimées en 1983 à 1,06 million de tonnes, ce qui représentait 64 % du total des émissions contre 50 % seulement en 1973. Ces estimations sont toutefois contestées par certains organismes pour lesquels la responsabilité de l'automobile serait très nettement inférieure (40 % des émissions liées aux activités humaines pour la Chambre syndicale des constructeurs d'automobiles).

La part de la circulation automobile varie d'ailleurs selon les pays. Elle ne serait par exemple que de 44 % aux Etats-Unis. En revanche en Suisse où il n'y a que peu de grands foyers de combustion elle s'élèverait à 80 % et aurait été multipliée par 25 depuis 1950.

Malgré la relative imprécision des données sur les émissions de NOx, il apparaît que la circulation automobile joue un rôle très important dans la pollution atmosphérique. Si elle n'a en effet qu'une influence limitée dans la formation des précipitations acides, elle est en revanche fortement impliquée dans celle des photooxydants. Or ces photooxydants sont pour beaucoup d'experts certainement en grande partie responsables des atteintes aux végétaux comme on le verra dans la suite du présent rapport.

Les incertitudes sur les facteurs d'émission des véhicules rendent difficiles les prévisions sur l'évolution des émissions de NOx. Toutefois si des mesures ne sont pas prises pour dépolluer les gaz d'échappement des véhicules la contribution du secteur des transports continuera à augmenter et pourra même atteindre selon certains auteurs 70 % du total en 2000. Comme la part relative des autres secteurs ne devrait pas fondamentalement changer il est à craindre, si rien n'est fait, que le total des émissions de NOx ne baisse pas de façon significative dans les prochaines années.

Dans les autres pays industrialisés où la réduction des sources fixes sera peu importante, on peut même s'attendre à des augmentations spectaculaires des émissions de NOx. Ainsi, au Canada, en l'absence de normes plus strictes, les émissions devraient augmenter de 30 % d'ici l'an 2000 (\*). Aux Etats-Unis le niveau des émissions de NOx devrait également continuer à s'élever et passer de 19 à 24,1 millions de tonnes en 2000 (\*\*).

Cette augmentation généralisée des émissions de NOx est particulièrement préoccupante car ces polluants ont, comme on le verra dans la suite du rapport, une triple incidence sur l'environnement directement, combinés avec d'autres ou comme composant des pluies acides.

### 1°.3 Les émissions d'hydrocarbures

De nombreuses études dans différents pays ont presque simultanément attiré l'attention sur le rôle très important des particules d'hydrocarbures dans l'atmosphère.

Alors que les émissions de poussières régressaient partout et en particulier en France en raison de la diminution du nombre des centrales alimentées au charbon, les émissions de particules d'hydrocarbures semblent au contraire progresser rapidement. Ces hydrocarbures proviennent des gaz imbrûlés des automobiles mais aussi des industries pétrolières et de l'utilisation des solvants.

Cette estimation donnée par le Ministère de l'environnement porte sur les hydrocarbures proprement dits. Or la réalité de la pollution photooxydante amène à s'attacher à un groupe d'agents plus difficiles à définir mais plus exactement impliqués dans cette pollution : il s'agit des composés organiques volatils (C.O.V.). Les C.O.V. comprenant certains hydrocarbures ainsi que d'autres agents. Ayant engagé la réalisation d'un inventaire des C.O.V. (définis comme composés organiques volatils (gazeux) non méthaniques), le CITEPA a réuni les indications suivantes pour l'année 1983.

Les émissions de C.O.V. en France ont été pour cette année-là de 3,16 M de T et se répartissent comme suit entre les différentes origines : transports 39 %, émissions naturelles 32 %, industrie 13 %, résidentiel tertiaire 12 %, combustion 2 %, agriculture 2 %.

En ce qui concerne les transports, la part des deux-roues est proportionnellement considérable puisqu'elle représente 17 % des émissions de ce domaine. Dans l'industrie, les peintures (25 %) le dégraissage (21 %), viennent en tête, suivis de la fermentation, des raffineries de l'imprimerie, des activités de fermentation.

La mesure des émissions de C.O.V. soulève des problèmes difficiles. La CEE indique que la mesure de ces pollutions en continu, sur le terrain, n'est pas résolue en Europe ; il n'existe pas d'appareil de mesure sélective des hydrocarbures, non seulement en Europe, mais aussi aux Etats-Unis et au Japon ; or l'appréhension du phénomène par catégorie de COV est essentielle compte tenu des très grandes disparités entre les caractéristiques des différents groupes d'agents.

---

(\*) Rapport du sous comité sur les pluies acides de la Chambre des Communes (1984)

(\*\*) U.S.-Canada Work group. Final report 1983.



La mesure des émissions de C.O.V. soulève des problèmes difficiles. La CEE indique que la mesure de ces pollutions en continu, sur le terrain, n'est pas résolue en Europe ; il n'existe pas d'appareil de mesure sélective des hydrocarbures, non seulement en Europe, mais aussi aux Etats-Unis et au Japon ; or l'appréhension du phénomène par catégorie de COV est essentielle compte tenu des très grandes disparités entre les caractéristiques des différents groupes d'agents.

Des actions efficaces peuvent néanmoins être entreprises. Compte tenu de l'implication de ces émissions dans la pollution à longue distance, et de certains risques sanitaires, sans parler des économies d'hydrocarbures, le gouvernement français a déjà engagé des actions adaptées aux différentes branches concernées et s'est fixé pour l'an 2000 l'objectif de réduction de 30 % des émissions globales d'hydrocarbures ; la France est le premier pays du moins en Europe à prendre un tel engagement. (\*)

On estime qu'en 1983, le total des émissions d'hydrocarbures s'élevait pour la France à 2,3 millions de tonnes, se répartissant ainsi :

- Solvants	: 42 %
- Transports	: 38 %
- Industries	: 20 %

\* \*

\*

Si les grands accidents aigus de pollution sont devenus plus rares dans les pays industrialisés, l'évolution prévisible des émissions de polluants reste inquiétante.

La quantité de polluants émis chaque jour contribue à créer un phénomène de pollution permanente dont les dangers sont peut être plus graves dans la mesure où la contamination de l'environnement est constante et insidieuse comme le soulignait un rapport du Conseil économique et social (\*\*).

**Si des mesures efficaces ne sont pas prises, l'augmentation de la pollution aura sans aucun doute des conséquences sur l'environnement.**

Comme le soulignait le rapport (\*\*\*) de l'Office of Technology Assessment du Congrès des Etats-Unis, l'important n'est plus aujourd'hui de s'interroger pour savoir si l'accroissement de la pollution atmosphérique provoque ou non des dommages à l'environnement mais de savoir quel sera leur importance et s'ils seront cumulatifs et irréversibles.

---

(\*) cf Infra II partie 6°) sur le détail de ces actions.

(\*\*) Conseil économique et social. 12 octobre 1979, p. 14

(\*\*\*) Acid rain. O.T.A. Juin 1984.

## 2° La transformation des polluants pendant leur transport dans l'atmosphère

Jusqu'à ces dernières années, la pollution atmosphérique était un problème local. Les chercheurs en physico-chimie de l'atmosphère, qui avaient focalisé leur attention sur les problèmes qui se posaient dans les agglomérations urbaines ou au voisinage des grandes installations industrielles, se sont peu à peu aperçu que la dégradation de la qualité de l'air était désormais perceptible sur l'ensemble du territoire. Des zones dont on vantait il y a encore quelques années la pureté de l'air connaissent aujourd'hui des concentrations parfois élevées de polluants.

L'étude des transformations et des transferts des polluants qu'ils soient d'origine naturelle ou humaine est très difficile car il s'agit d'étudier le cheminement de composés chimiques qui évoluent dans l'espace et dans le temps. Les mouvements des masses d'air provoquent en effet des transports à longue distance des polluants et ceux-ci pendant ce transfert se transforment peu à peu en polluants secondaires ou en photooxydants. Des preuves certaines de tels transferts sur des distances de plusieurs centaines de kilomètres, existent. La transformation et le transfert des polluants primaires résulte d'un ensemble très complexe de phénomènes physiques et chimiques que l'on peut diviser en cinq grandes phases.

### 2°.1 L'émission des polluants primaires

Outre les composés majoritaires soit permanents (azote, oxygène, gaz rares) soit transitoires (eau, gaz carbonique) l'atmosphère terrestre contient toujours un grand nombre de composés que l'on pourrait qualifier de minoritaires. Ces composés minoritaires, dont la teneur est extrêmement fluctuante dans le temps et dans l'espace proviennent, soit d'émissions purement naturelles (Volcans, pétilllement des océans, érosion éolienne, activité biogénétique...) soit de processus anthropogéniques (industriels, agricoles ou domestiques).

Avant de s'intéresser aux perturbations apportées par les émissions anthropogéniques, il faut rappeler que les composés émis par des processus purement naturels génèrent à eux seuls un ensemble déjà fort complexe de phénomènes physico-chimiques dans lequel l'homme n'intervient pas et que nous nommerons "ordre naturel du chimisme de l'atmosphère". A l'échelle géologique, cet ordre n'est certainement pas immuable et les grandes variations climatiques se sont accompagnées de modifications profondes de l'ordre naturel du chimisme de l'atmosphère, puisque les grands émetteurs naturels (océans, végétaux) étaient très différents de ce qu'ils sont aujourd'hui et que les conditions physico-chimiques des transformations ultérieures se sont modifiées (température, humidité, etc...). En l'état actuel de la science, il n'est toujours pas possible de déterminer avec certitude lequel des deux phénomènes est la cause de l'autre.

Le formidable développement des activités humaines depuis un peu plus d'un siècle a entraîné :

- un accroissement considérable des émissions d'origine anthropogéniques qui, pour certains composés très importants, peuvent être du même ordre de grandeur que les émissions naturelles et pour d'autres d'un ordre de grandeur supérieur ;
- des modifications importantes (en nature et en intensité) des émetteurs naturels que sont les végétaux : cultures intensives, déforestation, etc...

Ces modifications sont donc susceptibles d'induire des perturbations profondes de l'ordre naturel du chimisme de l'atmosphère. Les phénomènes communément appelés "brouillards photochimiques" et "pluies acides" sont des conséquences de ces perturbations. L'approche scientifique rigoureuse de ces problèmes nécessite donc une étude préalable très approfondie de l'ordre naturel et de considérer ensuite que la "pollution" n'est pas émise dans un milieu "chimiquement vide", mais qu'elle s'ajoute à des composés d'origine naturelle, et que la chimie ainsi créée avec une chimie préexistante qu'elle peut profondément perturber.

## 2°.2 Les transformations chimiques des polluants primaires et la formation des polluants secondaires et des photooxydants

Une fois émis dans l'atmosphère, les polluants se mélangent avec l'air ambiant et se diluent. Mais surtout ils s'oxydrent sous l'action de radicaux libres formés essentiellement grâce à des réactions photochimiques provoquées par la lumière solaire. En effet, dans la troposphère (partie la plus basse de l'atmosphère) la totalité des réactions chimiques ayant lieu en phase gazeuse sont des réactions dites radicalaires car elles impliquent des espèces chimiques électriquement neutres très réactives de courte durée de vie nommées radicaux libres. Ces radicaux libres essentiellement les radicaux oxydriles OH et NO<sub>3</sub> sont formés par la fragmentation d'une molécule soit thermiquement soit photochimiquement. Parmi les composés mineurs présents dans l'atmosphère, trois d'entre eux qui sont déjà naturellement assez abondants jouent un rôle primordial dans la formation de ces radicaux libres, il s'agit du dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>), du monoxyde d'azote (NO) et de l'ozone (O<sub>3</sub>).

**La transformation des polluants primaires en polluants secondaires doués de propriétés et d'effets chimiques très différents se fait selon des réactions très lentes.** Ainsi, même dans des conditions météorologiques très favorables, le dioxyde de soufre a un temps de résidence dans l'atmosphère de l'ordre de 2 à 3 jours. Chaque heure seulement de 2 à 5 % des molécules de SO<sub>2</sub> s'oxydent en acide sulfurique. Des vitesses de réaction aussi faibles sont également observées pour la plupart des composés organiques. La conséquence de la lenteur de ces mécanismes de transformation c'est que les polluants secondaires peuvent être formés plusieurs heures ou plusieurs jours après l'émission des polluants primaires. **Leur retombée peut donc se faire à des distances de plusieurs centaines de kilomètres selon les conditions météorologiques (température, humidité, vitesse du vent...).**

Les principaux polluants secondaires sont maintenant bien connus. Ce sont des acides (acides sulfurique et nitrique) partiellement neutralisés en sels (exemple : sulfate d'ammonium), l'ozone et les photooxydants.

De très nombreux autres produits sont également formés, dont quelques-uns ont été effectivement mis en évidence dans l'atmosphère et souvent aussi dans les retombées sèches ou humides ; mais dont beaucoup ne l'ont pas encore été.

On peut les classer sous le terme de "photooxydants" :

- PAN (peroxyacétylnitrate) et homologues,
- Composés carbonylés : aldéhydes (formaldéhyde, acétaldéhyde, acroléine, benzaldéhyde...) et cétones (acétone...), mais aussi des quinones,
- Acides carboxyliques (acide acétique...) sulfoniques..., dont la contribution à l'acidité des pluies est rarement prise en compte,
- Nitrates d'alcoyle, connus pour leurs effets mutagènes sur les cellules vivantes et beaucoup d'autres composés dont la nocivité pour les êtres humains est connue ou soupçonnée et qui par conséquent peuvent ne pas être inertes vis-à-vis des plantes.

Ces photooxydants sont formés par l'oxydation partielle des hydrocarbures dans l'atmosphère sous l'effet des radicaux libres. Les émissions d'hydrocarbure jouent donc un rôle essentiel dans l'apparition des phénomènes de pollution à longue distance.

Un certain nombre de conséquences découlent de la possibilité d'avoir de fortes concentrations de photooxydants dans les zones rurales. L'ozone seul, ou en association avec  $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_2$ , a vraisemblablement une action néfaste sur les récoltes et sur les forêts, par différents processus possibles exposés par ailleurs dans ce rapport.

Mais, de plus, leur rôle peut être indirect. En effet, les photooxydants, par les espèces chimiques qu'ils renferment ou peuvent produire, sont directement impliqués dans la formation des acides déposés sur les plantes et les sols. L'ozone et des radicaux libres ( $\text{OH}$  et  $\text{HO}_2$ ) sont en effet les principaux agents des oxydations en phases gazeuses conduisant à l'acide sulfurique et à l'acide nitrique ; l'ozone et l'eau oxygénée jouent les mêmes rôles dans les gouttelettes d'eau des nuages qui ont absorbé du  $\text{SO}_2$ . Ces mécanismes sont considérés comme les plus importants pour former les sulfates et nitrates atmosphériques. L'action des photooxydants est tellement la clef des mécanismes d'oxydation qu'on se pose réellement la question de savoir si une réduction des émissions de  $\text{NO}_x$  n'aurait pas un effet plus faible sur les retombées de nitrates que celle des photooxydants et de leurs précurseurs, dans une zone géographique donnée.

On soupçonne donc de plus en plus les photooxydants d'avoir un rôle prédominant dans le phénomène d'apparition des retombées acides (sèches et humides) et dans l'augmentation de la concentration en ozone..

Le rôle possible d'un certain nombre d'autres oxydants éventuels de  $\text{SO}_2$  et  $\text{NO}_2$  est également étudié par les scientifiques. Ainsi, on a récemment montré que le PAN, l'un des plus célèbres photooxydants, est soluble dans l'eau acide (eau des nuages, et aussi, eau des sols en surface) et qu'il est alors transformé en nitrate et acétate. Cet apport apparaîtrait faible, mais par contre on ne sait pas encore si le PAN dissout dans l'eau ne pourrait pas servir d'agent oxydant du  $\text{SO}_2$  et du  $\text{NO}_2$  dissous.

Le PAN peut ainsi être considéré comme un "réservoir" d'oxydants. Une partie importante des  $\text{NO}_x$  ayant réagi se trouve sous cette forme. Dans les zones non urbaines, en été, on trouve, à peu près autant de PAN que d'acide nitrique, et en hiver il peut prédominer, car il est plus stable à basse température.

De même un certain nombre de produits formés lors de la photooxydation atmosphérique sont des acides organiques (acides formique, acétique,...) très solubles dans l'eau et dont la contribution à l'acidité des retombées humides n'est actuellement que rarement considérée.

En dehors de leur action directe sur les organismes vivants, les photooxydants peuvent aussi par les mécanismes précédents conduire à des acides soit minéraux comme les acides sulfurique et nitrique, soit organiques.

### 2°.3 La dispersion des polluants

L'air, et par conséquent les polluants qu'il contient, gazeux et particulaires, subit sous l'action de diverses forces physiques, des déplacements très importants. D'une part on a des transports verticaux par diffusion et par convection lorsque la chaleur solaire chauffe le sol, ce qui fait que les couches atmosphériques inférieures plus chaudes donc plus légères, gagnent des altitudes plus élevées. On a ainsi un brassage vertical, du moins pendant la journée, qui tend à homogénéiser la basse atmosphère (quelques centaines de mètres à quelques kilomètres d'épaisseur). D'autre part, les vents assurent les déplacements horizontaux des polluants sur des distances considérables.

Les composés les plus stables, à longue durée de vie (plusieurs années), sont bien mélangés, alors que ceux à durée de vie plus courte (quelques mois à quelques jours, comme  $O_3$ ,  $SO_2$ ,  $NO$ ,  $NO_2$ ,  $HNO_3$ , les hydrocarbures réactifs) ne le sont pas et leur distribution verticale et horizontale n'est pas uniforme. Au fur et à mesure que la durée de vie des composés diminue, le transport prend moins d'importance dans leur répartition. Les espèces très réactives comme les radicaux libres ( $OH$ ,  $HO_2$ ...) ont des durées de vie très courtes et leur distribution ne dépend pas des phénomènes de transport : cependant, à cause des réactions qui les fabriquent et de celles qu'ils peuvent provoquer et qui les font disparaître, leur contribution dépend des autres composés dont la distribution est influencée par des processus de transports (par exemple, eau,  $O_3$ ,  $CO$ ).

Dans les dernières décennies, il s'est donc dégagé la conclusion très claire que la météorologie et la chimie de l'atmosphère sont intimement liées et que le temps est un des paramètres essentiels du problème. Comme l'atmosphère n'est jamais immobile, les processus chimiques qui dépendent du temps, dépendent aussi nécessairement de la distance. Après s'être surtout préoccupé de l'étude de pollutions locales, on s'oriente de plus en plus vers des études régionales, sous la pression des problèmes posés à l'environnement.

Ceci est particulièrement vrai pour le problème des "pluies acides" où les sources peuvent être situées à plusieurs centaines de kilomètres des lieux de déposition. Les polluants finaux ou leurs précurseurs peuvent traverser une ou plusieurs frontières nationales, dans le cas de l'Europe.

Il y a quelques années encore, on considérait que la pollution se déplaçait en Europe d'Ouest en Est en suivant les vents dominants, il apparaît aujourd'hui que la réalité est beaucoup plus complexe. Les vents d'Est généralement accompagnés d'un fort ensoleillement semblent en particulier jouer un rôle déterminant dans les phénomènes de photooxydation qui ne peuvent se produire que sous l'action de la lumière solaire.

La mauvaise connaissance de ces processus de transport et de transfert des polluants avait conduit dans les décennies précédentes à préconiser la surélévation des cheminées pour lutter contre les phénomènes de pollution de proximité et donc à favoriser la transformation des polluants primaires en polluants secondaires.

### 2°.4 Le dépôt des polluants

Le dépôt à la surface de la terre constitue le puits principal de la plupart des gaz et des aérosols atmosphériques, excepté pour quelques composés chimiquement très peu réactifs et non solubles dans l'eau, fréon,  $N_2O$ ,  $CO_2$ , qui ne sont photooxydés qu'après passage dans la stratosphère.

Le processus par lequel un hydrométéore tombant (c'est-à-dire la pluie, la neige, le grésil), transporte à la surface des constituants de l'atmosphère est appelé le dépôt humide. Les processus de gravitation des particules et de transport turbulent des particules et des gaz vers la surface sont collectivement dénommés le dépôt sec. Il y a plusieurs processus potentiellement importants qui échappent à cette classification : l'interception de gouttelettes de brouillard, la formation de rosée...

Il est évident que dans certaines circonstances météorologiques le dépôt sec prédomine, alors que dans d'autres c'est l'inverse.

La nature chimique et physique des polluants joue aussi un rôle important. Ainsi, les très petites particules (submicroniques) sont mal capturées par les gouttes tombantes de pluies (captation "sous le nuage", ou wash-out) et ont une vitesse de dépôt sec très faible (car elles sont très légères) ; au contraire elles peuvent intervenir efficacement dans les processus de captation "dans les nuages" (ou rain-out), qui précèdent la précipitation. Les gaz solubles (tels que l'acide nitrique gazeux) sont facilement lessivés par les gouttes de pluie et sont rapidement absorbés par les surfaces exposées. Certains auteurs ont estimé que le dépôt sec de  $\text{SO}_2$  représente la moitié de l'acidité en zone forestière et 75 % en zone industrielle.

#### 2°5 Les problèmes posés par la mesure et l'analyse des dépôts

L'évolution des théories sur les causes du dépérissement des forêts ont fait que pendant plusieurs années on s'est beaucoup plus préoccupé de mesurer l'acidité des précipitations plutôt que d'étudier l'impact de la plupart des gaz en trace et des particules, en particulier des photooxydants. Actuellement les préoccupations ont tendance à s'équilibrer.

En effet, une eau de pluie très acide ne contient pas nécessairement de fortes concentrations d'espèces en traces (mais seulement des acides forts comme l'acide sulfurique et l'acide nitrique), alors qu'une eau de pluie neutre peut ne pas être exempte de matériaux dissous. Les effets néfastes des dépôts sont sans doute tout autant dus à l'acidité qu'aux autres composés déposés.

La collecte des retombées humides en vue de l'analyse chimique, bien que théoriquement simple, pose un certain nombre de problèmes. Les composés en trace sont présents à de très faibles concentrations : il faut donc veiller avec beaucoup de soins aux causes possibles de contamination et d'évolution chimique ou biologique des composés à doser. Les valeurs citées dans la littérature scientifique doivent donc toujours être critiquées très soigneusement. Un certain nombre de collecteurs, automatiques ou non, de retombées humides qui protègent les échantillons de la contamination par les retombées sèches entre deux événements pluvieux, ont été mis au point, et leurs résultats doivent seuls être pris en compte. Il existe même des collecteurs séquentiels permettant de suivre au plus près (par 1/10 de mm de hauteur d'eau), l'évolution souvent très rapide des concentrations durant l'événement.

Ces systèmes de prélèvement ne sont pas adaptés pour étudier les composés captés par les brouillards et la rosée. Les gouttelettes des brouillards peuvent contenir des concentrations relativement élevées de polluants qui restent en contact avec la végétation pendant plusieurs heures. De plus, l'humidification des surfaces facilite la captation de composés gazeux ou solides. La rosée met en solution une partie du dépôt sec, dont les constituants recouvrent la végétation pendant un temps relativement long. Cependant, ces types de dépôt sont assez rarement considérés : quelques études ont montré qu'ils peuvent être un moyen majeur de dépôt acide sur la canopée forestière.

Les vitesses de dépôt sec sont fortement influencées par la nature de la surface et par les caractéristiques (hauteur) d'émission : le dépôt sec est plus important près de la source, et la proportion de dépôt humide du même élément augmente avec la distance. La vitesse de dépôt sec est intimement liée aux concentrations dans l'air au plus près de la surface et donc aux conditions météorologiques, ainsi qu'à la nature chimique du composé à déposer et à la nature de la surface.

Le transport turbulent des polluants au plus près de cette surface peut être influencé par la présence de petites irrégularités, de forces électrostatiques et d'autres échanges de masse et d'énergie. Les particules déjà déposées sur une surface sèche peuvent être remises en suspension, de même que de la matière biologique constitutive de la feuille.

Le problème encore non résolu est la mesure expérimentale de la vitesse de dépôt sec. La difficulté réside dans le fait qu'il faut en faire une approche globale, tenant compte de la nature du sol et de la végétation, mais aussi du transport dynamique des polluants entre le sol et les couches supérieures de l'atmosphère. Si on se contente de généraliser quelques mesures ponctuelles, on court le grand risque d'introduire dans le modèle une valeur totalement erronée.

Et même si on voulait se contenter d'une analyse qualitative, par exemple des composés organiques déposés (photooxydants et autres), le choix de la surface est primordial : une feuille d'arbre est une matière vivante qui elle-même émet des composés organiques et qui peut réagir immédiatement avec les molécules déposées, ce qui empêchera les analyses ; si on enduit la feuille avec une pellicule "inerte", la nature de la surface est modifiée...

De plus, il ne faut pas oublier que les quantités déposées sont très faibles, et qu'on ne connaît pas toutes les substances qu'il faut rechercher de préférence, puisque comme pour les effets sur l'homme, les épidémiologistes et les toxicologues n'ont pas encore déterminé quels composés sont les plus nocifs, et surtout quelles associations de deux (ou plus) composés peuvent avoir des effets synergiques très amplifiés.

L'analyse des produits déposés pose également des problèmes qui sont encore loin d'être entièrement résolus. Les méthodes modernes permettent d'analyser correctement la plupart des éléments et sels minéraux, en particulier les ions  $H^+$  mesurant l'acidité, et les ions sulfate, nitrate et chlorure et d'en déduire la contribution des acides sulfurique, nitrique et éventuellement chlorhydrique. Les métaux les plus abondants sont également accessibles, dans les précipitations et dans les aérosols. Au contraire, l'acide chlorhydrique et l'acide nitrique gazeux ne sont pas actuellement dosables dans l'atmosphère. Il faut signaler aussi que des analyses sur des carottes de glace ont permis de retrouver les valeurs de l'époque pré-industrielle, "polluée" uniquement par des composés naturels.

En ce qui concerne les photooxydants et les composés organiques, le problème est beaucoup plus compliqué car ils sont beaucoup plus nombreux et à des concentrations très faibles et ils évoluent en général très rapidement. Pourtant la plupart des spécialistes sont d'accord pour juger qu'ils ont probablement des effets très importants sur les plantes, et en général, sur tous les êtres vivants.

Un certain nombre d'analyses des retombées humides porte sur les acides organiques (acides formique, acétique, etc...), dont la contribution à l'acidité n'est pas négligeable (par exemple 16 % et même 35 % de l'acidité totale) mais qui ont aussi d'autres effets directs, et qui sont les témoins que les phénomènes d'oxydation des hydrocarbures (polluants primaires) ont été très avancés. Par contre, ces acides organiques peuvent être rapidement assimilés par les microorganismes et n'ont pas une existence très longue. Mais ce n'est pas le cas de beaucoup d'autres composés organiques. La présence d'aldéhydes dans les hydrométéores et dans l'air a également été prouvée en milieu rural et on a vu dans le premier paragraphe l'importance de ces intermédiaires réactionnels qui sont de bons indicateurs de la pollution photooxydante et qui sont aussi des promoteurs de radicaux libres permettant des oxydations rapides.

L'ozone est le plus fréquemment mesuré des photooxydants, mais il faut reconnaître qu'il y a quelques années les analyseurs d'ozone faisaient rarement partie des appareillages des réseaux de mesure en zone non urbaine, donc considérée comme peu polluée. L'intérêt de cette mesure en zone rurale n'a été reconnu en France qu'il y a peu de temps. Une forte concentration d'ozone indique un degré de photooxydation avancé, donc vraisemblablement la présence d'autres composés beaucoup plus difficiles à mesurer : le PAN et ses homologues mais aussi des produits d'autres familles chimiques, et en particulier ceux dont la formation a été prouvée lors d'études de photooxydation de mélanges synthétiques menées en chambre de simulation atmosphérique, par exemple les nitrates, les nitrites, les dérivés nitrés, les quinones, les phénols, les diols, etc... Certains de ces composés sont connus comme dangereux par l'homme, et sont même mutagènes ou cancérogènes. Leur action sur les plantes est très peu étudiée et leur analyse systématique dans les milieux forestiers n'a pas été entreprise.

Aucune méthode analytique n'est actuellement définie pour mesurer en zones rurales les radicaux libres dont l'action est très importante, comme OH, HO<sub>2</sub>, etc... Même l'analyse de l'eau oxygénée, produite en phase gazeuse et en phase liquide à partir de HO<sub>2</sub>, n'est pas actuellement réalisée, bien qu'une méthode, il est vrai très difficile à mettre en oeuvre, existe. Il est inutile de rappeler que l'eau oxygénée est un oxydant très puissant, par exemple de SO<sub>2</sub> en phase liquide.

Les mécanismes de formation de transfert et de transport des polluants secondaires sont encore mal connus et la mesure et l'analyse des dépôts sont encore loin d'être totalement fiables. Dans l'état actuel des connaissances en matière de chimie de l'atmosphère, il est difficile de prédire l'effet de la réduction de certaines émissions. Etant donné la complexité des mécanismes physiques et chimiques mis en jeu, les approximations simplificatrices ne peuvent conduire qu'à des erreurs grossières. On ne pourra faire de bonnes prévisions que par l'utilisation de modèles bien élaborés, qui n'existent pas encore pour des pollutions à l'échelle régionale.

Comme on le verra dans la suite de ce rapport, l'intensification des recherches en ce domaine constitue une priorité si l'on ne veut pas continuer à prendre des mesures parfois lourdes sans disposer d'un diagnostic sérieux sur les mécanismes physico-chimiques des transformations de la troposphère.

### 3° Les précipitations acides et leurs effets sur l'environnement

Contrairement à ce que l'on avait cru pendant longtemps les précipitations acides communément appelées "pluies acides" ne constituent qu'un des aspects de la pollution atmosphérique à longue distance.



De plus en plus de spécialistes attirent en effet l'attention sur le rôle majeur de l'ozone et des photooxydants dans les atteintes à l'environnement et en particulier dans le dépérissement des forêts.

Il n'en demeure pas moins que les "pluies acides" résultant de la transformation des NOx et du SO<sub>2</sub> en acide sulfurique et en acide nitrique sont une réalité même si leur mesure pose encore de multiples problèmes.

### 3°.1. Des certitudes mais aussi beaucoup d'ambiguïtés

Les atteintes à l'environnement enregistrées dans plusieurs pays industrialisés dès le début des années 1960 ont amené les scientifiques à s'intéresser à une nouvelle forme de pollution atmosphérique différente de la pollution de proximité étudiée jusqu'ici.

Il est en effet apparu que les zones rurales pouvaient elles aussi être concernées par la pollution atmosphérique que l'on pensait être un phénomène urbain.

Vers 1950, des précipitations acides furent signalées dans le "Lake district" du centre de l'Angleterre avec acidification progressive des sols et des eaux. Mais ce sont surtout les Scandinaves qui ont fait découvrir l'ensemble du problème aux scientifiques et à l'opinion publique. Le pédologue suédois, Svante Oden a montré en particulier que l'acidification des précipitations concernait chaque année des zones plus étendues mais surtout que les polluants pouvaient voyager sur des distances de 2 000 kilomètres.

Les mesures effectuées alors en Scandinavie montrèrent que l'eau des lacs devenait acide et que les poissons disparaissaient. Les scientifiques des pays scandinaves accusèrent alors les autres pays européens et en particulier la Grande-Bretagne d'exporter leurs polluants vers les régions du Nord de l'Europe vers lesquelles soufflent les vents dominants.

Lors de la conférence de Stockholm sur l'environnement humain en 1972, la question fut débattue en public. Les Scandinaves plaidèrent pour une baisse immédiate des émissions soufrées qu'ils estimaient être responsables de l'acidification des précipitations. Ils ne furent pas suivis, la plupart des pays et en particulier l'Allemagne refusant même d'envisager la possibilité de la réduction des polluants. Une étude fut cependant entreprise par l'O.C.D.E. Les résultats de cette étude publiée en 1977 montrèrent que les transports des polluants sur des longues distances étaient bien une réalité.

Les conclusions de cette étude furent reprises et approfondies par le programme EMEP (European Monitoring and Evaluation Programme).

Dès 1975, la Conférence d'Helsinki sur la sécurité et la coopération en Europe avait émis une recommandation "visant à élaborer, grâce à la coopération internationale, un programme de surveillance et d'évaluation du transport à grande distance des polluants de l'air, en commençant par le dioxyde de soufre, puis en passant éventuellement à d'autres polluants".

L'idée fut prise en compte par la Commission Economique pour l'Europe des Nations Unies à Genève et devint le programme d'étude "EMEP" (European Monitoring and Evaluation programme) auquel participent des experts de toutes les nations européennes de l'Ouest et de l'Est. La méthodologie est à peu près la même que celle de l'étude O.C.D.E. : 80 à 90 stations de mesure en Europe (polluants dans l'air, composition des pluies et aérosols), cartographie des émissions, modèles de dispersion comprenant des représentations de l'évolution chimique des polluants.

L'exploitation des données physico-chimiques issues du réseau de mesure est assurée par le "Centre de coordination des questions chimiques" situé en Norvège. Les études de modélisation sont effectuées au "Centre de synthèse météorologique Ouest" en Norvège et au "Centre de synthèse météorologique Est" à Moscou. On les désigne par CCC, CSM-W et CSM-E.

Une des activités importantes de l'EMEP consiste à calculer les retombées humides et sèches à partir des émissions connues. On compare pour chaque poste de mesure les valeurs calculées et les valeurs effectivement mesurées. L'accord entre ces deux données est souvent imparfait mais le coefficient de corrélation est convenable. Les écarts sont dus vraisemblablement aux causes suivantes :

- une mise à jour incomplète des données d'émission (1978 pour certains pays) ;
- des erreurs d'analyse (voir le paragraphe 2<sup>o</sup>.5) mais que l'on s'efforce de corriger par des comparaisons entre laboratoires sur des échantillons témoins ;
- les imperfections des modèles mathématiques.

Le tableau suivant donne à titre d'exemple, sur une carte d'Europe, les lignes d'égaux retombées acides sèches et humides calculées grâce au modèle EMEP dit "de routine", en milligrammes de soufre par mètre carré et par mois. On voit bien que les transports à distance ne sont pas une légende, mais on voit aussi que le plus gros des dépôts se fait en R.F.A. même ou au voisinage immédiat. Plus généralement, ce sont les retombées sèches qui s'éloignent le moins des lieux d'émission, dans les zones de pluviosité élevée liée à la présence de montagnes.

Dépôts mensuels de soufre (en mg par m<sup>2</sup>)



On constate sur la carte que les retombées les plus importantes sont bien dans les régions fortement émettrices (Bohème, Sud de la Pologne, Union Soviétique, et, à un degré moindre Vallée du Pô, Midlands, Ouest de la Yougoslavie). La Rhur n'apparaît pas comme un "record". La Scandinavie n'est pas non plus spécialement affectée par les retombées.

Si l'on examine non plus les retombées, mais l'acidité moyenne des précipitations mesurées par leur pH (\*), le tableau N° 3 conduit à des conclusions semblables compte tenu des réserves déjà exprimées sur les problèmes que posent la mesure et l'analyse des dépôts. Les pH les plus bas de 4,1 se retrouvent au centre de l'Europe de l'Ouest dans les zones proches des sources d'émission des polluants.

Ces pH toutefois sont loin des cas extrêmes que l'on a pu mesurer 2,6 par exemple en Virginie en 1979, en n'oubliant pas que la mesure des pH se fait sur une échelle logarithmique !

L'acidification des précipitations fait l'objet surtout aux Etats-Unis d'une multitude de recherches et de publications, un certain nombre de questions semblent cependant rester sans réponse :

a) Les mesures des retombées moyennes sur une longue période et sur de vastes territoires ont-elles une signification ? Le rapport de l'O.C.D.E. de 1977 mentionne que les retombées se font de façon très irrégulière au cours de l'année. Il a défini des "épisodes" comme étant les jours accusant à un endroit donné les dépôts humides les plus élevés. Or, les épisodes peuvent jouer un rôle essentiel dans la dégradation du milieu.

b) La saisonnalité des émissions et des retombées est-elle suffisamment prise en compte ?

Une imperfection notoire des modèles est une prise en compte nulle ou insuffisante de la saisonnalité des émissions. Les données d'émission sont fournies par les divers pays sur une base annuelle et non saisonnière. Certains modèles supposent arbitrairement une modulation avec une hausse de 30 % sur la moyenne en hiver. Une autre insuffisance est que les réactions chimiques et photochimiques sont plus rapides quand la température et l'insolation s'élèvent. En conséquence, les équations chimiques introduites dans les modèles devraient être différentes selon la saison. Tel n'est pas le cas à notre connaissance.

Une étude américaine relative au Nord-Est des Etats-Unis confirme ce point de vue : l'activité oxydante de l'atmosphère est bien plus élevée en été qu'en hiver. Ces oxydants sont liés à la présence d'oxydes d'azote et d'hydrocarbures "précurseurs" de l'ozone et des oxydants, ce qui veut dire qu'une bonne modélisation des polluants acides devrait intégrer les paramètres des modèles de calcul d'oxydants. Rappelons que la conversion des polluants primaires en acides est un phénomène d'oxydation.

---

(\*) L'eau de pluie pure contient en solution du gaz carbonique qui lui donne une légère acidité correspondant à un pH de 5,6 environ.

c) Les données sur les retombées "moyennes" ont-elles un intérêt ?

Des mesures des retombées "moyennes" sur plus ou moins longues périodes et sur des vastes territoires ont-elles une signification pour expliquer les atteintes à l'environnement ?

Nous avons vu plus haut le rôle important des épisodes. Il se peut que, dans une région donnée, un petit nombre d'épisodes expliquent l'essentiel des retombées et des dégâts des végétaux.

De nombreux auteurs signalent le danger des brouillards, souvent beaucoup plus chargés en polluants que la pluie ou l'air. Or les brouillards sont essentiellement des manifestations locales. Voici un extrait d'un compte rendu d'un colloque tenu en avril/mai 1984 à Garmisch-Partenkirchen en R.F.A. :

"Les dépôts acides dans les zones montagneuses s'effectuent principalement par contact direct entre nuages et brouillards acides avec le sol ou la végétation. La Commission des Sciences Atmosphériques de l'Organisation Mondiale de la Santé a recommandé d'inclure l'échantillonnage et l'analyse des brouillards acides dans le programme BAPMON pour des sites sélectionnés".

Le programme français DEFORPA (\*) envisage de tels échantillonnages et même des échantillonnages de rosée qui, mouillant des dépôts secs, peut être très chargée en substances acides.

Les forêts en dépérissement sont le plus souvent dans des zones de collines ou de montagnes où chaque vallée, chaque flanc de relief, représente un microclimat différent des voisins.

**La réponse aux questions que pose le dépérissement des forêts dans la mesure où il est liée à la pollution est sans doute plus dans des études régionales, voire locales, que dans des études au niveau européen ne donnant que des moyennes.**

Le programme DEFORPA envisage des études de modélisation régionales et à méso-échelle, incluant les Vosges et les régions avoisinantes.

d) Certains faits restent inexplicables

Si les pH les plus bas ont été observés à proximité des zones de pollution industrielle, certaines données restent inexplicables : des pH de 4,7 ont été occasionnellement mesurés dans des régions pourtant très éloignées de toute activité polluante : 3,84 à Hawaï, 4,70 au Groënland, 4,74 à Samoa...

Comment expliquer des pH aussi bas : émissions naturelles ou transfert des pollutions industrielles sur de très longues distances ?

e) Existe-t-il un lien de proportionnalité entre les émissions et les retombées ?

Dans les études OCDE et EMEP, une baisse de x % des émissions entraînerait selon des experts une baisse de x % des retombées correspondantes. Cela ne serait valable que pour des moyennes sur longues périodes et pour des zones étendues. Ce qui veut dire aussi qu'il serait prématuré de déduire des règles d'action contre les émissions à partir des résultats actuels des études sur modèles.

(\*) DEFORPA (dépérissement des forêts attribué à la pollution de l'air) programme français de surveillance et de recherche. Voir ci-dessous.

Des études américaines mettent en doute la "linéarité" de la conversion des polluants primaires en acides, car la transformation pourrait bien être limitée par la quantité présente d'oxydants, en particulier le peroxyde d'hydrogène (eau oxygénée). Ce qui veut dire que si l'on veut limiter l'acidité, il serait comme on l'a déjà fait remarquer, peut-être préférable d'agir en priorité sur la formation des oxydants.

Il convenait avant d'aborder les problèmes des atteintes à l'environnement qui sont attribuées aux effets des pluies acides de rappeler les limites de nos connaissances dans une matière aussi compliquée et de montrer les incertitudes qui règnent sur toutes les conclusions que l'on peut tirer des études de transfert.

Comme le notait G.M. Midy, un éminent spécialiste américain de la question :

"Ni l'analyse des données de l'observation directe, ni l'application de "modèles théoriques n'ont fourni la quantification considérée comme "souhaitable pour un développement fiable de la stratégie de lutte "dans le Nord-Est des Etats-Unis".

Nous n'avons pas trouvé de conclusion plus affirmative du côté européen.

Les incertitudes et les lacunes qui subsistent sur le processus de formation des pluies acides retirent beaucoup de leur crédibilité aux études qui ont été faites sur les flux transfrontières et sur les échanges de polluants entre nations. S'il est évident que les nations s'échangent des polluants, l'imprécision des connaissances en cette matière sert surtout à alimenter des controverses entre les Etats, chacun d'entre eux ayant l'impression de recevoir plus de polluants qu'il n'en envoie chez ses voisins.

Des tableaux construits à partir du modèle de l'EMEP ou de l'OCDE existent mais ils sont malheureusement souvent utilisés comme argument par certains Etats pour temporiser en prétendant que c'est aux pays voisins de prendre en priorité des mesures de lutte contre la pollution.

Que certains pays soient beaucoup plus "receveurs" qu'"émetteurs" de polluants est certainement vrai, mais l'imprécision des données disponibles ne rendent pas opportuns pour le moment de larges développements sur cette question.

Comme le faisait remarquer M. Renaud Vie le Sage (\*) : "en matière de pollution atmosphérique aussi l'enfer ce sont parfois les autres".

### 3°.2 Effets sur les lacs et les cours d'eau

Si l'existence de retombées acides était connue depuis plus d'un siècle, ce sont les travaux des scientifiques scandinaves qui, constatant l'acidification progressive des lacs dans les années 1950, attirèrent l'attention sur les effets de cette forme de pollution.

Les Suédois estiment que 18 000 de leurs 85 000 lacs sont anormalement acidifiés et que dans 4 000 d'entre eux les écosystèmes sont gravement perturbés. Dans les cas les plus graves (pH de 4,5 ou moins) un écosystème entièrement nouveau se forme, un très petit nombre de plantes et d'animaux se développent alors que d'autres et en particulier les poissons disparaissent. Une autre caractéristique des lacs acidifiés est leur totale transparence qui permet parfois d'avoir une bonne visibilité à des profondeurs de 15 à 20 mètres.

---

(\*) La Recherche, Mars 1982.

De nombreuses études américaines et canadiennes confirment que les écosystèmes lacustres et fluviaux sont très sensibles aux effets des retombées acides. Aux Etats-Unis on estime (\*) que 3 000 lacs et 23 000 Miles de rivières peuvent d'ores et déjà être considérés comme altérés dans la région Est des Etats-Unis particulièrement exposée aux retombées acides.

Il n'existe malheureusement pas d'étude sur ce problème en France : il faut cependant remarquer que le très petit nombre de lacs existant en France ne permettrait peut-être pas d'obtenir des résultats scientifiquement valables. Quelques pH extrêmement bas ont été relevés dans des ruisseaux des Vosges mais ces résultats ne peuvent être considérés comme significatifs, la mesure des pH devant s'étendre sur une large période pour tenir compte des variations importantes résultant des accidents climatiques comme la fonte des neiges.

Il n'en demeure pas moins que l'évolution du pH des eaux devrait être prise en compte dans le prochain inventaire des eaux superficielles qui devrait être réalisé en 1986.

### 3°.3 Effets sur les végétaux autres que les arbres

Pour les plantes agricoles, contrairement à ce qui se passe pour les arbres et les plantes pérennes, chaque nouveau semis, dispose aux conditions climatiques près des mêmes chances de développement que les cultures des années précédentes. Les déficits de production qui pourraient provenir de facteurs extérieurs comme la pollution atmosphérique, sont effacés chaque année alors que les arbres peuvent au contraire accumuler tout au long de leur existence les conséquences des stress qu'ils subissent.

Dès 1922, des expériences de fumigation artificielle ont montré que l'on pouvait établir une relation étroite entre la concentration du dioxyde de soufre dans l'air, la durée de l'exposition et l'importance des destructions constatées sur les feuilles des plantes soumises à ces fumigations.

Ces expériences provoquaient des dégâts aigus, visibles à l'oeil nu comme on en rencontre dans certains cas de pollution de proximité et leurs résultats ne sont pas transposables aux conditions actuelles de pollution à longue distance. Cependant la notion de dose qu'elles avaient contribué à mettre en évidence est toujours d'actualité puisque la préoccupation principale des physiologistes et des agronomes est toujours d'établir une relation dose (concentration et durée d'exposition) - effets (production/qualité) capable d'établir une prévision des effets de la pollution de l'air sur les plantes et d'en mesurer les conséquences écologiques et économiques.

En fait, il existe un nombre très important de facteurs dans chacun des termes de cette relation, ce qui explique la lenteur des progrès réalisés depuis les premières expériences. La nature et l'amplitude des effets des polluants sur la végétation ne sont pas déterminées par la seule concentration du polluant. L'apparition et la sévérité des effets dépendent aussi de la fréquence des expositions, de leur durée entre deux expositions, de l'heure de la journée à laquelle la pollution intervient...

La réponse des végétaux à ces expositions dépend aussi de facteurs qui leur sont propres comme l'espèce, la variété ou les conditions de la culture.

---

(\*) Etude et modélisation effectuées par The Institute of Ecology pour l'Office of Technology Assessment. 1982.

La difficulté pour résoudre ce problème est d'autant plus grande que son énoncé est en constante évolution :

- Evolution de la pollution : au cours des années soixante, les émissions de produits soufrés ont considérablement augmenté dans certaines zones. Focalisé par les effets aigus, visibles, des polluants, on s'est attaché, à l'aide de modèles mathématiques, à calculer des flux et des hauteurs de cheminées capables d'assurer une bonne dispersion des effluents et d'éviter aux cultures voisines les effets toxiques des fortes concentrations. En quelque sorte, on n'a pas supprimé le traitement mais simplement diminué la dose, augmentant ainsi l'aire de dispersion et favorisant la formation de polluants secondaires ;
- Evolution de la connaissance de la physicochimie de l'atmosphère et des techniques de dosage des polluants qui a permis de mieux définir la limite entre une teneur naturelle et les prémices d'un phénomène de pollution ;
- Evolution du rôle attribué à l'ozone.  
L'ozone, polluant classé premier par ordre d'importance aux Etats-Unis, pour ses effets sur l'agriculture, a été sous-estimé en Europe jusqu'au début des années 1980.

La pollution oxydante était associée aux dimensions des villes et à la civilisation américaine et l'on n'imaginait pas que ce type de pollution puisse exister en Europe. Les rares sites de mesure nous apprennent que les concentrations rencontrées sont du même ordre de grandeur qu'aux Etats-Unis et quelquefois plus forte.

- Evolution des techniques "d'investigation" et de la connaissance des effets de la pollution. Cette connaissance, très longtemps limitée aux dégâts visibles, ne cesse de progresser et fait reculer d'autant le seuil de concentration à partir duquel on fixe une action préjudiciable.
- Enfin, bien que ce domaine soit lié au précédent, évolution de l'agriculture, de la productivité par la sélection génétique, de la technologie, des pratiques culturales et de la chimie des engrais. Il ne faut pas oublier en effet que la productivité du blé par exemple est passée 20 à 100 quintaux à l'hectare en quarante ans. On peut aujourd'hui se demander si cette augmentation considérable de la productivité de pratiquement toutes les plantes cultivées n'a pas une influence sur leur sensibilité vis-à-vis des polluants.

A l'heure actuelle, de nombreuses études sont conduites en France et à l'étranger soit en plein champ soit en environnement contrôlé. Les expériences en plein champ offrent un moyen proche de la réalité d'estimation de l'impact de la pollution dans des conditions naturelles. Cependant ces études sont longues et onéreuses ; elles demandent une surveillance importante. De plus, il est nécessaire de mettre en place un solide programme statistique afin que la plus petite influence du traitement puisse être distinguée de la variabilité propre aux conditions naturelles. Des prévisions dose-réponse ne peuvent être obtenues qu'après deux ou trois années de confirmation.

Les études en environnement contrôlé présentent par contre un réel intérêt pour évaluer les effets potentiels et des modifications très fines inaccessibles en conditions naturelles. Elles permettent aussi de réduire l'amplitude d'un grand nombre de variables expérimentales (nutrition, humidité, éclairage, température, ventilation). Leur utilisation est cependant limitée par le fait que les plantes sont généralement plus sensibles aux polluants lorsqu'elles sont élevées dans des conditions artificielles. Cette surestimation des effets rend délicate l'utilisation de ces techniques pour l'accès aux relations dose-effets (productivité). Elles sont généralement réservées pour les études fines au niveau des mécanismes d'action des polluants sur la physiologie de la plante.

La plupart des études disponibles se limitent aux effets des différentes combinaisons de SO<sub>2</sub>, de NO<sub>2</sub> et d'ozone. Les autres combinaisons semblent avoir beaucoup moins retenu l'attention et les recherches sur les interactions de polluants gazeux, d'aérosols et de dépôts humides sont pratiquement inexistantes. D'autre part, ces études portent en général sur les effets visibles ou les dégâts visibles n'impliquant pas systématiquement un effet sur le rendement.

**Dans l'état actuel des connaissances, il semble que seul l'ozone présente une menace réelle pour les cultures.** Pour le moment, aucune anomalie imputable à une forte concentration d'ozone en culture réelle n'a été signalée en France mais les expériences conduites en 1985 dans le Sud-Ouest montrent que certaines espèces particulièrement sensibles subissent des dégâts à des concentrations d'ozone rencontrées lors des campagnes de mesures faites à la même époque.

La confrontation de ces rares campagnes de mesures de l'ozone et des résultats des expériences de simulation amènent donc certains chercheurs à la conclusion que des effets dépressifs peuvent être attendus sur la croissance et le rendement de certaines cultures. La confirmation pratique de cette hypothèse sera difficile à apporter car les pertes de production ne s'accompagnent pas obligatoirement de manifestations visibles et il est très difficile de distinguer, après une période de fort ensoleillement entre les effets de la sécheresse et ceux de l'ozone dont la production est justement liée à l'intensité du rayonnement solaire.

Au-delà du voisinage immédiat des grandes sources d'émission, il ne semble pas que le dioxyde de soufre présente un danger pour l'agriculture. Cependant des phénomènes de synergie sont à craindre si le dioxyde de soufre, l'ozone et les oxydes d'azote sont présents simultanément. L'absence d'information sur le degré de concurrence de ces composés ne permet pas de préciser la probabilité de réalisation de tels phénomènes.

**Il ne semble pas non plus que le niveau d'acidité des précipitations, tel qu'il est enregistré par les réseaux nationaux, soit de nature à perturber la productivité des cultures** bien que l'existence de réactions combinées avec les composés gazeux est un domaine qui n'a pas été exploré.

Certains rapports américains comme par exemple celui du Congressional Research Service (\*) semblent admettre que les précipitations acides ont un effet direct sur le rendement des cultures. Certains chiffres de perte de récolte sont même avancés pour les principales productions. Toutefois, le National Crop Assessment Network (NCLAN) qui a été mis en place aux Etats-Unis pour obtenir des informations précises sur les pertes de productions agricoles liées à la pollution de l'air a surtout mis en évidence les effets de l'ozone sur le rendement des cultures.

---

(\*) Acid Rain Congressional Research Service. Mai 1984.



Depuis 1980, première année du programme, des expérimentations ont été conduites dans cinq sites des Etats-Unis (New-York, Caroline du Nord, Illinois, Californie, Oregon) et sur six espèces végétales différentes (maïs, blé, arachides, coton, soja, haricot).

Les premiers résultats relèvent que les végétaux cultivés en air ambiant ont un rendement plus faible que les végétaux cultivés en air filtré -10 % pour le soja - 14 à 17 % pour les navets, - 53 à 56 % pour la laitue, - 2 % pour le haricot rouge.

La combinaison des résultats du NCLAN, des concentrations saisonnières d'ozone de 9 h à 16 h dans les comtés, et des statistiques de production et de répartition des cultures, a permis d'estimer la perte de production pour les quatre principales cultures aux Etats-Unis : soja, arachide, blé, maïs. Ces cultures représentent 62 % du total des surfaces récoltées aux Etats-Unis et 63,5 % de leurs valeurs en dollars.

Les résultats sont exprimés en gain de production si la concentration ambiante d'ozone pouvait être ramenée au bruit de fond soit 0,025 ppm (50 ug/m<sup>3</sup>).

Cette méthode d'estimation aboutit à la somme de 3,1 milliards de dollars ( 1,2) pour les quatre cultures concernées.

Les dernières publications du NCLAN (septembre 1984) indiquent qu'une réduction de la concentration ambiante d'ozone de 25 % se traduirait par un bénéfice de 1,6 à 1,9 milliard de dollars pour la société. Au contraire, une augmentation de 25 % entraînerait une perte de 1,9 à 2,3 milliards de dollars.

De nombreuses extrapolations ont été nécessaires pour aboutir à ces évaluations. Il est évident que la concentration d'ozone n'est pas mesurée dans tous les comtés. Des estimations ont été effectuées à partir des sources d'émission de polluant.

Les résultats expérimentaux font tous apparaître une perte de production des cultures liée à la présence d'ozone (seul l'ozone a été pris en compte). Cependant, l'exploitation de ces résultats révèle de nombreuses divergences entre les auteurs.

L'appréhension globale des phénomènes de pollution telle qu'elle est effectuée dans le NCLAN permet d'évaluer quantitativement l'incidence de l'agressivité atmosphérique sur la production des cultures. Ces études doivent être conduites à l'échelle nationale pour avoir le maximum de représentativité. En Europe, la Direction Générale XII de la C.C.E. envisage de coordonner une étude semblable à celle du NCLAN. La France qui a participé aux réunions préparatoires de ce programme s'est engagée dans l'étude préliminaire qui commencera à l'automne 1985.

### 3° 4 Effets sur les bâtiments et les monuments historiques

L'altération des matériaux et la corrosion sont connues depuis longtemps sur les bâtiments qui ont toujours subi des phénomènes de vieillissement (remontées capillaires, infiltrations, effets du climat). Mais, brusquement, cette évolution s'est accélérée. Les facteurs en cause sont, en particulier, l'urbanisation qui a modifié l'environnement, mais surtout la pollution atmosphérique. Tous les matériaux de construction sont touchés par ces phénomènes mais de façon plus ou moins aigüe (les matériaux tendres ou riches en calcaire étant les plus sensibles).

Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote sont principalement à l'origine de cette pollution, ils proviennent des gaz d'échappement et des fumées émanant des installations de chauffage. Ces éléments réagissent avec les composants des matériaux. Ces réactions sont catalysées et aggravées par l'eau et l'oxygène atmosphérique. La formation et la rapidité de développement des altérations des matériaux liées à la pollution atmosphérique dépendent du comportement du matériau vis-à-vis de l'eau, de sa porosité. Les précipitations acides pénètrent par ruissellement du fait de cette porosité.

On distingue deux types principaux d'altération : les alvéolisations et les desquamations. Elles se produisent sur des natures de pierres très diverses et dans des parties très variées des édifices. Elles peuvent parfois coexister sur une même pierre.

Les alvéolisations, auxquelles se rattachent les désagrégations sableuses sont caractérisées par une surface de la pierre en évolution continue : la roche se désagrège en surface sur une épaisseur variant de quelques dixièmes de millimètres à un demi centimètre. La partie interne de la pierre demeure saine.

Les desquamations, très différentes des alvéolisations, sont caractérisées par des cycles : la surface rigide, épaisse de quelques dixièmes de millimètres à plusieurs centimètres se détache progressivement de la pierre. Une zone poudreuse ou sableuse, d'épaisseur très variable existe entre les deux. La surface, pellicule, croûte voire même plaque tombe en entraînant la poudre et la plupart du temps le processus se répète sur la nouvelle surface.

La grande majorité des études sur les altérations des bâtiments porte sur des monuments situés au coeur des villes. Cependant, depuis quelques années, les effets des pluies acides sur la pierre ont commencé à être étudiés. Ce sujet a été en particulier évoqué très largement au congrès qui s'est tenu à Padoue en septembre 1985.

Il ressort de ces études que les composés soufrés sont considérés comme les facteurs primordiaux de l'attaque des pierres. Les composés du soufre réagissent en effet avec les carbonates de calcium pour former du gypse qui, plus volumineux, entraîne des fissures.

En France, peu d'études ont été consacrées aux éventuels effets de la pollution à longue distance sur la pierre. Cependant, des observations faites sur le château de Landsberg construit en grès vosgien ont montré qu'une alvéolisation importante s'est développée bien que cet édifice soit situé en zone rurale éloignée des sources de pollution.

### 3°.5 Effets sur la santé humaine

Il ne semble pas que les effets éventuels d'une pollution atmosphérique diffuse mais chronique agissant loin de ses sources d'émission ait fait jusqu'ici l'objet d'étude en France. Les travaux sur la nocivité des fortes concentrations de polluants atmosphériques sont par contre très nombreux mais leurs résultats ne sont sans doute pas transposables aux cas où le niveau des polluants reste très en-dessous des normes généralement admises.

Aux Etats-Unis et au Canada les effets éventuels de la pollution à longue distance sont pris très au sérieux et font l'objet de nombreuses études dans deux directions différentes :

- la contamination des eaux potables par les métaux lourds par suite de l'acidification des sols. L'eau acide pouvant soit entraîner les métaux lourds contenus dans le sol soit dissoudre les métaux des réservoirs ou des conduites métalliques. Les Suédois ont confirmé les expériences

américaines et consacrent une grande partie de leurs études sur l'acidification des précipitations à ses effets sur la qualité des eaux souterraines. Ces études semblent confirmer que l'on trouve d'ores et déjà des concentrations anormales de cuivre, de zinc, de cadmium et surtout d'aluminium dans les eaux potables des régions exposées aux pluies acides.

Les effets directs résultant de l'inhalation des polluants même faiblement concentrés en particulier chez les personnes qui souffrent de difficultés respiratoires. Une attention particulière est donnée aux Etats-Unis aux effets possibles des particules de sulfates résultant de la transformation dans l'atmosphère du  $SO_2$ .

Les études épidémiologiques sont longues et délicates à conduire. Certains résultats obtenus aux U.S.A. sont assez inquiétants, mais ils doivent être considérés avec la plus grande prudence de l'avis même des auteurs de ces études.

**Même si l'on ne peut pas encore démontrer de façon indéniable que la pollution à longue distance a des effets néfastes sur la santé, la seule éventualité de ces effets justifierait à elle seule les mesures qui sont prises.**

Dans les pays qui comme le Japon ou les Etats-Unis ont entrepris de lutter efficacement contre la pollution sous toutes ses formes, l'impératif de la préservation de la santé humaine a toujours été mis en avant, les atteintes à l'environnement et même aux forêts étant considérées comme beaucoup moins dangereuses.

## II - UN PHENOMENE SPECIFIQUE : LE DEPERISSEMENT DES FORETS

Depuis plus d'un siècle, des dépérissements d'arbres forestiers ont été signalés, mais ils étaient généralement peu étendus et brefs ; d'ailleurs, bien souvent, une cause écologique ou biotique était assez rapidement décelée. Plus récemment, au voisinage des centres industrialisés, notamment en Tchécoslovaquie et en Pologne, des dépérissements durables ont été et sont encore constatés, mais on sait qu'une pollution de proximité en est la cause.

Cependant, des dépérissements inexplicables ont déjà été observés dans le passé, à une époque où la pollution atmosphérique, en particulier celle liée au trafic automobile (oxydes d'azote), ne pouvait constituer une explication sérieuse. D'après le Professeur Frenzel, des rapports écrits permettent de penser que des maladies des arbres comparables au phénomène actuel se sont manifestées dans la région de Fribourg (R.F.A.) à la fin du XIIe siècle et au début du XIIIe siècle. Selon le Professeur Otto Kandler, des observations faites vers 1800 décrivent, pour les forêts de hêtres du plateau de Munich, un arrêt de croissance et une sécheresse des cimes. En 1908, le dépérissement du sapin atteint la Saxe et les chaînes de montagne voisines de moyenne altitude. En 1900, on a signalé un mal des forêts en Forêt Noire et dans le Jura suisse ; ce phénomène récidive dans les années 20. A la même époque des rapports relatent des troubles de croissance des épicéas, la croissance annuelle des arbres étant réduite de 40 % dans les forêts domaniales de Saxe. En 1930-1931 et 1935-1936, un dépérissement de grande ampleur atteint les épicéas de Prusse orientale.

Selon le Professeur Kandler, le mal des forêts fait son apparition en Suisse en 1956-1957 pour le sapin et de nouvelles poussées sont enregistrées dans ce pays en 1965-1966 et en 1972-1973.

Pour le pin sylvestre, on a constaté des périodes de croissance réduite qui apparaissent en 1921 selon un cycle décennal, avec un vide dans les années cinquante.

Au cours des années 1970 des dépérissements durables de sapins ont été observés - dans des zones éloignées de toute émission de pollution - en Europe centrale, puis à l'Est de la Bavière et en Forêt noire. En 1976, ce phénomène s'est accentué fortement : 75 % des sapins étaient alors atteints en Allemagne fédérale. Depuis 1980, les épicéas ont été touchés, puis les pins sylvestres et les hêtres.

A partir de 1982 le phénomène se développe en Suisse.

En France, c'est en juin 1983 qu'ont été constatés les premiers symptômes de dépérissement dans les Vosges. Ces constatations, confirmées à l'automne 1983, ont conduit à mettre en place un système d'observation de l'état des forêts intégré dans un programme de recherche dit DEFORPA, arrêté au début de 1984. Ce programme, cofinancé par les Communautés européennes et l'Etat français, est piloté par un groupe opérationnel dépendant du Ministère de l'Environnement et coordonné par un responsable de l'INRA.

## 1. Les résultats des observations

### a) Aspect qualitatif

Le dépérissement est perceptible par des symptômes divers dont certains sont communs à toutes les espèces, notamment la perte partielle du feuillage ou la coloration anormale des feuilles. Des signes particuliers à chaque espèce sont également constatés.

Pour les sapins, l'extrémité de la cime cesse de croître alors que les branches continuent à pousser. Ce phénomène ne se produit en principe que sur des arbres âgés de 120 ans ou plus. Certains sujets présentent des pousses adventives sur le tronc. Quant aux aiguilles qui normalement persistent une dizaine d'années, elles tombent dès l'âge de 4 ou 5 ans, principalement à la cime.

Les épicéas présentent des rameaux anormaux sur la face supérieure des branches ; leur fructification est très abondante. La durée de vie des aiguilles est réduite : 2 à 4 ans au lieu de 7 à 8 ans. Parfois la cime se dessèche. On constate d'autre part sur certains peuplements un jaunissement des aiguilles qui demeurent sur l'arbre. Ce phénomène atteint notamment des plantations récentes d'épicéas âgés de moins de 10 ans.

Le dépérissement des pins sylvestres se manifeste par une moindre durée de vie des aiguilles : 2 ans au lieu de 5 à 6 ans et une défoliation de la cime.

Sur les hêtres, on constate que les pousses terminales de la cime sont peu ramifiées, que la pousse des feuilles - peu nombreuses - est tardive et leur chute précoce - pour partie dès le mois de juin - alors que le feuillage est encore vert.

Le dépérissement épargne les arbres de plaine et de piémont, en revanche, il atteint particulièrement les arbres de crête et ceux situés à des altitudes comprises en 600 et 1000 mètres.

### b) Aspect quantitatif

Sur la base des observations concernant les arbres inclus dans les placettes qui seront évoquées ultérieurement au paragraphe 2., l'évolution du dépérissement de 1983 à 1984 est retracée dans le tableau qui suit. La base retenue est celle des effectifs d'arbres ayant perdu plus de 20 % de leurs feuilles.

**Evolution du dépérissement des principales espèces d'arbres de 1983 à 1984, exprimée par les variations des pourcentages d'arbres fortement atteints**

EPOQUE DES OBSERVATIONS	ESPECES D'ARBRES				
	Sapins %	Epicéas %	Pins %	Hêtres %	Chênes %
<b>ALSACE</b>					
Automne 1983	30,1	8,2	13,4	2,0	0
Automne 1984	38,5	10,5	16,7	4,8	0
<b>LORRAINE</b>					
Automne 1983	22,9	18,9	6,4	18,4	5,0
Automne 1984	22,0	23,7	8,5	15,2	5,5
<b>ENSEMBLE DES VOSGES</b>					
Automne 1983	26,0	13,1	9,7	7,4	2,6
Automne 1984	28,9	16,5	10,5	8,0	2,6
Augmentation relative par rapport au pourcentage de 1983	11,1	25,9	8,25	8,1	0

Il apparaît que dans le massif vosgien l'espèce la plus atteinte est le sapin ; viennent ensuite, par ordre décroissant de dépérissement les épicéas, les pins, les hêtres et les chênes. On relève que l'évolution la plus rapide affecte les épicéas et les pins alors que les feuillus - hêtres et chênes - résistent mieux. Dans les observations les plus récentes, on constate une stabilisation pour les épicéas et une régression pour le sapin, tandis qu'une aggravation est enregistrée pour les pins.

Si on se base sur un indice moyen de dépérissement de chaque placette dans les Vosges, 10 % des placettes d'épicéas, 16 % des placettes de sapins et 18 % des placettes de pins sylvestres avaient à l'automne 1984 un indice de dépérissement égal ou supérieur à 2 (sur la notation cf. infra paragraphe 2). Les zones les plus atteintes sont la région de Wissembourg, les cols du Donon et du Bonhomme, le Nord d'Aubure, les crêtes de Mortagne, le versant Ouest du Petit Ballon, le Grand Ballon et le Ballon d'Alsace.

En Franche Comté, les résultats sont les suivants : 19,5 % des résineux et 15 % des feuillus sont dépérissants (perte de plus de 20 % des feuilles). Des signes de dépérissement ont été notés dans les Ardennes, la région Rhône Alpes et le Massif central ; cependant le Morvan ne semble pas atteint.

L'évaluation des surfaces atteintes est incertaine. La superficie des sapinières plus ou moins dépérissantes serait de 25.000 à 30.000 hectares. Pour les épicéas, les superficies concernées seraient de 10.000 à 12.000 hectares.

Pour situer la France par rapport à ses voisins européens, on rappellera ici les estimations de superficies d'arbres dépérissants dans plusieurs pays étrangers.

En R.F.A., on estime que les surfaces des forêts dont les arbres ont perdu plus de 10 % de leurs feuilles a évolué comme suit : 560.000 ha en 1982, 2.540.000 ha en 1983, alors que la superficie totale des forêts est de 7.400.000 ha. Si l'on retient le critère des arbres ayant perdu plus de 50 % de leurs feuilles, les superficies atteintes ont évolué comme suit : 35.000 ha en 1982, 64.000 ha en 1983.

Si l'on retient comme critère la perte de plus de 11 % des feuilles, les superficies atteintes ont évolué comme suit en R.F.A. pour les différentes espèces :

**Superficies endommagées (les arbres ayant perdu plus de 11 % de leurs feuilles)**

	Sapins	Epicéas	Pins	Hêtres	Chênes	Autres Espèces	TOTAL
En millions d'hectares en :							
1983	0,135	1,195	0,641	0,326	0,090	0,161	2,540
1984	0,152	1,477	0,866	0,631	0,269	0,303	3,698
En % de la surface de forêt d'une même espèce d'arbre en :							
1983	75	41	44	26	15	17	34
1984	87	51	59	50	43	31	51

En Suisse où les forêts représentent 1.060.400 ha, en retenant le même critère que pour le tableau précédent, l'inventaire des dégâts aux forêts pour 1984 a donné les résultats suivants pour les arbres des placettes d'échantillonnage:

- sapins	:	14	%
- épicéas	:	44	%
- pins	:	4	%
- mélèzes	:	4	%
- autres résineux	:	2	%
- hêtres	:	23	%
- autres feuillus	:	2	%

Source: Office fédéral des forêts (Suisse)

Les superficies de forêts considérées comme gravement atteintes sont de 40.000 ha.

Par ailleurs, en Europe centrale, on évalue à 500.000 ha les superficies de forêts détériorées en Pologne ; en Autriche 200.000 à 300.000 ha seraient touchés par le même phénomène. Les dégâts sont également importants en Tchécoslovaquie.

Toutes les observations et les travaux des spécialistes forestiers confirment ce phénomène de dépérissement des forêts. Cependant la mesure de l'ampleur du phénomène dépend des méthodes d'évaluation mises en oeuvre.

## 2. Des réserves sur les méthodes d'évaluation

Pour observer et évaluer les dépérissements dans les Vosges, on a installé des placettes d'observation situées sur des transects orientés Est-Ouest, distants les uns des autres de 16 km. Sur chaque transect, les placettes sont délimitées à partir de points localisés tous les kilomètres (désignés par leurs coordonnées Lambert II). Autour de chacun de ces points on a repéré 24 arbres qui sont numérotés. Au moment de la mise en place du programme DEFORPA deux observations annuelles ont été effectuées. Actuellement, les agents des forêts passent une fois par an pour consigner les observations relatives à chaque placette.

En 1985, 242 placettes étaient délimitées et observées dans le massif forestier vosgien, 31 dans le Jura. Il est prévu d'étendre ce réseau d'observation dit "réseau bleu" au plateau lorrain, à l'Ardenne primaire, à l'Argonne, au Massif central (Morvan, Mont Pilat, Aigoual) et aux Pyrénées (région de Luchon). L'effectif des placettes sera ainsi porté à 600. La plupart des placettes sont implantées sur les forêts gérées par l'O.N.F. mais le réseau a été étendu aux forêts privées par l'intermédiaire des centres régionaux de la propriété forestière qui gèrent environ 50 placettes. Ce système est complété par un "réseau rouge" constitué de placettes situées hors transects et composées d'arbres fortement dépérissants.

La méthode d'observation retenue conduit nécessairement à déduire la notation des placettes de la notation individuelle des arbres composant chaque placette. On calcule pour chaque placette un indice de dépérissement qui est la moyenne pondérée des notes attribuées aux arbres de la placette.

Le tableau ci-après récapitule les grilles de notations retenues pour décrire le dépérissement des arbres.

### Notation des divers degrés de dépérissement des arbres

#### NOTATION DES DEGATS

France	1	2	3	4	5
R.F.A.	0	1	2	3	4

#### AIGUILLES OU FEUILLES PERDUES (%)

France	0 à 9	10 à 19	20 à 59	60 à 99	100
R.F.A. et Suisse	0 à 10	11 à 25	26 à 60	61 et +	100

APPRECIATION DU DEGRE DE GRAVITE DU DEPERISSEMENT DE L'ARBRE	sans indice de dégâts	légèrement atteint	moyennement atteint	gravement atteint	mort
--	--------------------------	-----------------------	------------------------	----------------------	------

Pour chaque arbre on établit une fiche indiquant la note correspondant au pourcentage de feuilles perdues, la couleur et la taille des feuilles, l'état du tronc, la présence éventuelle de parasites. On constate une lacune regrettable : l'âge des arbres n'est pas enregistré.

On évalue le pourcentage d'arbres présentant des anomalies. L'appréciation du dépérissement résulte de la comparaison des observations recueillies périodiquement.

La complexité du passage de la notation individuelle des arbres à la classification des placettes combinée avec la méthode de sélection des sites conduit à s'interroger sur la fiabilité des résultats agrégés à l'échelle des massifs forestiers voire de l'ensemble du territoire.

En raison du caractère international du phénomène, il convient de rappeler les méthodes d'observation mises en oeuvre par nos voisins européens.

Le réseau mis en place en R.F.A. en 1984 est composé d'un treillis de 4 km x 4 ; à chaque point d'intersection, on apprécie le degré de dépérissement d'un certain nombre d'arbres.

En Suisse, le système allemand a été retenu pour la notation des arbres. On observe les arbres sur des groupes de 8 placettes d'une surface unitaire de 500 m<sup>2</sup>, situées tous les 100 mètres sur le pourtour d'un rectangle de 200 m x 400 m.

En Belgique, on dénombre 10 stations d'observation installées en 1983 et 1984. Chaque station comporte trois parcelles de 5 à 20 ares de nature différente : en clairière, sous couvert forestier (arbres de moins de 40 ans), sous pessière (épicéas de 60 à 80 ans).

Au Luxembourg, 1900 arbres sont soumis à observation, suivant le système de notation allemand.

Si les méthodes ne diffèrent pas fondamentalement d'un pays à l'autre, les comparaisons internationales sont cependant malaisées. Ainsi, par exemple, entre la France et la R.F.A. les différences vont au-delà du pourcentage d'aiguilles perdues. Les services forestiers de R.F.A. considèrent qu'un arbre de 25 à 30 mètres de haut - apparemment non dépérissant - doit être recensé en classe 3 si sa cime n'a que 4 mètres de long alors qu'elle devrait normalement mesurer 10 mètres. Le même arbre en France est recensé en classe 1.

Pour compléter les observations faites au sol et tenter de mieux appréhender l'état des massifs forestiers, des campagnes de photographies aériennes ont été menées selon le procédé infrarouge fausse couleur. Ces travaux ont notamment pour but d'établir un lien entre observation au sol et observation aérienne, afin de permettre à l'avenir un meilleur suivi de l'évolution du dépérissement. Deux campagnes ont été ainsi réalisées au cours de l'été 1984 et une pendant l'été 1985 pour le Luxembourg, la France et la R.F.A. Cette méthode d'observation est également utilisée en Suisse.

On envisage également d'exploiter les images transmises par le satellite Landsat 5 - et ultérieurement par le satellite Spot - pour assurer une surveillance de l'ensemble des forêts d'Europe.

Le recours à ces techniques exige du personnel suffisamment nombreux et qualifié pour procéder à l'interprétation des clichés.



"Les dégâts sont considérables dans les Monts Métallifères (versant Nord), probablement plusieurs dizaines de milliers d'hectares de forêts totalement détruites, mais en l'absence de tout renseignement chiffré concernant aussi bien l'étendue des dégâts que les émissions industrielles, il faut se contenter d'approximations. Quoi qu'il en soit, si les dégâts sont proportionnels au nombre de cheminées observées - environ 400 cheminées ont été repérées directement à partir de l'autoroute sur le trajet Eisenach - Erfurt - Weimar - Iena - Zwickau - Karl Marx Stadt - Dresde, donc sur un parcours de 300 km - la forêt doit être en piteux état, surtout quand on sait que les centrales thermiques de la région, la sidérurgie, la métallurgie lourde et la carbochimie utilisent un lignite local contenant plus de 8 % de soufre".

Pour la Tchécoslovaquie ces constatations sont identiques :

"L'origine de cette catastrophe écologique est à chercher dans la plaine qui s'étend au pied des Monts Métallifères et des Monts des Géants et qui abrite le plus puissant complexe industriel de Tchécoslovaquie (la Ruhr tchèque), établi sur le bassin minier de Bohême septentrionale (districts de Sokolov, Chomutov, Most et Teplice). Plutôt qu'un long discours, laissons parler les chiffres :

". teneur en soufre du lignite (extrait à ciel ouvert) : entre 8 et 12 %, cette teneur augmentant au fur et à mesure que les gisements sont exploités plus en profondeur,

". chaque année le complexe industriel émet de 2 à 2,5 millions de tonnes de SO<sub>2</sub>,

". la seule centrale thermique de Sokolov rejète entre 600 et 800.000 tonnes de SO<sub>2</sub>/an.

"Dans le cas présent, il est important de noter que la mort de la forêt est liée à une pollution locale ou régionale, et en aucun cas, à un transfert de pollution à grande distance (pollution atmosphérique transfrontalière), de même qu'il est difficile de parler dans ce cas de pluies acides au sens strict du terme."

Comptabiliser ces surfaces de forêts dévastées par la pollution de proximité avec les dégâts qui résulteraient de la pollution à longue distance est donc une inexactitude pour ne pas dire plus !

Si l'on examine les cartes des retombées soufrées établies par l'EMEP, malgré toutes les réserves que l'on peut faire sur ce genre de modèles, on constate que les retombées les plus importantes sont bien localisées dans les régions fortement émettrices ; dans de telles régions comment faire le départ entre les atteintes aux forêts qui résultent de la pollution de proximité de celles qui seraient causées par des polluants venus d'ailleurs ?

Comme le fait remarquer le rapport précité de l'Office of Technology Assessment des Etats-Unis, les premières questions que l'on doit se poser dans une étude sur les pluies acides sont :

- d'où viennent-elles ?
- viennent-elles de sources locales ou lointaines ?
- est-il possible de déterminer l'origine des polluants qui se déposent à un endroit donné ?

Le Département fédéral de l'Intérieur suisse dans son excellent rapport publié en 1984\* a eu la très grande honnêteté de rappeler certaines données qui n'étaient pas évidentes dans un pays qui pourrait se considérer comme victime de la pollution importée :

"Les mesures et les calculs de modèles relatifs au transport à grande distance des composés soufrés en Europe montrent qu'en Suisse une grande partie de ceux qui sont contenus dans les précipitations provient de l'étranger. On en a souvent déduit à tort qu'il en allait de même pour la pollution de l'air en général.

"Dans la plupart des régions et notamment dans celles qui sont fortement polluées, la pollution de l'air d'origine indigène prédomine de loin pour l'anhydride sulfureux et les oxydes d'azote. A la campagne, elle représente de 60 à 80 % et dans le centre des villes de 90 à 95 %.

"Si notre pollution atmosphérique était en grande partie importée de l'étranger, on devrait mesurer partout en Suisse des immissions de SO<sub>2</sub> et NO<sub>2</sub> à peu près égales. Or tel n'est visiblement pas le cas."

Le tableau ci-joint complétait ce texte :

Région	Soufre (S)				Azote (N)			
	sec	Dépôt humide	Total	Part indigène	sec	Dépôt humide	Total	Part indigène
Haute montagne	0.5	1	1.5	20 %	0.1	0.2	0.3	15 %
Campagnes	2	2	4	50 %	1	0.5	1.5	70 %
Agglomérations et abords des villes	6	3	9	70 %	2	1	3	80 %
Centre des villes	10	3	13	80 %	3	1	4	85 %

Dépôt total (sec et humide) de composés soufrés et azotés en g par m<sup>2</sup> et par an dans diverses régions de Suisse avec la part d'origine indigène en %.

La question de savoir ce qui dans les défaillances des écosystèmes forestiers est à imputer aux polluants locaux qui agissent à distance relativement faible de leur source n'est pas aussi évidente qu'on pourrait le croire à la lecture de certaines publications. La partie de l'Europe où l'on constate les cas les plus significatifs est relativement peu étendue et très peuplée, ce qui rend la distinction entre les deux formes de pollution particulièrement délicate. Il n'est pas question de nier l'existence d'une pollution atmosphérique à longue distance mais on ne doit pas oublier qu'en Europe, les forêts ne sont jamais très loin des habitations, des usines, et des routes.

\* Déperissement des forêts et pollution de l'air. Berne, septembre 1984.

1°2 Phénomène limité ou dépérissement généralisé des forêts des pays industrialisés ?

Pour expliquer le caractère nouveau et spécifique du phénomène de dépérissement des forêts une grande partie des auteurs insistent sur le fait que ce dépérissement serait apparu simultanément en Europe du Nord, en Scandinavie et en Amérique du Nord. La similitude des symptômes permettrait donc de supposer que les mêmes causes interviennent dans les trois cas et prédominent sur les différences climatiques, géologiques et culturelles qui peuvent exister entre des forêts aussi éloignées et aussi différentes.

Une lecture attentive des descriptions de ces différentes forêts telles qu'elles sont présentées dans les multiples rapports que l'on a pu se procurer conclut cependant à se demander s'il y a des différences de degré dans l'évolution d'un même phénomène ou s'il on est en présence de phénomènes distincts.

Il est intéressant de noter tout d'abord que les effets de la pollution à longue distance sur la forêt ne tiennent qu'une part minime dans les rapports américains qui consacrent par contre de très longs développements aux atteintes aux écosystèmes aquatiques, aux pertes de rendement des récoltes et aux effets éventuels sur la santé humaine.

Cet extrait des conclusions du rapport de l'OTA\* sur les pluies acides montre bien l'importance toute relative donnée au problème des forêts : "En plus de l'acidification des écosystèmes aquatiques la pollution à longue distance a eu aussi des conséquences néfastes sur les écosystèmes terrestres. Les grandes forêts exposées à de fortes concentrations de retombées acides, d'ozone ou des deux en même temps ont été marquées par un ralentissement de productivité et par la mort d'arbres bien que la part de ces phénomènes due à la pollution atmosphérique soit incertaine... sur certains points tel que l'étendue des dommages aux forêts résultant des pluies acides les incertitudes sont telles qu'il est difficile de décrire le schéma et l'étendue du risque."

Dans un recueil d'articles préparé par le Congressional Research Service pour la Sous-Commission de la Santé et de l'Environnement du Congrès\*\* deux articles seulement sur cinquante-huit traitent des effets sur les forêts en se référant d'ailleurs principalement à ce qui se passe en R.F.A.

Le rapport au Congrès du Contrôleur général (G.A.O.)\*\* est encore plus explicite : "Premièrement les symptômes bien qu'en partie identiques, ne sont pas tous les mêmes en Europe et en Amérique du Nord si bien qu'il n'est pas démontré que le déclin de certaines forêts en Europe ou en Amérique constituent bien un même phénomène. Pour cette raison, le développement de ce problème aux Etats-Unis ne suivra peut-être pas celui de l'Allemagne... en conclusion, il n'existe pas de preuve déterminante pour affirmer que les pluies acides causent des dommages aux forêts de l'Amérique du Nord."

Au Canada le Sous-Comité sur les pluies acides du Comité permanent des pêches et des forêts de la Chambre des Communes ne fait allusion au problème forestier que sous cette forme : "Le Sous-comité sait également que l'ozone présente une menace pour les forêts notamment en Allemagne de l'Ouest où les arbres ont subi des dommages massifs au cours des dernières décennies."

\* Acid rain and transported air pollutants. Office of Technology Assessment 1984.

\*\* An analysis of issues concerning "acid rain", report to the Congress. General accounting office. Décembre 1984.

Enfin, dans une des meilleures synthèses faite aux Etats-Unis sur les effets éventuels de la pollution atmosphérique sur les forêts, S.B. Mac Laughlin\* après une longue description des symptômes constatés dans les forêts allemandes remarque que : "aux Etats-Unis les symptômes de dépérissement de la forêt ne sont ni aussi divers ni aussi développés que ceux de la forêt Ouest-Allemande."

La plupart des très nombreuses études sur le sujet font état de cas inexplicables de ralentissement de croissance de certaines forêts et même de la mort d'épicéas rouges dans une partie bien précise du Nord-Est des Etats-Unis mais pour le moment les auteurs de ces études se réfèrent surtout à l'exemple allemand en craignant que les symptômes constatés dans les forêts américaines conduisent dans quelques années à un dépérissement similaire.

Certains auteurs comme Paul D. Manion\*\*, spécialiste de la pathologie des forêts à l'Université de l'Etat de New York dénonce même les tentatives d'assimilation entre ce qui se passe dans les forêts allemandes et les symptômes constatés aux Etats-Unis et regrette le manque d'esprit critique qui fait accepter à certains scientifiques américains l'hypothèse de l'implication de la pollution atmosphérique à longue distance sans fournir de preuves véritables.

En ce qui concerne la Scandinavie le problème est identique. De nombreux auteurs français, allemands ou suisses semblent admettre comme une évidence que les forêts scandinaves connaissent aussi un processus de dépérissement dû à la pollution atmosphérique à longue distance. Si l'on se réfère aux documents officiels suédois\*\*\* on constate au contraire qu'il y est clairement affirmé : "qu'il n'y a pour le moment aucun indice évident et aucune preuve ni de l'augmentation ni de la réduction de la production forestière qui résulterait des précipitations acides sur la forêt scandinave."

Les mesures effectuées avant 1985 sur la croissance annuelle des arbres en Suède avaient pu laisser croire qu'elle se ralentissait dans les zones les plus exposées aux précipitations acides. Les derniers relevés montrent au contraire que les dépôts azotés pourraient avoir eu un effet fertilisateur, les sols de l'Europe du Nord réagissant favorablement à ces dépôts. Les experts estiment cependant qu'en cas de poursuite de l'augmentation des dépôts azotés la forêt pourrait cesser de réagir favorablement, en particulier en raison de carence en métaux lourds.

Les conclusions d'un rapport norvégien\*\*\*\* sont identiques à celles des Suédois : "le dépérissement des forêts résultant des précipitations acides n'a pas encore été démontré."

Malgré les quantités relativement importantes de polluants qui se déposent sur le Sud de la Scandinavie, les problèmes qui s'y posent sont avant tout des problèmes d'atteintes aux écosystèmes aquatiques et non des problèmes de dépérissement des forêts.

---

\* S.B. Mc Laughlin. Effects of air pollution on forest. A critical Review. Journal of the air pollution control association. Mai 1985.  
1985.

\*\* Paul D. Manion, Journal of the air pollution control association. September 1985.

\*\*\* Acidification today and tomorrow. Ministère suédois de l'Agriculture et de l'Environnement. 1982.

\*\*\*\* Research report. SNSF project. Oslo.

Avant d'aborder les hypothèses qui tentent d'expliquer les phénomènes que l'on constate dans une partie bien délimitée de l'Europe (Sud de la R.F.A., Suisse, Est de la France) il fallait rappeler que l'existence de phénomènes d'une nature identique dans le reste du monde industrialisé est, si l'on en croit les rapports officiels, encore loin d'être démontrée. Comme la généralisation géographique des symptômes observés est régulièrement mise en avant pour démontrer la corrélation entre la pollution atmosphérique et le dépérissement des forêts il convenait donc de préciser que l'assimilation totale entre ce qui est constaté en Amérique du Nord ou en Scandinavie avec le "Waldschäden" procédait certainement d'affirmations quelque peu hâtives.

## 2. Les hypothèses sur les causes du dépérissement des forêts

Aujourd'hui le processus biologique du dépérissement des forêts n'a pas encore été élucidé, il n'y a que des présomptions. Il est probable qu'on est confronté à un enchaînement complexe de causalités dans lequel la pollution atmosphérique joue probablement un rôle important mais non exclusif.

### 2.1. Une tentative d'explication du dépérissement par la pollution atmosphérique à longue distance

#### a) Rappel du mode de fonctionnement normal des cellules et des organismes végétaux

Le métabolisme cellulaire est fondé sur un ensemble complexe de nombreuses séquences de réactions biochimiques spécialisées. Schématiquement, les fonctions vitales de la cellule végétale sont assurées par les réactions suivantes :

- le mécanisme de la photosynthèse permet aux végétaux, grâce à l'énergie lumineuse, de produire des molécules de sucre à partir du dioxyde de carbone de l'air. La transformation des substances contenues dans le sol produit l'azote et le soufre. Les substances présentes aux interfaces de la plante avec l'air et le sol influent donc nécessairement sur la biochimie du végétal ;

- dans la cellule végétale, par une série de réactions, les molécules de sucre sont transformées en molécules porteuses d'énergie ;

- ces dernières molécules subissent des réactions biochimiques spécialisées pour aboutir à la synthèse successive de divers types de molécules parmi lesquelles certaines sont les éléments des protéines et des acides nucléiques dont la structure détermine l'information génétique ;

- toutes les séquences de la photosynthèse sont reliées entre elles, le métabolisme cellulaire constitue en fait un réseau très ramifié et fortement interconnecté ;

- de plus, la cellule n'est pas un volume simple, elle est compartimentée en structures qui augmentent l'efficacité des diverses fonctions (par exemple, les chloroplastes pour la photosynthèse). Les transferts de molécules d'un compartiment à un autre sont assurés par des systèmes de "pompes".

On comprendra que si des polluants primaires ou secondaires affectent des enzymes ou des pompes transmembranaires - ceci a été démontré - la perturbation ne se limite pas à une seule réaction biochimique mais provoque un dérèglement de l'ensemble du réseau biochimique, donc du fonctionnement de la cellule et en définitive des tissus.

Le réseau métabolique cellulaire a la faculté de fonctionner selon des modalités différentes pour répondre aux nécessités physiologiques de l'organisme. Ceci se traduit par des "programmes de fonctionnement", bien définis à un moment donné (par exemple, selon l'heure du jour ou de la nuit, et selon la saison) pour un organe donné (par exemple, feuille, racine), voire pour les cellules de tissus spécialisés de cet organe.

b) Les modalités d'action des polluants sur le métabolisme cellulaire et les structures des végétaux

Lorsqu'un végétal est exposé à une pollution, on considère que ses réactions sont les suivantes :

- une première réponse rapide à l'entrée du polluant et de ses premiers produits de transformation dans le réseau métabolique consiste en un réajustement du programme en cours dans les tissus atteints ; ce réajustement, sorte de "réparation d'urgence", est effectué par la machinerie enzymatique déjà présente dans la cellule ;

- en cas de pollution durable, ou trop intense, un nouveau programme métabolique, mieux adapté, entre en fonctionnement pour répondre à l'agression ; ce délai d'adaptation peut être de plusieurs jours et impliquer la synthèse d'autres enzymes.

Deux situations sont alors possibles : soit le nouveau programme est suffisamment efficace et dans ce cas la plante continuera à vivre sans symptômes visibles de dépérissement ; soit le programme initialement efficace ne parvient plus à compenser les effets cumulatifs de la pollution et la désorganisation du métabolisme entraîne progressivement l'apparition de symptômes visibles (jaunissement, chute des feuilles, dépérissement de la plante).

Il faut souligner qu'un programme efficace peut avoir un "coût énergétique" trop élevé pour être maintenu à long terme. Il s'ensuit que des signes de dépérissement peuvent apparaître ultérieurement même si la pollution reste stable, voire diminuée.

Un autre phénomène important doit être relevé ici : la mise en service d'un "programme cellulaire nouveau" implique la synthèse d'enzymes susceptibles de modifier le fonctionnement des gènes. Il en résulte qu'une pollution permanente, même faible, peut modifier la structure génétique des espèces végétales.

2.2. Les hypothèses relatives au rôle des polluants acides

Les hypothèses de travail actuelles sur le mode d'action des polluants atmosphériques - hypothèses qui déterminent les approches conceptuelles et expérimentales utilisées - considèrent à la fois les modalités biologiques (contact direct avec la partie aérienne de la plante, ou contact indirect via le sol) et les modalités physiques (dépôts secs, dépôts humides) de cette action.

a) L'action des polluants sur les feuilles

Au niveau de la feuille, les polluants sont en contact avec la cuticule foliaire et les stomates. La cuticule cireuse constitue sur la feuille un revêtement protecteur hydrophobe. En revanche, les stomates sont des sortes de pores rétractiles qui permettent les échanges de gaz et de vapeur d'eau entre les tissus foliaires et l'atmosphère.

Par cette voie, les polluants peuvent pénétrer dans les tissus et agir sur le métabolisme cellulaire qui normalement contrôle l'ouverture des stomates.

On considère que les polluants détériorent la cuticule en lessivant les ions de la surface des feuilles, en particulier les ions potassium et magnésium. A l'appui de cette hypothèse on observe que le pH des eaux de ruissellement est inférieur à celui de l'eau de pluie. Ce lessivage provoquerait un flux continu d'ions des couches cellulaires internes vers la périphérie ; ces ions étant indispensables au fonctionnement correct des enzymes et des pompes transmembranaires évoquées précédemment, il s'ensuit une détérioration progressive du métabolisme.

Les polluants acides auraient un autre effet : en détruisant les cires des cuticules ils provoquent une porosité de ces dernières à la vapeur d'eau interne ; en outre, le dioxyde de soufre paralyserait le mécanisme de fermeture des stomates. La conjugaison de ces deux phénomènes favoriserait une déshydratation excessive qui rend les végétaux plus vulnérables à la sécheresse.

#### b) L'action des polluants par les sols

L'acidification des sols provoquerait des déficits en certaines substances - calcium, magnésium - et favoriserait l'absorption par les racines d'éléments toxiques - aluminium - solubilisés dans l'eau. Sur les arbres dépérissants on constate que les extrémités de nombreuses racines sont mortes, ce qui entraîne une diminution de l'absorption des substances nutritives. Les polluants perturbent la symbiose existant entre les racines et la mycorhize (champignon à longs filaments). Sur un arbre sain, les racines apportent aux champignons les sucres qui leur sont nécessaires et les champignons fournissent à l'arbre d'autres éléments nutritifs qu'ils puisent dans le sol. Les polluants déséquilibrent ce cycle d'échange, provoquant une disparition des champignons et la mort des extrémités des racines.

Cependant, à l'encontre de cette hypothèse on observe que des arbres apparemment sains poussent sur des sols acides alors qu'il existe des arbres dépérissants vivant sur des sols calcaires ; d'autre part, en Bavière et en Forêt noire, il existe de très belles forêts sur des sols riches en aluminium.

Les observations et les expérimentations menées pour mettre en évidence l'action des polluants par les sols ont été effectuées dans des conditions très diverses, on ne peut donc en tirer des conclusions définitives ; cependant il semble avéré qu'une certaine acidification du sol et un déséquilibre calcium/aluminium ne constituent pas des causes primaires et généralisables du dépérissement des arbres.

### 2.3. Les hypothèses relatives au rôle des photooxydants et de l'ozone

On considère que les photooxydants ont un effet toxique sur les végétaux après une exposition courte à des concentrations dépassant  $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'air. Les oxydes d'azote et les hydrocarbures gazeux, sous l'effet du rayonnement ultra-violet, se transforment en ozone et en d'autres photooxydants, en particulier le PAN (peroxy-acétyl-nitrate). Ces produits provoqueraient une dissolution des lipides contenus dans la cuticule foliaire ainsi que dans les membranes des cellules. Les détériorations subies par les stomates perturberaient la photosynthèse et donc le régime hydrique et le transport des éléments nutritifs, la croissance de l'arbre est ralentie, simultanément la porosité de la cuticule favorise l'appauvrissement en calcium et en magnésium par lessivage des feuilles. L'ozone provoque l'apparition de taches sur les feuilles, puis leur jaunissement et une décoloration de celles-ci sur la face supérieure.

Les effets de l'ozone ont été étudiés dans de nombreux laboratoires, en particulier en Suisse où l'on poursuit les expérimentations. On peut tirer les conclusions suivantes :

- Des concentrations excessives, dépassant les seuils de toxicité, et les durées d'exposition considérées comme néfastes pour les plantes, se mesurent en différents endroits : à la périphérie de Zurich notamment (Bucher, 1982 ; Bleuler & Bucher, 1985). Les relevés de l'été 1985, effectués par le service d'hygiène de l'air de la ville de Zurich, dans l'agglomération et la banlieue de cette ville, montrent que les seuils de tolérance à l'ozone ( $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$  d'air) étaient dépassés à tous les points de mesure, alors que pour le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote ce n'était le cas qu'en seulement quelques points. Il est certain que l'ozone représente aujourd'hui au niveau des immissions un des plus grands problèmes dans les agglomérations.

- Des essais de gazage combiné d'ozone avec le dioxyde de soufre et le dioxyde d'azote, en concentrations proches de celles que l'on trouve dans l'air ambiant des localités, produisent des dégâts aux végétaux (Mooi, 1984). Il y a des synergies lors de telles combinaisons gazeuses, et les effets négatifs sont plus marqués en cas de présence d'ozone. Des essais avec des combinaisons gazeuses simulant un air d'agglomération conduisent à des dégâts symptomatiquement assimilables à l'effet de l'ozone sur des plantes sensibles (pois)(Musselmann, 1983).

Bucher, un spécialiste des dégâts de pollutions, attribue à l'ozone un rôle prépondérant sur les dégâts de dépérissement constatés en Suisse. Cette opinion est partagée par de nombreux autres scientifiques, et pour d'autres pays (Prinz, 1983 ; Gassmann & Gensler, 1985 ; Heck et alii, 1982).

- Cependant, a contrario, les symptômes classiques et typiques de dégâts d'ozone (décolorations ponctuées des aiguilles à la face supérieure) observés en laboratoire ne se rencontrent que rarement sur des arbres dans la nature.

- Des essais de gazage à l'ozone seul, effectués sur des jeunes plants de hêtre et d'épicéa, pendant l'été 1985, à la station de recherches forestières de Birmensdorf près de Zurich, ne produisent des symptômes manifestes, qu'à des concentrations nettement plus élevées que celles citées comme limite et qu'après de nombreuses semaines (Bucher).

L'on ne peut donc pas accorder à l'ozone seul le rôle décisif sur le dépérissement, mais cela n'exclut pas pour autant, bien au contraire, qu'il agisse en combinaison d'autres polluants, en particulier le dioxyde de soufre et déclenche des synergies fatales pour les végétaux.

En outre, pour certains scientifiques, les oxydes d'azote seraient la cause d'un excès d'apports azotés qui entraînerait une modification du métabolisme des végétaux. Cette théorie est émise notamment aux Pays-Bas où l'on enregistre de fortes teneurs en ammoniac aux interfaces agriculture-forêt. Cette théorie ne semble pas valable pour la France, en particulier pour les Vosges, où la nutrition azotée est normale.



## **2.4. Les autres causes possibles**

### **a) Les accidents climatiques**

Une explication du dépérissement des forêts a été recherchée dans les accidents climatiques. Ainsi dans le cadre du programme DEFORPA il est prévu d'analyser la sécheresse de 1972 et d'affiner l'étude de la sécheresse de 1976. On rappelle que les années sèches ont été nombreuses pendant les vingt dernières années.

L'analyse statistique de la distribution et de l'intensité des dégâts de dépérissement, en fonction de la profondeur des sols et de leurs réserves en eau utile, disponible pour les arbres, en Bade-Wurtemberg (Schöpfer & Hradetzky, 1984) ne montre pas de différences de dégâts selon l'humidité des sols, ce qui interdit d'attribuer un rôle déterminant à la sécheresse ou à la chaleur de l'été 1983. Au contraire, en Bade-Wurtemberg il semble que des dégâts sont plus prononcés sur les sols profonds que sur les sols superficiels. Par ailleurs, le fait qu'il y ait eu en 1984 et 1985 une certaine progression des dégâts, notamment chez les arbres feuillus, en des années plutôt favorables à la végétation, diminue encore le crédit des thèses climatiques. Roloff (1985) a montré, à l'appui de la déformation de la ramification secondaire du hêtre, que les symptômes observés aujourd'hui se distinguent très nettement de ceux que l'on a attribué dans le passé à l'effet d'années sèches.

Certains scientifiques attribuent aux épisodes de gel un rôle important dans le dépérissement des forêts. Ainsi, en présentant l'inventaire des dégâts aux forêts pour 1985, le Ministre de l'Agriculture de Bavière indiquait que les experts attribuaient au gel de l'hiver dernier un rôle important dans les dégâts constatés. Cependant, la comparaison des différences climatiques existant entre les pays atteints par le dépérissement des forêts ne corrobore pas cette hypothèse.

Cependant, si les accidents climatiques ne sont pas une cause primaire, ils peuvent contribuer au développement du phénomène et démultiplier les effets de perturbations latentes. Ainsi, Keller (1981) a démontré à la suite d'essais de gazage au dioxyde de soufre qu'une pollution favorisait sur de jeunes plants les dégâts consécutifs au gel, car le processus de lignification (durcissement) des tissus de soutien du bois était perturbé. Cela permet d'envisager un rôle non négligeable des gels hivernaux dans le déroulement du dépérissement, et permettrait d'expliquer certains dégâts dans les zones de montagne où les pollutions sont plutôt faibles.

### **b) Les causes sylvicoles**

Certains imputent le dépérissement des forêts à des erreurs dans la gestion des forêts : monoculture, choix d'essences inadaptées au terrain ou mise en oeuvre de techniques de gestion inadéquates (coupes rases ou éclaircies insuffisantes). Une étude réalisée en Bade-Wurtemberg a mis en évidence qu'il n'y a pas de différences entre l'état des forêts bien constituées et bien conduites et celui des forêts délaissées, ni entre les peuplements artificiels et ceux proches des forêts naturelles. A l'encontre de la thèse de la monoculture, on relève que les forêts constituées de plusieurs essences sont statistiquement plus détériorées que les monocultures. Dans les Vosges, on observe que les espaces repeuplés en pins douglas - essence importée d'Amérique du Nord - sont également atteints par le dépérissement, alors qu'on ne peut dans ce cas invoquer un prétendu épuisement des sols qui résulterait de la culture d'une même essence d'arbre pendant une période trop longue.

La corrélation entre la méthode de gestion de la forêt et le dépérissement n'est pas établie. Certains travaux indiquent que les arbres à couronnes bien développées sont en meilleur état que ceux des forêts très denses, alors qu'ailleurs on observe des dégâts plus importants dans les forêts bien gérées que dans celles qui ont été peu éclaircies. Dans le même sens on constate que la forêt jardinée, constituée de peuplements étagés (régénération progressive de la forêt sans coupe rase) - apparemment la plus proche de la forêt naturelle - semble la plus atteinte par le dépérissement.

En définitive, les causes sylvicoles peuvent probablement fournir quelques explications ponctuelles ou locales de tel ou tel dépérissement sans constituer jamais une cause primaire permettant d'élucider le phénomène actuel.

### c) Les maladies épidémiques

L'hypothèse de maladies épidémiques a été émise à plusieurs reprises ces dernières années par des scientifiques - allemands pour la plupart - qui ont contesté que la pollution soit la cause primaire du dépérissement des forêts. Cette hypothèse, généralement considérée comme peu crédible en France a été à l'origine d'une polémique importante dans la presse en R.F.A. pendant l'été 1985 ; la presse française s'est fait l'écho de ces controverses.

Les principaux scientifiques qui travaillent sur ce thème actuellement sont le Professeur Burckhard Frenzel (Université de Stuttgart) le Professeur Otto Kandler (Université de Munich), le Professeur Nienhaus (Université de Bonn) et le Professeur Voss (Ecole supérieure technique fédérale de Zurich).

En menant des recherches de caractère historique, le Professeur Kandler a trouvé des précédents de maladies épidémiques des forêts dans le passé (cf. introduction du § II supra). Le Professeur Frenzel effectue des observations sur le terrain et des analyses anatomiques d'arbres. L'analyse des prélèvements de sève a révélé la présence de virus en forme de bâtonnets sur des échantillons provenant d'épicéas, de pins et de sapins situés dans le Nord de la Forêt Noire et en Bade-Wurtemberg. La présence de virus est constante pour des échantillons issus d'arbres présentant des symptômes de maladie. En revanche, aucun virus n'est observé dans les prélèvements de sève d'arbres ayant un aspect sain. Tel a été le cas pour les échantillons recueillis par des collaborateurs du Professeur Frenzel dans le Massif central (en février 1985) sur des sapins comportant des cimes pointues et bien pourvues en aiguilles.

Ces résultats corroborent ceux obtenus dans les années 60 en Tchécoslovaquie, par Cech, Jancarik et Blattny, et en Grande-Bretagne, par Biddle et Tinsley. Schemlzer aboutissait, en 1966, aux mêmes conclusions pour des épicéas et des sapins malades en Hongrie et en R.D.A. Les travaux du Professeur Nienhaus dans les Fichtelgebirge (Allemagne centrale, R.F.A.) aboutissent aux mêmes résultats.

Le Professeur Frenzel réfute l'objection formulée par les scientifiques qui soutiennent que les expériences précitées ne sont pas probantes en raison de l'échec des tentatives de greffage effectuées sur des arbres sains. Les conclusions du Professeur Frenzel sont fondées sur un nombre important d'observations.

Pour sa part, le Professeur Kandler estime que l'épidémie actuelle est provoquée par des virus ou des bactéries - mycoplasmes ou rickettsies - qui n'ont été découverts qu'au cours des quinze dernières années. Ces agents pathogènes sont à l'origine de nombreuses maladies des arbres, sans distinction d'essence ni de biotope ; ils seraient la cause du dépérissement du poirier, du nanisme du mûrier, d'une forme d'affliction du mélèze.

"Comme certains virus, ces organismes peuvent exister également à l'état latent dans les arbres et devenir de nouveau pathogènes dans des conditions appropriées que nous ne connaissons pas exactement (climat, alimentation, etc.). Ceci aboutit à des phénomènes épidémiques, comme ceux que l'on connaît depuis longtemps sous l'appellation de "maladies de dégradation" dans le cas de tous les végétaux utiles de longévité supérieure ou développés au plan végétatif tels que les pieds de vigne, les bosquets à fruits, les pomme de terre, etc."

Le mode de transmission du virus n'est pas clairement établi. Selon des travaux menés antérieurement (vers 1960) en Grande-Bretagne et en Tchécoslovaquie, le vecteur des virus en forme de bâtonnets serait le pou du sapin dont la prolifération aurait été favorisée par l'emploi des pesticides et l'accroissement de la pollution atmosphérique. Par ailleurs, les Professeurs Nienhaus et Voss ont observé la présence simultanée de virus dans les racines et les feuilles des conifères et de nématodes dans le sol, ces derniers parasites pouvant être des vecteurs de népovirus polyédriques. D'autre part, il semble que l'armillaire pourrait transmettre des virus aux épicéas.

Sans être démontrée de façon certaine et indiscutable l'hypothèse de maladies épidémiques doit retenir l'attention. Comme le souligne le Professeur Frenzel, l'exploitation des documents historiques fournit des renseignements permettant une comparaison entre le phénomène actuel et les observations antérieures, en particulier pour le cas de la maladie du sapin en Saxe entre 1900 et 1910.

"A cette époque, des recherches approfondies avaient été entreprises par Neger pour le compte du Ministère des Finances du Royaume de Saxe. Etant donné que les symptômes décelables visuellement étaient les mêmes que ceux d'aujourd'hui, il doit être possible aussi, à l'inverse, de conclure à la propagation de cette maladie à l'époque en partant de figures datant de la même époque. D'après von Golitschek (1978), tous les châteaux de Silésie ont été photographiés entre 1900 et 1914. Sur beaucoup de photographies de parcs des châteaux, on aperçoit des épicéas, des pins et des sapins. Cette constatation se recoupe avec les informations fournies par Mayer (1979), qui reposent sur des chroniques et autres notes. Si l'on réunit toutes ces conclusions, on obtient l'échantillon de la propagation de la maladie du sapin de 1900 à 1910, par comparaison avec la situation des principales régions où les sapins et les épicéas sont atteints aujourd'hui par la maladie."

En comparant ces données, "on a l'impression qu'il y aurait eu des foyers de la maladie de la forêt qui se situaient à l'époque et se situent encore aujourd'hui dans les mêmes régions. Ceci est confirmé pour d'autres époques par les informations de Mayer (1978) et de Hiss (1922), comme si la maladie avait connu des flambées à plusieurs reprises au fil du temps dans les mêmes régions et comme si elle s'était peut-être propagée depuis là-bas."

En conclusion, en l'état actuel des connaissances, on peut estimer "que les virocytes, les mycoplasmes, les bactéries et les champignons sont des facteurs pathogènes moins aigus que les immissions, les virus et les rickettsies."

L'identification claire et irréfutable d'un virus qui serait responsable du mal des forêts ne résoudra pas complètement le problème posé. Encore faudrait-il trouver une thérapie adaptée pour maîtriser le virus et juguler sa propagation. Comme le souligne le Professeur Frenzel "la lutte contre un virus n'est vraiment efficace que si elle passe par la lutte contre les vecteurs éventuels." et il ajoute la question suivante : "Cela sera-t-il possible sans l'utilisation de poisons supplémentaires pour l'environnement ?"

### 3. L'état de la recherche fondamentale

Il n'existe pas actuellement de preuves scientifiques des causes du dépérissement des forêts. Si l'existence de ces preuves ne doit pas conditionner la mise en oeuvre d'une politique de réduction de la pollution atmosphérique, il apparaît indispensable de rechercher les causes d'un phénomène pour l'heure impossible à maîtriser. Certes, actuellement, quelques thérapeutiques sont appliquées - déversement d'engrais et projection de chaux sur les sols des forêts dépérissantes - pour ralentir le processus en cours, mais elles n'apportent qu'une réponse très insuffisante. Une avancée de la recherche fondamentale est donc indispensable si l'on veut apporter une réponse à la mesure du défi actuel.

#### 3.1. En France : le programme DEFORPA

Le programme DEFORPA se propose d'appréhender l'ensemble du phénomène de dépérissement des forêts. Outre un volet "observation des forêts et inventaire des dommages" ce programme comporte plusieurs projets articulés autour des thèmes suivants :

- développement des mesures d'immissions,
- recherche sur les phénomènes météorologiques et le transport des polluants émis dans l'atmosphère,
- expérimentations sur des végétaux soumis à des pollutions contrôlées,
- recherches sur les mécanismes physiologiques de l'effet des polluants,
- recherche relative aux effets sur les plantes des polluants absorbés par les sols,
- recherche sur d'éventuelles causes biotiques du dépérissement,
- recherche sur les corrélations entre le dépérissement et les conditions écologiques ou sylvicoles,
- étude des effets des événements climatiques défavorables.

Le programme DEFORPA comporte également des projets tendant à trouver des remèdes au dépérissement, notamment par la fertilisation des peuplements atteints, la sélection et l'expérimentation d'essences résistantes ainsi que la modification des méthodes sylvicoles.

Ces différents projets sont intégrés dans le programme DEFORPA, patronné et financé par la Commission des Communautés européennes, le Ministère de l'Environnement, le Ministère de la Recherche et de la Technologie et plusieurs organismes de recherche, en particulier l'INRA.

L'étude des mécanismes d'action des polluants sur les végétaux a été entreprise depuis longtemps avec le soutien du Ministère de l'Environnement qui a conclu des conventions de recherche avec des laboratoires du C.N.R.S. (phytotron) et des Universités. Des recherches sur ce thème sont également menées par l'INRA.

Dans le cadre de la première tranche du programme (octobre 1984-mars 1986), sept laboratoires étudient les effets directs des polluants sur le métabolisme foliaire du point de vue biochimique et physiologique.

Pour les exercices 1985 et 1986, les contributions respectives de l'Etat et de la C.E.E. à la recherche sur les pluies acides s'établissent comme suit étant entendu que le financement provenant du budget de l'Etat n'est pas un chiffre rigoureux mais une estimation, car il inclut des rémunérations d'agents d'organismes publics de recherche dont l'activité est orientée prioritairement mais non exclusivement vers les "pluies acides".

	<u>Budget de l'Etat</u> (en millions de francs)	<u>C.E.E.(1)</u>
1985	24	8
1986	38	1,3

(1) Le contrat avec la C.E.E. est reconduit jusqu'en septembre 1986.

Source : Ministère de l'Environnement.

### 3.2 La recherche à l'étranger

La recherche sur les effets néfastes de la pollution atmosphérique s'est développée dans certains pays étrangers bien avant que la France ne se préoccupe de ces problèmes. Indépendamment des dommages observés à proximité des zones industrielles, les phénomènes attribués à la pollution atmosphérique ont fait l'objet de recherches importantes depuis 15 à 20 ans au Japon et aux Etats-Unis où l'effort a d'abord été orienté vers l'installation de réseaux de stations de mesure des polluants présents dans l'air et de réseaux d'observation des dégâts visibles, afin d'établir des normes.

Les pays précités ont ensuite engagé des recherches sur les mécanismes d'action des polluants afin de mettre en évidence les effets - visibles ou non - de la pollution à longue distance.

Les pays européens ont suivi, avec retard, un itinéraire similaire.

#### a) Les Etats-Unis

Pour l'application de l'Acid Precipitation Act de 1980, un programme national, "National Acid Precipitation Assessment Program (NAPAP)" a été mis en place dans le but de "développer et accroître progressivement une base d'information objective et complète sur les causes et effets des précipitations acides". Ce programme national, s'est substitué à divers programmes soutenus par des agences fédérales au coup par coup. L'Interagency Task Force on Acid Precipitation a alors été chargée de coordonner ces recherches, l'objectif étant de fournir "une base scientifique ferme" pour les décisions à prendre par les législateurs et les responsables des secteurs public et privé. Le programme comprenait, en 1984, 275 projets financés par 5 agences fédérales et concernait ainsi l'activité de centaines de scientifiques. Ces projets se répartissent en plusieurs thèmes à savoir l'analyse des sources naturelles et humaines de pollution et de leurs effets aquatiques, terrestres, ainsi que sur les matériaux, enfin, l'étude des technologies de contrôle. Le budget affecté à ce programme par les agences compétentes a été en expansion continue : environ 17 millions de

dollars en 1982 (première année d'application), 85 millions de dollars sont demandés pour l'exercice 1986 dans le cadre du projet de budget présenté par le Président Reagan au Congrès. L'augmentation de plus de 30 millions de dollars demandée pour 1986 par rapport au budget de 1985 devrait être affectée en priorité aux recherches sur les atteintes aux forêts.

Au cours des derniers exercices, la part de ce programme affectée à l'étude des "effets terrestres" a représenté 20 % du budget global.

Le pilotage des études sur les effets terrestres a été confié au département fédéral de l'agriculture, ce qui explique que jusqu'à maintenant les recherches aient porté prioritairement sur la croissance et la productivité des espèces agricoles dominantes (céréales, soja) et des espèces forestières ainsi que sur les sols plutôt que sur les mécanismes d'action.

Les mêmes priorités ont été retenues dans le cadre de programmes distincts du NAPAP, notamment dans le programme de l'Electric Power Research Institute dont le budget représente 77 millions de dollars pour la période 1985-1989.

En dépit des priorités officielles orientées vers la recherche appliquée, les travaux de plusieurs scientifiques américains concluent que des recherches fondamentales sur les mécanismes d'action des polluants sont indispensables pour déterminer ce qui est imputable à ces derniers dans les effets observés sur les végétaux.

#### b) La recherche au Japon

Bien avant de souffrir des effets de la pollution atmosphérique à longue distance, le Japon a été confronté à des problèmes aigus dus à la pollution de l'air. Bien avant les autres, ce pays avait mis en oeuvre une politique de contrôle de la pollution, il y a presque 100 ans, pour la région d'Osaka. Le développement industriel rapide de l'après-guerre a entraîné un dépassement des normes précédemment définies qui a mis en péril la santé publique et l'économie dans les années 60.

La situation s'est redressée depuis l'entrée en vigueur de la loi pour le contrôle de la pollution de l'air en 1969 et la création de l'agence de l'environnement en 1977. Un comité pour l'étude des pluies acides a été institué en 1984.

Depuis 1976, un programme de recherche fondamentale est conduit par l'Institut national pour l'étude de l'environnement sur les effets de la pollution atmosphérique sur les plantes. Cet organisme dispose de moyens considérables, notamment le plus grand phytotron du monde qui comporte 13 chambres de 4 m<sup>2</sup> chacune.

Ce programme de recherche fondamentale, a pour objet l'étude des mécanismes de la phytotoxicité des polluants par des approches physiologiques, biochimiques et micrométéorologiques.

#### c) La recherche en Allemagne fédérale

La constatation des dépérissements des forêts surtout à partir de 1975 a suscité un effort de recherche important tant au niveau fédéral que de la part des Länder. Un programme de recherche coordonnée est mis en oeuvre sous le contrôle du Ministère fédéral de la Recherche et de la Technologie. Les recherches sont menées par des laboratoires dépendant des universités, de certaines institutions fédérales ou des länder. Les ministères de l'Intérieur et de

L'Agriculture et des forêts participent au financement de ce programme dont le budget global atteint 65 millions de DM en 1985 pour 250 projets axés sur les thèmes suivants : observation des dommages, étude des mécanismes d'action des polluants, étude des niveaux de pollution, étude des transferts à longue distance.

Dans un rapport sur ce programme, en 1982, le Ministère fédéral de la Recherche précisait que l'objectif est de clarifier les mécanismes cause-effet dans le but de prendre des décisions propres à préserver la forêt à long terme. Les deux orientations prioritaires sont l'étude du métabolisme foliaire et l'analyse des effets des polluants primaires ou secondaires sur la chimie des sols et le métabolisme de la rhizosphère.

Le Conseil scientifique qui suit ce programme a recommandé de développer l'étude des effets des polluants sur la physiologie des arbres.

Du point de vue de l'organisation de la recherche, on doit signaler qu'une collaboration s'est instaurée entre la R.F.A. et les Etats-Unis (programme NAPAP).

A propos de la R.F.A, on indiquera enfin que les premiers résultats des travaux de plusieurs laboratoires engagés dans ce programme démontrent une altération du métabolisme des aiguilles des sapins et des épicéas malades.

#### d) La recherche en Suisse

En Suisse, les responsables politiques et administratifs considèrent le dépérissement des forêts comme un problème national vital, notamment en raison de la configuration géographique de ce pays.

La recherche sur les forêts est mise en oeuvre par l'Office fédéral des forêts et l'Office fédéral de la protection de l'Environnement, l'essentiel du financement provenant du Fonds national de recherches.

Le programme national "cycle et pollution de l'air" pour la période 1984-1987 a été complété par un programme supplémentaire sur le thème "dépérissement des forêts et pollution de l'air" et par le programme SANASILVA. Ce dernier programme comporte des projets de nature différente : observation des dégâts aux forêts (placettes), expérimentation des effets de pollutions contrôlées sur les végétaux, mais relativement peu de recherches fondamentales compte tenu des collaborations avec la R.F.A. Le budget global de ce programme est supérieur à 20 millions de francs suisses pour la période de référence 1984-1987.

Les projets sont mis en oeuvre par des laboratoires universitaires et des organismes fédéraux, en particulier l'Institut fédéral de recherches forestières de Birmensdorf près de Zurich. Dans ce centre qui emploie aujourd'hui 300 personnes, l'effectif du personnel a doublé depuis 2 ans (personnels recrutés sur contrats pour une durée de 3 ans) ; il est composé pour 1/3 de chercheurs, 1/3 d'ITA, 1/3 de techniciens vacataires.

Les résultats des travaux des chercheurs suisses désignent les photooxydants et l'ozone comme la principale cause de dépérissement des forêts.

Dans plusieurs pays développés, les pouvoirs publics ont pris conscience de la gravité du phénomène de dépérissement des forêts et des dangers de la pollution atmosphérique et ont engagé des programmes de recherche de grande envergure. L'effort consenti par la France en ce domaine est-il suffisant ? Il est permis d'en douter.

CONCLUSION :

Il faut renforcer la lutte contre la pollution atmosphérique indépendamment même de ses implications dans le dépérissement des forêts.

Les recherches conduites depuis quelques années en France et dans les principaux pays industrialisés ont permis de mettre en évidence l'existence d'une forme de pollution différente de la pollution de proximité connue jusque-là. Cette pollution diffuse et chronique provient de la transformation pendant leur transport dans l'atmosphère des polluants primaires émis par les installations de combustion et par les véhicules automobiles.

Bien que faiblement concentrée cette pollution à longue distance, improprement appelée "pluies acides", a des effets destructeurs sur l'environnement et en particulier sur les écosystèmes aquatiques comme l'ont très bien montré de multiples études américaines et scandinaves.

Dans le même temps on a constaté dans plusieurs pays européens que certaines forêts se portaient mal et que l'on pouvait même parler dans quelques cas de phénomènes de dépérissement. Certes les symptômes de ce mal des forêts ne sont pas aussi spectaculaires que l'on a parfois été tenté de le dire. Il faut pour se rendre compte des dommages être accompagné de forestiers connaissant bien leur secteur et les dégâts causés par la densité excessive des cervidés dans les Vosges sont plus évidents pour le non-spécialiste.

Peut-on relier ces deux séries de constatations et imputer à la pollution atmosphérique à longue distance les dommages constatés dans certaines forêts.

Comme ces dommages ne semblent pas provenir des causes de dépérissement antérieurement constatées la plupart des experts estiment désormais qu'il y a "une forte présomption" pour que la pollution atmosphérique à longue distance, soit seule, soit combinée à d'autres facteurs, soit responsable de ce phénomène spécifique et nouveau.

Néanmoins de grandes plages d'incertitude subsistent tant sur la nature des polluants incriminés - retombées acides ou ozone - que sur les modalités d'action de ces polluants sur les cellules végétales.

Cette absence de preuves scientifiques irréfutables ne doit cependant pas être prise comme excuse pour chercher à retarder les mesures qui permettront de lutter contre la pollution à longue distance comme on l'a déjà fait pour la pollution de proximité.

Il n'est pas possible, sous prétexte que tout n'a pas encore été expliqué et démontré, de courir le risque de voir ce phénomène s'amplifier et entraîner des atteintes, peut-être irréversibles, aux forêts mais aussi à la santé humaine.

Même si ces risques sont pour le moment tout à fait aléatoires il faut, sans céder à une panique inutile, prendre dès maintenant toutes les mesures nécessaires pour laisser aux générations futures un environnement non dégradé.

Pour cela il faut faire prendre conscience à l'opinion publique mais aussi à quelques responsables des dangers de cette forme de pollution qui ne sont pas immédiatement visibles. Il faut aussi préparer cette opinion publique à accepter des mesures qui ne seront pas toutes populaires.



L'air pur n'est pas un bien inépuisable, chacun doit le comprendre. Dans les années 60 on a pris conscience de la nécessité de gérer les ressources en eau, il faut aujourd'hui appliquer le même principe à l'air. Chaque pollueur doit être considéré comme responsable de sa pollution sans que l'on ait à chaque fois à prouver qu'il existe une corrélation directe entre l'émission de polluants et les dégâts à l'environnement.

Fallait-il cependant pour hâter cette prise de conscience focaliser le débat sur la seule question du dépérissement des forêts jusqu'à créer comme le faisait remarquer un article de la revue *Futuribles\** : "une situation en passe de devenir écologiquement et socialement catastrophique, une foire d'empoigne ou le problème des pluies acides sert visiblement de prétexte aux acteurs sociaux et politiques pour régler - au niveau national et international - des différends qui n'ont rien d'écologiques avec des arguments qui, le plus souvent, n'ont rien de scientifiques..."

On a parfois l'impression qu'une conjonction d'intérêts, pourtant fort dissemblables à l'origine, tend à transformer peu à peu en enjeux politico-économiques un débat qui aurait dû rester purement scientifique.

Ce débat est devenu aujourd'hui si passionnel dans certains pays que l'on a vu récemment des organes de presse, pourtant réputés pour leur sérieux, tenter de discréditer et de ridiculiser un professeur mondialement connu uniquement parce qu'il avait osé émettre une hypothèse nouvelle sur les causes du dépérissement des forêts.

Il faut à ce sujet citer une fois encore un article\*\* du *Journal of the Air Pollution Control Association* des Etats-Unis : "A propos de l'évolution à long terme des mentalités, sur la nécessité de réviser le Clean Air Act aux Etats-Unis ou d'adopter en Europe des lois similaires il est quand même assez ironique de constater que le plus grand intérêt du public se concentre sur l'aspect de la pollution atmosphérique - les forêts - où l'on rencontre les plus grandes incertitudes tant sur les causes que sur les effets. Nous en savons pourtant beaucoup plus sur les conséquences de la pollution atmosphérique sur la santé humaine, sur la dégradation des matériaux, sur l'acidification des eaux de surface ou sur la réduction de la visibilité que sur les effets de cette même pollution sur les forêts. Malheureusement les incertitudes dans un domaine sont souvent mises en avant pour ne pas prendre de décision dans les autres."

L'importance un peu démesurée donnée aujourd'hui au problème des forêts dans l'ensemble de la lutte contre la pollution atmosphérique risque d'avoir à terme des effets pervers.

Qu'arriverait-il en effet si les thèses de l'origine virale du dépérissement des forêts étaient tout à coup vérifiées ?

Il est certain que beaucoup d'usagers à qui on va demander un sacrifice financier important pour "sauver les forêts" estimeraient être dès lors dégagés de toute obligation.

Les pays qui ont depuis longtemps et avec succès entrepris de lutter contre la pollution atmosphérique, le Japon et les Etats-Unis, ont justifié les mesures parfois draconiennes qu'ils ont prises uniquement par la nécessité de protéger la santé de leurs ressortissants des éventuelles conséquences de cette pollution.

---

\* Rémi Barré. Les pluies acides en Europe. *Futuribles*, Juin 1985.

\*\* Dr Ellis B. Cowling de l'Université de l'Etat de Caroline du Nord. *Journal of the Air Pollution Control Association*. 1985.

Il existe de fortes présomptions pour considérer que la pollution atmosphérique à longue distance a un effet néfaste sur les forêts, les études sur cette question doivent donc être conduites avec efficacité, rapidité mais aussi avec sérénité dans le cadre général des travaux sur la pollution atmosphérique.

En matière de recherche, les efforts devraient principalement porter sur les points suivants :

a) Renforcement des réseaux de mesure de la pollution

Il est nécessaire d'implanter dans les forêts mais aussi dans les autres zones rurales des stations de contrôle continu des retombées de polluants. Ces stations devraient en particulier permettre de suivre l'évolution de la concentration de l'ozone, du PAN et des autres photooxydants dans l'air.

Les résultats de ces stations devraient ensuite pouvoir être intégrés dans un modèle capable de prévoir la fréquence et l'intensité des pollutions sur l'ensemble du territoire.

b) Etablissement d'un modèle de transport, de transformation et de dépôt des polluants

L'intérêt de la modélisation atmosphérique est multiple. Elle a d'abord un rôle diagnostique, en visant à représenter les phénomènes réels, donc à calculer les bilans globaux et régionaux des différents éléments considérés. L'établissement de tels bilans où interviennent conjointement et en imbrication non linéaire les facteurs météorologiques et les acteurs chimiques, nécessite une association étroite entre modélisateurs et physico-chimistes de laboratoire et de terrain (mesures in-situ nécessaires pour "caler" et tester les modèles si on veut qu'ils représentent la réalité atmosphérique).

Mais l'ambition des scientifiques est aussi de dépasser ce rôle diagnostique en le complétant par un rôle "prédictif" en affinant les modèles de façon à évaluer les perturbations anthropogéniques sur les grands cycles biogéochimiques naturels, donc en espérant ainsi pouvoir corriger ces perturbations.

La modélisation devrait également servir de guide et de référence à l'implantation optimale de réseaux de mesure et à la définition de stratégies d'échantillonnage, souvent lourdes et coûteuses.

c) Développement des études sur la pollution en chambre de simulation

Les chambres de simulation atmosphériques sont des enceintes de formes et dimensions très variables dans lesquelles on peut reconstituer artificiellement une atmosphère de composition déterminée. Autour de cette enceinte sont implantés divers systèmes analytiques permettant le suivi de l'évolution chimique de l'atmosphère de départ soit dans le noir (réaction avec  $\text{NO}_3$  par exemple) soit sous irradiations. Contrairement au premier type d'études, où l'on isole un processus élémentaire dans des conditions expérimentales qui sont nécessairement très éloignées des conditions de l'atmosphère réelle, on cherche ici à suivre l'évolution globale d'une atmosphère dans des conditions aussi proches que possible de la réalité, mais plus faciles à maîtriser que la réalité.

Ce deuxième type d'études permet essentiellement d'avoir accès à deux types de renseignements :

- la mesure de constantes cinétiques relatives dans des conditions proches de la réalité atmosphérique, ce qui est fondamental pour l'étude des réactions dont la constante de vitesse apparente dépend de la pression ;
- l'étude de l'évolution chimique globale de systèmes chimiques complexes sous conditions atmosphériques simulées, permettant l'identification des interactions entre polluants, et les caractérisations des composés secondaires dans des conditions analytiques plus faciles que dans celles du milieu naturel. On pourra ainsi mieux connaître les adversaires auxquels l'homme et les végétaux sont confrontés.

d) Développement des études sur les végétaux en atmosphère contrôlée

Les recherches conduites dans les conditions naturelles ou semi-naturelles (chambres à ciel ouvert) permettent d'effectuer des constatations sur les effets globaux de la pollution mais ne peuvent pas conduire à apprécier l'importance réelle des différents polluants dans l'effet final sur la plante. Seules les expériences en atmosphère contrôlée des climats peuvent permettre d'obtenir des résultats satisfaisants.

e) Approfondissement des études sur les mécanismes biologiques

Des recherches biochimiques portant sur le fonctionnement cellulaire et sur les "signaux chimiques" internes qui le modifient pourront seules permettre d'obtenir des informations sur :

- les processus reliant effectivement la présence de polluants dans l'atmosphère à des changements physiologiques pouvant entraîner des conséquences sur la croissance,
- les possibilités pratiques d'une détection rapide et d'un diagnostic des pollutions dommageables.

La recherche fondamentale au niveau cellulaire et infra-cellulaire ne doit pas être négligée au profit des autres secteurs de la recherche. Les relations entre la physiologie des plantes et l'environnement posent des problèmes très complexes ; les recherches en ce domaine sont donc longues, délicates et peu spectaculaires, mais ce n'est que par cette voie que l'on arrivera à comprendre véritablement les phénomènes de dépérissement et à prendre ensuite les mesures adéquates.

Une plus grande mobilisation des capacités nationales paraît donc nécessaire. Le programme DEFORPA doit être érigé en programme national prioritaire, pluriannuel et bénéficiaire du concours permanent et exclusif d'un certain nombre d'agents, alors qu'actuellement les membres du groupe opérationnel ont simultanément d'autres responsabilités et qu'aucun personnel supplémentaire ne peut être recruté sur contrat. En matière de recherche fondamentale, il serait souhaitable de développer des collaborations avec des laboratoires étrangers en particulier dans le domaine de la physiologie végétale et sur les problèmes des maladies épidémiques. Il serait en particulier souhaitable que le Programme DEFORPE s'intéresse aux maladies virales en liaison avec les chercheurs allemands dont les travaux, bien que contestés, paraissent à plusieurs experts français sérieux et en tout cas dignes d'intérêt.

Lors du Conseil des Ministres du 23 octobre 1985, le Ministre de l'Environnement a annoncé que les crédits consacrés à la recherche sur les effets des pluies acides seraient augmentés de 60 % en 1986 sur une dotation annuelle de 38 millions de francs.

Il s'agit d'un effort important mais qui ne permettra cependant pas de mettre en oeuvre un dispositif d'ensemble comparable à ceux qui sont déjà opérationnels dans d'autres pays comme les Etats-Unis ou la R.F.A.

L'effort budgétaire que les Etats sont décidés à faire en faveur de la recherche sur les effets de la pollution atmosphérique à longue distance pose d'ailleurs un problème de principe : si la survie des forêts est véritablement menacée comme on l'affirme dans les documents officiels, les crédits destinés à la recherche doivent être à la mesure du risque couru.

Dans tous les pays on constate une certaine contradiction entre les déclarations et les actes. D'un côté, on parle de catastrophe écologique majeure mais de l'autre, on attribue à la recherche sur la pollution atmosphérique et sur le dépérissement des forêts des crédits qui peuvent paraître dérisoires comparés à ceux qui sont accordés à d'autres secteurs de la recherche où il n'existe pourtant pas de danger potentiel aussi grave.

Les derniers développements des discussions communautaires illustrent aussi très bien cette contradiction. La Commission européenne constatant que l'Europe était confrontée à un problème transfrontalier avait cru opportun de préparer un projet de règlement communautaire sur la protection des forêts contre les incendies et contre les effets des pluies acides.

Le volet "pollution atmosphérique" de ce projet avait pour but d'aider les Etats membres à :

- établir sur une base méthodologique comme un inventaire périodique des dommages aux forêts,
- compléter et harmoniser le réseau de placettes d'observations,
- établir un bilan périodique de l'état sanitaire des forêts,
- mettre en oeuvre des projets pilotes pour améliorer les méthodes d'observation et de mesure des dommages.

La Commission aurait en outre assuré la mise en oeuvre de la coordination et du suivi de l'action communautaire en recourant le cas échéant à des Instituts de recherche et à des conseillers scientifiques. Il s'agissait d'un projet particulièrement modeste puisqu'il n'était demandé pour le volet "pollution atmosphérique" que 25 millions d'écus pour cinq ans.

A titre de comparaison, il faut rappeler que 1 225 milliards d'écus (8 milliards de francs environ) seront consacrés à la recherche communautaire dans les cinq prochaines années et souvent pour des actions qui ne paraissent aussi urgentes que la sauvegarde des forêts.

Par la voix de M. René Souchon, Secrétaire d'Etat chargé de la forêt, la France a fait savoir qu'elle était favorable à ce projet et qu'il était urgent que face à des enjeux communs l'Europe engage des actions communes.

L'opposition de certains Etats membres et notamment de l'Allemagne, qui craignaient qu'une action communautaire se transforme peu à peu en une politique forestière commune a empêché l'adoption de ce projet.

Comme seules la Grèce et l'Italie se sont prononcées avec la France en faveur d'une action communautaire et que l'unanimité est requise, il semble bien que ce projet soit définitivement enterré.

Il y a donc là aussi un double langage que l'on a du mal à comprendre surtout de la part d'Etats qui demandent par ailleurs que des mesures communautaires contraignantes et coûteuses soient prises pour sauver les forêts européennes.

## DEUXIEME PARTIE

### LA REDUCTION DES EMISSIONS : UNE ACTION COMMUNAUTAIRE

#### AUX CONSEQUENCES CONSIDERABLES

##### a) Une prise de conscience progressive dans l'ensemble du continent européen

Face à une pollution atmosphérique diffuse à longue distance, la nécessité d'actions coordonnées au plan international s'est naturellement imposée à ceux des pays qui en ressentaient le plus vivement les atteintes. Ainsi, la Suède et la Norvège qui avaient depuis longtemps déjà constaté l'acidification de leurs eaux intérieures ont elles oeuvré pour cette prise de conscience qui s'est symbolisée par la Conférence de Stockholm(1) en 1972. Si dans l'immédiat aucune retombée concrète n'eut lieu, cela permit non seulement de prendre date mais encore d'amener à terme les pays européens à s'intéresser au phénomène et à inciter les plus concernés à engager des recherches ou au moins des analyses factuelles de la situation.

Sept ans après cette première conférence de Stockholm était signée en novembre 1979 la "Convention internationale sur la pollution transfrontière à longue distance" dans le cadre de l'O.N.U. (Commission économique des Nations Unies pour l'Europe). Ratifiée par 34 pays dont les principaux de l'Est européen (2), cette convention est entrée en vigueur en mars 1983.

Les pays signataires de la Convention s'engagent notamment à :

- endiguer la pollution atmosphérique et à la réduire progressivement autant que possible ;

- mettre au point des stratégies de lutte contre les émissions ;

---

(1) Organisée dans le cadre de la Commission Economique Européenne des Nations Unies. La déclaration sur l'environnement humain adoptée alors dispose notamment en son principe 21 :

"Conformément à la charte des Nations Unies et aux principes du droit international, les Etats ont le droit souverain d'exploiter leurs propres ressources selon leur politique d'environnement et ils ont le devoir de faire en sorte que les activités exercées dans les limites de leur juridiction ou sous leur contrôle ne causent pas de dommage à l'environnement dans d'autres Etats ou dans des régions ne relevant d'aucune juridiction nationale".

(2) La Communauté Economique Européenne est partie contractante à cette Convention.

- utiliser parmi les technologies disponibles celles qui sont les meilleures et se justifient sur le plan économique ;

- collaborer à la poursuite du développement des techniques ;

- mettre en oeuvre et perfectionner le programme de mesure et d'évaluation du transport à grande distance des polluants atmosphériques".

En 1982, dix ans après la première conférence, une nouvelle conférence tenue à Stockholm permettait de mesurer l'aggravation des effets des pluies acides proprement dites mais aussi la maturation encore insuffisante de bien des pays.

A l'époque, le dépérissement des forêts venait tout juste d'être observé en Allemagne Fédérale et l'on notait alors un changement d'attitude du gouvernement de Bonn qui jusque là s'était toujours montré très réservé vis à vis des demandes scandinaves qu'il s'agisse de l'analyse des phénomènes et ou des actions à entreprendre.

Si au cours de la première réunion de l'organe exécutif de la convention en juin 1983, il fut décidé que les parties contractantes devraient réduire efficacement pour 1993/1995 "les émissions ou les flux transfrontaliers" en prenant pour base l'année 1980, aucun pourcentage ne fut précisé.

En février 1984, le gouvernement français fit part de sa décision de réduire de 50 % les émissions soufrées entre 1980 et 1990.

Peu après, en mars 84, à la conférence d'Ottawa, dix pays signataires de la convention de Genève (1) s'engageaient à réduire d'au moins 30 % leurs émissions soufrées entre 1980 et 1993. Ainsi naquit ce que l'on appelle maintenant le "Club des 30 %". Ils étaient rejoints peu après par plusieurs autres pays, d'Europe de l'Est notamment (URSS, RDA, Bulgarie).

En juin 1984 se tint à Munich à l'initiative du gouvernement fédéral une conférence qui réunit 31 nations de l'Est et de l'Ouest, demandant une meilleure coopération dans le cadre de la convention de Genève, une réduction des émissions d'oxydes de soufre et d'oxydes d'azote, la poursuite des recherches sur les transports transfrontières, la mise en oeuvre des "meilleures technologies disponibles et économiquement acceptables" contre les émissions soufrées et azotées des sources fixes et des sources mobiles.

---

(1) Autriche, Canada, Danemark, Finlande, France, République Fédérale d'Allemagne, Norvège, Pays-Bas, Suède, Suisse.

Dans cette perspective a été signé à Helsinki en juillet 1985, lors de la 3ème session du bureau exécutif de la Convention de Genève, un protocole visant à limiter la pollution par le dioxyde de soufre (SO<sub>2</sub>) ; les nations signataires s'engagent à réduire les émissions de ce polluant d'au moins 30 % d'ici 1993. Le Club des 30 % comprend donc maintenant tous les pays de la Communauté Economique Européenne sauf la Grande Bretagne, l'Irlande et la Grèce, les pays de l'Europe de l'Est (y compris l'URSS et la Tchécoslovaquie) (1) à l'exception notable de la Pologne et de la Roumanie, tous les pays d'Europe du Nord ; mais l'Espagne, le Portugal, la Turquie, la Yougoslavie, ainsi que les Etats-Unis ont refusé de signer ce protocole.

La Grande-Bretagne ainsi que l'Irlande et la Grèce ont estimé que la connaissance des phénomènes était insuffisante pour imposer des dispositions dont le coût apparaissait élevé ; la Grande-Bretagne a fait état d'une réduction d'émission de SO<sub>2</sub> de 40 % entre 1970 et 1983.

On remarque donc au seul plan de la Convention de Genève et du Club des 30 % une évolution lente mais réelle en faveur d'une lutte effective contre les facteurs de la pollution longue distance. Malgré le caractère limité et modéré des engagements, on note les résistances de pays gros émetteurs (Grande-Bretagne, Pologne).

Parallèlement aux initiatives qui viennent d'être rappelées, l'O.C.D.E. (Organisation de Coopération et de Développement Economiques) a mené depuis longtemps des actions en vue d'une meilleure connaissance des phénomènes et des moyens à mettre en oeuvre pour diminuer les pollutions atmosphériques, celles impliquées dans la "longue distance" en particulier.

En 1977, elle a produit un rapport dont les données servent le plus souvent de base de discussion aux conférences européennes. Dans le domaine des technologies anti-pollution, ses études et analyses (désulfuration du charbon par exemple) constituent les références les plus utiles.

Les réunions des Ministres de l'Environnement des pays de l'OCDE en 1979 puis tout récemment en juin 1985, cette dernière à Paris, ont donné une impulsion politique tangible aux actions de lutte. On verra plus loin quelles orientations le Conseil de l'OCDE a d'ailleurs données sur ce sujet, orientations qui s'appuient sur des observations et analyses faites avec rigueur depuis longtemps déjà.

#### b) Dans le cadre communautaire

Dans le cadre de la Communauté Economique Européenne, la nécessité d'actions coordonnées en matière d'environnement entre états, au plan communautaire et même au plan international a été perçue : l'adoption du premier programme d'actions des communautés en novembre 1973 l'atteste. On est actuellement au troisième programme.

---

(1) L'URSS ainsi que les républiques d'Ukraine et de Biélorussie se sont engagées à réduire de 30 % uniquement leurs flux transfrontière de SO<sub>2</sub> c'est-à-dire d'Est en Ouest et non leurs émissions globales de SO<sub>2</sub>



Les textes instituant la Communauté permettent d'ailleurs à celle-ci d'exercer des compétences en matière d'environnement (1). On verra que ces aspects juridiques ne sont pas dénués d'intérêt dans la situation actuelle dès lors que la contestation de certaines actions proposées dans le cadre communautaire se fonde sur des considérations de cet ordre comme cela s'est vu en septembre dernier lors d'un Conseil des Ministres de l'Agriculture où l'Allemagne, la Grande Bretagne et le Danemark se sont opposés aux propositions de la Commission relative à une action communautaire destinée à accroître la protection des forêts contre les incendies et la pollution atmosphérique.

Des directives concrétisent des programmes communautaires et ce, depuis longtemps déjà. On peut citer notamment :

- la directive du 24 novembre 1975 relative à la teneur en soufre de certains combustibles,

- la directive relative aux mesures à prendre contre la pollution de l'air par les gaz des moteurs à allumage commandé équipant les véhicules à moteur (dernière adaptation du 16 juin 1983),

- la directive du 15 juillet 1980 concernant les valeurs limites et les valeurs guides de qualité atmosphérique pour l'anhydride sulfureux et les particules en suspension,

- la directive du 3 décembre 1982 concernant les normes de qualité atmosphérique pour le plomb,

- la directive du 7 mars 1985 concernant les normes de qualité de l'air pour le dioxyde d'azote,

- la directive du 29 juin 1978 concernant le rapprochement de la législation des états membres relative à la teneur en plomb de l'essence à laquelle se substitue au 31 décembre prochain la directive adoptée le 20 mars 1985.

Avec l'apparition du dépérissement des forêts, les perspectives et dès lors la nécessité d'actions communautaires ont donné une autre ampleur aux dispositions envisageables.

---

(1) Article 235 - "Si une action de la Communauté apparaît nécessaire pour réaliser, dans le fonctionnement du marché commun, l'un des objets de la Communauté, sans que le présent traité ait prévu les pouvoirs d'action requis à cet effet, le Conseil, statuant à l'unanimité sur proposition de la Commission et après consultation de l'Assemblée, prend les dispositions appropriées".

Six mois après le sommet européen de Stuttgart de juin 1983, où le Premier Ministre britannique, Madame Margaret THATCHER s'était déclarée "favorable à une action immédiate pour éviter une situation irréversible", a été présentée la proposition de directive relative à la limitation des émissions de polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion. Cette proposition s'inspire largement, comme le texte qui la présente l'indique sans ambages, des dispositions prises en République Fédérale d'Allemagne.

Le 28 juin 1984 le Conseil de la Communauté a adopté une "directive-cadre" sur la pollution des installations industrielles fixes.

Cette directive subordonne l'exploitation de certaines installations industrielles - notamment celles figurant à l'annexe II de la directive - à la délivrance d'une autorisation préalable par les autorités compétentes de chaque Etat membre. Il s'agit dans son principe d'une procédure analogue à celle mise en oeuvre en France au titre de la législation sur les installations classées.

La plupart des dispositions nationales s'inspirent de ce même principe mais des différences importantes peuvent être relevées en particulier au niveau des systèmes de contrôle et de surveillance mis en oeuvre par les Etats.

La directive adoptée prévoit par ailleurs la possibilité d'introduire des normes communautaires d'émissions pour les installations industrielles visées par la directive.

Le Conseil statuant à l'unanimité sur proposition de la Commission fixera si nécessaire des valeurs indicatives et/ou des valeurs limites d'émission basées sur la meilleure technologie disponible et n'entraînant pas des coûts excessifs.

Il est à noter que la référence à la pollution atmosphérique transfrontière a disparu du dispositif de la directive où elle figurait à l'origine, et ne subsiste que dans les considérants.

La future directive sur les grandes installations de combustion devrait donc être le premier texte d'application de cette directive-cadre.

Le projet de directive relative à la pollution de l'air pour les véhicules à moteur constitue l'autre volet essentiel au niveau communautaire de la lutte contre les agents incriminés dans les "pluies acides".

La directive adoptée le 20 mars 1985 relative à la teneur de plomb dans l'essence constitue à la fois son complément logique, puisque l'usage de catalyseurs dans l'automobile implique l'alimentation en carburant sans plomb, mais aussi la suite des précédentes directives limitant l'emploi du plomb en tant que tel.

Il est à noter que le texte relatif aux conséquences de l'introduction des catalyseurs a été acquis avant celui relatif à ce dispositif qui, malgré l'accord de principe du 27 juin dernier n'a pas encore été formellement adopté.

c) Des conséquences d'une ampleur considérable

Les dispositions prises ou à prendre dans le cadre communautaire, notamment sous forme de directives, en vue de diminuer les pollutions mises en cause dans le phénomène des "pluies acides" et plus particulièrement du dépérissement des forêts, auront nécessairement des conséquences importantes pour les activités humaines engendrant ces pollutions. Dès lors que des dispositifs spécifiques et/ou des normes sont imposées ces conséquences peuvent être considérables.

On peut remarquer que cette situation n'est pas sans précédent, que le Japon par exemple a introduit il y a déjà quelque temps des normes draconiennes d'émission de polluants, que les Etats-Unis généralisent le pot catalytique pour les automobiles. Mais on aura garde d'oublier que le premier n'est pas, dans les faits, une économie largement ouverte aux importations et que pour les seconds, l'accès à des ressources énergétiques indigènes en très grande proportion ainsi que la part beaucoup moins importante des échanges extérieurs dans l'économie, pour se cantonner à ces deux seules considérations, limitent fortement les dangers que des dispositions excessivement sévères pourraient faire courir. Les économies européennes ne sont pas dans des situations comparables.

La présente partie du rapport traite précisément des conséquences prévisibles de dispositions envisagées. Elles concernent essentiellement trois domaines d'activité :

- les grandes installations de combustion,
- l'automobile,
- les activités pétrolières.

Pour le premier domaine, les implications sont évidentes mais les coûts apparaissent difficiles à préciser au delà de quelques ordres de grandeur. On a couramment cité un surcoût de 20 % pour la dépollution d'installations existantes pour la diminution des seules émissions soufrées.

Le choix de tel ou tel procédé ou norme permet d'indiquer les conséquences et même quelquefois les impossibilités économiques auxquelles on pourrait se heurter. L'évolution éventuelle que les mesures entraîneraient sur la répartition entre les différentes sources d'énergie peut également être dessinée compte tenu de la situation de chaque pays.

Pour l'automobile, si les controverses autour de "la voiture propre" n'ont pas toujours contribué à clarifier le débat, compte tenu notamment de la

bonne foi toute relative de certains protagonistes, elles ont eu au moins le mérite de faire saisir, aux yeux du public comme des professionnels, l'étendue des conséquences possibles de la nécessaire diminution des pollutions liées aux transports : au delà du système de traitement des gaz d'échappement, ce sont les conditions de la combustion, l'introduction accélérée du pilotage électronique, du processus de combustion, la conception même des moteurs qui sont en cause.

Pour les activités pétrolières, si les implications sont moins souvent évoquées, elles sont néanmoins importantes. La suppression du plomb comme additif pour une quantité importante de l'essence distribuée entraînera pour maintenir un indice d'octane convenable à la fois le recours à d'autres additifs (composés oxygénés, lesquels ? dans quelle proportion ?) mais aussi une modification du schéma de raffinage, donc des investissements lourds qui doivent être soigneusement précisés en fonction de situations encore difficiles à prévoir. L'introduction d'un nouveau produit (essence sans plomb) sur le marché du détail aura aussi des conséquences sur les coûts mais vraisemblablement aussi sur le réseau de distribution et sur le maintien même de la vente de certains produits.

\* \* \*

\*

## I - LES GRANDES INSTALLATIONS DE COMBUSTION

Le projet de directive européenne tendant à limiter les émissions de polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion vise le dioxyde de soufre, les poussières et les oxydes d'azote. Il a été indiqué précédemment (1) comment ces émissions ont évolué et peuvent évoluer dans l'avenir suivant les différentes hypothèses économiques et énergétiques. Il convient de les garder à l'esprit tout d'abord pour apprécier les raisons et la portée des législations existantes dans les principaux pays européens concernés et les mesures antipollution préexistantes. Tel sera d'ailleurs l'objet de la première partie du présent chapitre.

On analysera ensuite les dispositions contenues dans le projet de directive communautaire et les mesures qu'il implique directement.

Puis on présentera les moyens techniques de délimitation des émissions polluantes.

En quatrième lieu seront abordés les coûts que peuvent entraîner les mesures envisagées.

En cinquième lieu, on appréciera l'adéquation de la réponse que constitue la directive au problème posé en gardant notamment à l'esprit que l'objectif est d'ordre environnemental et non économique.

Dans le prolongement de ce dernier point et en conclusion, on verra comment cette réponse peut, à moindre coût, être mieux adaptée à cet objectif.

### 1° Les dispositions nationales existantes

Le nombre et la portée appréciable des directives communautaires relatives à la qualité de l'air constituent déjà un élément important dans les dispositifs nationaux par les exigences que ces directives imposent aux pays membres. Certains des polluants visés par ces textes le sont également par le projet de directive "grandes installations de combustion" : le dioxyde de soufre les oxydes d'azote et les poussières.

Si les législations nationales ont des objectifs souvent comparables, les approches et les techniques administratives sont parfois très différentes les unes des autres.

---

(1) Cf 1ère partie. 1°/ Une évolution préoccupante des émissions de polluants dans l'atmosphère.

1-1- En France.

En France, les textes sur les installations classées pour la protection de l'environnement (loi du 19 juillet 1976) (1) et sur la lutte contre la pollution atmosphérique et les odeurs (loi du 2 août 1961) constituent les bases à partir desquelles une installation isolée ou prépondérante pour la pollution qu'elle détermine se voit imposer la réalisation, l'exploitation et le financement d'un réseau de mesure. En outre, l'exploitant est dans l'obligation de prévenir la survenance des pointes de pollution.

Lorsque la pollution n'est pas exclusivement d'origine industrielle, le réseau de mesure est créé, à l'initiative de l'Etat, le plus souvent dans le cadre régional, et sous la forme d'une association, les différents intervenants participant au financement. Ces associations de gestion de réseaux constituent l'un des quatre éléments du dispositif de mesure et de surveillance mis en place par le Ministère de l'Environnement, les trois autres étant :

- les réseaux d'alerte destinés à prévenir l'apparition d'épisodes de forte pollution dans les zones où ce type de situation est observé,

- les réseaux de surveillance dans les zones à forte densité industrielle et démographique (plus de 120 actuellement),

- une banque de données sur la pollution atmosphérique dont les premières informations datent de 1975;

Les stations constituant le réseau spécifique de mesure des pluies acides sont naturellement distinctes de ces réseaux.

Fondées sur les lois ou les directives européennes spécifiques précitées, différentes dispositions visent la réduction des émissions à la source, soit cas par cas pour une installation ou une branche donnée (contrats de branche ou instructions techniques) soit d'une manière générale :

- normes relatives aux rejets de poussières dans les installations de combustion brûlant des combustibles commerciaux ;

- teneur maximale en soufre des combustibles (avec les exigences plus sévères dans les zones de protection spéciale ou lorsque les seuils d'alerte sont atteints) ;

- normes d'émissions des gaz d'échappement des automobiles ;

- teneur maximale en plomb des carburants pour automobile.

---

(1) On en compte environ 300 catégories

1-2- Dans les pays de la Communauté autres que l'Allemagne et la France.

En Belgique, où il existe un dispositif relatif aux établissements classés, les normes d'émission sont déterminées lors de l'autorisation, cas par cas; elles ne concernent que le SO<sub>2</sub> et les poussières. Les zones de protection spéciales, au nombre de cinq, font l'objet de mesures plus sévères. Un arrêté fixe les normes d'émission de caractère général, pour les installations industrielles de combustion.

Au Luxembourg, le dispositif est également fondé sur un système d'établissements classés mais si des mesures ont été prises pour le SO<sub>2</sub> et les particules il n'existe pas de valeurs limites d'émission.

Aux Pays-Bas, la réglementation est fondée sur un système d'établissements classés, des valeurs limites étant imposées cas par cas. Récemment, de nouvelles dispositions ont établi des normes au plan national (0,5 million de tonnes par an pour le SO<sub>2</sub>).

Au Danemark, il existe un système d'établissements classés; des indications ("guidelines") sont données par les services de protection de l'environnement. Les actions de limitations des émissions soufrées portent sur le contenu en soufre des combustibles; en outre, les économies d'énergie sont également développées dans le cadre de la lutte contre les pollutions.

Si en Grèce, on trouve aussi un dispositif d'établissements classés, les administrations disposent cas par cas d'un pouvoir très étendu pour fixer des valeurs d'émission. L'accent est mis sur le SO<sub>2</sub> et les fumées noires. La situation de la région d'Athènes fait l'objet de soins particuliers compte tenu de la gravité de la situation locale.

En Italie, la législation sur les établissements classés comporte une division du territoire national en deux zones où des normes différentes sont appliquées; référence est faite, lors de la détermination des normes d'émission, à la technologie disponible.

C'est une référence comparable qui est faite en Irlande où les normes sont fixées cas par cas; on note l'existence de mesures sur la hauteur des cheminées, le contenu en soufre des combustibles et les particules.

En Grande-Bretagne, les graves épisodes de pollution de proximité (smog) des années trente et des années cinquante (1) sont à l'origine d'une action énergique et efficace orientée primitivement vers la lutte contre les fumées: création de "zones sans fumées" par des dispositions qui interdisent l'usage de charbon non traité et comportent des aides financières à l'usage de procédés ou de combustibles peu polluants. Sur un plan général, il existe un système d'industries réglementées sous le contrôle d'une administration indépendante qui définit cas par cas les "meilleurs moyens praticables" auxquels l'établissement est tenu de se conformer. L'administration peut imposer des valeurs limites d'émission.

---

(1) 4 000 morts attribués au smog à Londres en quelques jours en décembre 1952.

### 1-3- Le cas de la République Fédérale d'Allemagne

La réglementation allemande en matière de pollution atmosphérique est fondée sur la loi-cadre de protection de l'environnement du 15 mars 1974. Deux textes d'application de cette loi régissent plus particulièrement la lutte contre les pollutions atmosphériques engendrées par des installations fixes : la T.A Luft (1) et le décret du 23 juin 1983 sur les grandes installations de combustion. La T.A. Luft (dont la première version date de 1974) a été modifiée en février 1983 (2); les grandes installations de combustion ont été alors exclues de son champ d'application ; c'est le décret du 23 juin 1983 qui régit désormais ces dernières.

La T.A Luft contient des dispositions générales concernant les émissions de polluants, leur dispersion (hauteur des cheminées) et leur impact sur la qualité de l'air ambiant (réseau de surveillance) ; elle réglemente les procédures de demande d'autorisation ; enfin, elle fixe les limites d'émission par type de secteur industriel. Parmi les éléments nouveaux introduits en février 1983 dans ce texte on peut noter la fixation de limites à l'émission de substances cancérigènes et pour les polluants qui retiennent ici notre attention, l'introduction du calcul de l'impact de l'installation sur son environnement par l'utilisation d'un modèle de diffusion permettant d'évaluer la pollution additionnelle engendrée.

Le décret du 23 juin 1983, quant à lui, fixe en détail les prescriptions que doivent satisfaire les installations visées pour être autorisées. L'exposé des motifs et le commentaire qui accompagnaient le projet de décret lui-même éclairent et précisent les conceptions et les objectifs du gouvernement fédéral : on y indique notamment que les dispositions jusqu'alors en vigueur (T.A.Luft de 1974) pour protéger la santé de l'homme étaient insuffisantes pour assurer la protection des végétaux et écosystèmes ; il y est explicitement dit que "les dégâts actuellement constatés et qui ne concernaient auparavant que des régions limitées ont nécessité l'adoption de mesures de réduction à l'émission".

La raison et l'objectif du dispositif nouveau sont ainsi affirmés sans ambages : c'est le dépérissement des forêts et les agents polluants auxquels ce mal est attribué. Il reste bien sûr que ces nouvelles dispositions contribuent nécessairement aux autres objectifs de lutte contre la pollution atmosphérique, qu'elle soit de proximité ou qu'elle soit spécifiquement liée aux effets sur la santé humaine (normes sur les métaux lourds).

Le décret se divise en six parties dont deux principales, l'une portant sur la construction et le fonctionnement des installations nouvelles, l'autre portant sur les installations anciennes. Il contient des limites d'émission pour les particules, les métaux lourds (As, Pb, Cd, Co, Ni), le dioxyde de soufre, les oxydes d'azote et les halogènes (chlore, fluor et leurs composés). Les méthodes de surveillance et de mesure de la qualité des rejets gazeux sont précisées. La mesure en continu des particules, des NOx et du SO2 est obligatoire pour les grandes installations. Des règles sont données pour la présentation des résultats de mesure et leur interprétation (notamment en cas de dépassement).

---

(1) Technische Anleitung, zur Reinhaltung der Luft (T.A. Luft) ce qui correspond en France à un circulaire du Commissaire de la République ou à une instruction technique ;

(2) et complétée en juillet 1985 (3ème partie, mise en conformité des installations existantes).



La distinction entre installations nouvelles et anciennes est l'un des éléments les plus marquants du dispositif. Ces dernières se voient imposer des normes certes moins rigoureuses mais qui, dans bien des cas, entraîneront en fait l'arrêt d'exploitation à terme plutôt que l'adaptation aux normes qui serait trop onéreuse, lorsqu'on a à faire à des installations dépassées techniquement ou particulièrement polluantes. Ainsi, un décal est laissé, calculé en nombre total d'heures de fonctionnement résiduel en ce qui concerne les émissions d'oxydes de soufre : pour moins de 10.000 heures, les limites à l'émission sont celles fixées dans l'arrêté d'autorisation, entre 10.000 et 30.000 heures, les émissions ne doivent pas dépasser  $2.500 \text{ mg/Nm}^3$  ; au delà de 30.000 heures, ce sont les normes pour les nouvelles installations qui sont applicables (1).

Le texte de présentation ci dessus évoqué précise ce point dans les termes suivants :

- " Si l'utilisateur d'une vieille installation se voit conduit à adopter une technique de désulfuration coûteuse, il est autorisé à rechercher la meilleure solution technique à son cas particulier. Il peut soit transformer son installation en une installation moins polluante, soit ne l'utiliser que très rarement, soit utiliser un combustible pauvre en soufre, soit l'équiper comme une installation neuve et de ce fait ne plus avoir de contrainte quant à la durée de vie de son installation. Des exceptions peuvent être prises si les équipements nécessaires sont très onéreux. L'idée de ce texte est d'arrêter ou de réduire l'activité des installations dépassées techniquement et particulièrement polluantes".

Les dispositions transitoires qui permettent aux installations anciennes de fonctionner dans la limite des quotas d'heures indiqués (en ce qui concerne les émissions d'oxyde de soufre) seront applicables jusqu'au 1er avril 1993, soit pendant près de 10 ans après l'entrée en vigueur du décret intervenu le 1er juillet 1983. Il est à noter que l'utilisateur est tenu, dans l'année qui suit cette dernière date, d'indiquer la durée de vie de son installation.

D'importantes obligations de mesure des polluants, notamment en continu, sont prévues. Elles sont applicables depuis le 1er juillet 1985 pour les installations neuves et à partir du 1er juillet 1988 pour les anciennes.

Les normes d'émission elles-mêmes sont fixées pour les particules, le CO, les NOx et les SOx.

---

(1)  $400$  ou  $650 \text{ mg/Nm}^3$  suivant les techniques applicables pour les combustibles solides ou liquides.

En se cantonnant pour le moment aux seules installations nouvelles, on retiendra que les limites sont les suivantes (pour les 300 MW et plus en ce qui concerne le SO<sub>2</sub> pour les combustibles solides et liquides) :

	Combustibles solides	Combustibles liquides	Combustibles gazeux
Emissions polluantes Particules en mg/Nm <sup>3</sup>	50	50	5
SO <sub>2</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	400 ou 650 (1) et % de S dans rejet < 15 %	400 ou 650 (1) et % de S dans rejet < 15 %	35 (2)
NO <sub>x</sub> mg/Nm <sup>3</sup>	900 (3)	450 (3)	350 (3)
	200 (4)	150 (4)	100 (4)

(1) si la teneur en soufre du combustible est très élevée ou varie beaucoup ;

(2) 5 pour le gaz liquéfié 100 pour le gaz de cokerie ;

(3) valeurs prévues dans le texte du décret de 1983, remplacées en 1984 par les valeurs indiquées ci-dessous

(4) nouvelles valeurs beaucoup plus sévères, décidées par les Ministres de l'Environnement des "länder" et gouvernement fédéral le 5 avril 1984.

Les limites ainsi déterminées dans le décret doivent être appréciées compte tenu de possibilités de dérogations prévues par exemple pour le SO<sub>2</sub> explicitement en ce qui concerne les installations entre 100 et 300 MW équipées de foyer à grille ou à charbon pour lesquelles les émissions peuvent aller jusqu'à 2 000 mg/Nm<sup>3</sup>, ou pendant une durée d'une année maximum, lorsqu'il est prouvé que pendant une année aucun charbon pauvre en soufre n'est disponible, la limite étant alors fixée à 2 500 mg/Nm<sup>3</sup>. Un sort particulier est réservé sous certaines conditions aux installations de combustion couplées à la fois à une centrale thermique et à un réseau de chauffage ; la norme d'émission de SO<sub>2</sub> est dans ce cas de 2 000 mg/Nm<sup>3</sup>.

D'une manière plus générale, il faut souligner que ce sont les autorités du Land concerné qui fixent l'état de la technique lequel constitue la référence à partir de laquelle le projet d'installation est examiné. Le paragraphe 33 du décret relatif aux autorisations d'exception précise d'ailleurs que :

"L'administration locale peut prendre des mesures d'exception tenant compte de chaque cas particulier :

- si certaines instructions du décret ne peuvent être respectées sans dépenses excessives,

- dans le cas où la technique du moment ne permet pas de respecter ces instructions".

En ce qui concerne les anciennes installations, il est par ailleurs indiqué dans les dispositions transitoires que si la mise en conformité ne peut être réalisée pour des causes indépendantes de l'utilisateur de l'installation, dans une période de cinq ans après l'entrée en vigueur de ce décret, l'administration peut consentir une exception.

La fermeté des pétitions de principe et la rigueur des dispositions peuvent être aussi tempérées par la pratique elle-même. Une illustration en est fournie par l'affaire de la centrale de Buschhaus. La voici telle qu'elle a été relatée dans le numéro de "notes et études documentaires" consacré aux pays d'Europe occidentale en 1984-1985 (1).

"Le 28 juin 1984, le Bundestag décide que la nouvelle centrale thermique de Buschhaus en Basse Saxe, à la frontière de la RDA, ne devra pas entrer en service sans installations de désulfuration car elle devrait traiter du charbon à haute teneur en soufre. Contrairement à cette résolution, le Gouvernement fédéral et le Gouvernement de la Basse-Saxe décident, en juillet, la mise en service de la centrale sans attendre la construction des filtres spéciaux prévus pour 1987. Les deux Gouvernements veulent ainsi encourager l'emploi dans une région qui connaît des difficultés économiques. Très attaché à l'installation de désulfuration, le FDP est mécontent, le Bundestag n'apprécie pas que ses recommandations soient si peu respectées, le SPD et les Verts profitent de la confusion pour demander une réunion extraordinaire du Bundestag en plein été, le 31 juillet. Accepté par 265 voix contre 195, le compromis mis au point prévoit qu'en attendant d'être dotée des filtres spéciaux la centrale ne pourra brûler que du lignite et non du charbon à haute teneur en soufre pour laquelle elle a été conçue. L'arrêt d'une des centrales les plus anciennes sur le même site et le ralentissement de la seconde dotée d'ici 1986 d'un procédé spécial,

---

(1) sous la direction d'Alfred Grosser N° 4783 - 1985

permettront réduire immédiatement le taux de dioxyde de soufre. Le conflit de Buschhaus révèle l'écart qui existe entre les déclarations officielles sur la nécessaire protection de l'environnement et la politique réellement mise en application. Elle a laissé apparaître une fois encore le manque de coordination dans le travail gouvernemental. Le tribunal de Braunschweig a finalement retardé la mise en exploitation de Buschhaus en déclarant que la protection de la santé était plus importante que des considérations économiques immédiates."

Après une "mise sous cocon", la centrale a été raccordée effectivement au réseau le 30 juillet 1985. Simultanément la centrale voisine d'Offleben 1 était arrêtée, ce qui répondait à l'une des conditions mises l'été précédent à la mise en fonctionnement de la centrale de Buschhaus.

Les émissions de  $SO_2$  qui s'élevaient pour l'ensemble du site à 145 000 T/an (49 000 T pour Offleben 1 et 96 000 T pour Offleben 2) seront désormais de 120 000 T/an pour Buschhaus et Offleben 2 (soit-17 %).

En 1986, des installations de désulfuration partielle sur les blocs A et B d'Offleben 2 diminueront légèrement cette masse pour la ramener à 113 500 T/an. L'Etat fédéral pour ce faire, met à la disposition des houillères du Brunswick 50 millions de DM. Le bloc d'Offleben 2 et Buschhaus seront ensuite équipés du procédé Wellman-Lord, très performant. Pour ce faire, l'Etat fédéral et le Land de Basse Saxe apportent une aide de 112 M de DM (52 au maximum à la charge du Land) pour Buschhaus, de 80 M de DM pour le bloc C de Offleben (Etat fédéral seul).

Le terme même de "grande installation de combustion" qui a ensuite été repris dans le projet de directive européenne n'est pas sans imprécision. Sa définition a même été l'un des éléments discutés en Allemagne pendant la période qui a précédé la publication du décret. Il doit être noté également que le décret ne s'applique pas aux installations d'incinération de déchets, aux installations de chauffage des fours à coke, aux turbines à gaz et aux installations de "post-combustion", ni aux installations de combustion dans lesquelles la chaleur produite sert à sécher ou à réchauffer certains produits ou dans lesquelles les gaz de combustion sont introduits dans une turbine à gaz comme gaz de combustion.

Les coûts qu'entraîne cette nouvelle réglementation sont naturellement difficiles à appréhender. Dans un premier temps il semble que l'on en ait eu une appréciation sereine ainsi qu'en témoigne la phrase ci-après extraite du texte de présentation du décret :

"Le surcoût consécutif à l'application de ce texte ne peut être chiffré exactement, mais il devrait être faible si l'on considère surtout que c'est le land concerné qui fixe l'état de la technique dans l'arrêté d'autorisation et qui, selon l'importance de la pollution de fond, peut imposer des valeurs limites plus basses. Des amendes pourront être infligées en cas de non respect des conditions d'autorisations".

Cette indication témoigne aussi de la souplesse avec laquelle la mise en oeuvre de dispositif a été envisagée.

Toutefois, d'autres précisions montrent que l'ampleur des investissements n'a pas été ignorée, tout au moins pour les installations nouvelles:

"Les investissements nécessaires pour l'équipement de désulfuration des centrales thermiques au charbon en vue de respecter la limite de  $400\text{mg}/\text{Nm}^3$ , seront en DM. 1982, de l'ordre de 6 à 10 milliards de DM. Le coût annuel de fonctionnement de ces installations s'élèvera à 2-3 Md de DM.

Ces coûts devraient conduire à des surcoûts de production de l'électricité de l'ordre de 1,1 à 2,2 Dpf/KWh pour les installations nouvelles.

Dans le cas de l'équipement d'une vieille installation il faut majorer ces surcoûts de 20 %. Donc ces exigences n'entraînent pas des dépenses démesurées par rapport aux instructions existantes (TA-Luft 1974)".

Au cours des contacts qu'il a eu avec des représentants du gouvernement fédéral, votre Rapporteur s'est entendu indiquer que 75 % des installations anciennes devront être modifiées, que sur 10 ans, les exigences de désulfuration et de dénitrification coûteront 30 milliards de DM ; le renchérissement de l'électricité serait de 2 à 3 pfennigs le kWh.

Le CITEPA (1) donne une estimation des capacités de production électrique en République Fédérale d'Allemagne qui devront être modifiées ou adaptées pour répondre aux prescriptions du décret :

"La réglementation proprement allemande obligera à désulfurer les installations existantes. Si on ne désulfurait que 50 % des centrales thermiques, neuves ou modifiées entre 1985 et 1995, on retirerait 888 kt par an de  $\text{SO}_2$  au lieu de 1 183 exigées.

Les capacités de désulfuration nécessaires sont estimées à 33 000 MWe dont 4 700 MWe en service, 5 100 MWe en construction et 23 200 MWe en commande. La dépense d'investissements peut être estimée à 140 \$/KWe soit une dépense de 4,6 milliards de \$ pour les centrales thermiques auxquels il faudrait ajouter 20 % environ pour tenir compte des installations industrielles.

Les sommes trouvées sont comparables à celle annoncée par la preuve POWER de novembre 1984 : 5 milliards de dollars (ce dernier chiffre comprend vraisemblablement la réduction des oxydes d'azote).

En résumé il apparaît que la nouvelle réglementation allemande déterminée en grande partie en fonction des agents de pollution mis en cause dans le dépérissement forestier, impose des normes sensiblement plus contraignantes que précédemment à la majorité des grandes installations de combustion".

---

(1) se référant notamment aux informations données par la revue allemande "ENERGIE"

Mais on a prévu une grande souplesse de mise en oeuvre, soit par l'application de certains concepts laissés aux länder, soit pour toute une série de situations où des dérogations, quelquefois considérables en pourcentages ou dans le temps, sont prévues. Il y a eu prise en compte, fort légitime, de l'existence de ressources nationales considérables en charbon et en lignite, et celle de certaines technologies de dépollution où l'Allemagne a sans conteste une position de premier plan en Europe.

Les coûts avancés paraissent fort importants mais on ne doit pas oublier que la part du nucléaire reste faible en Allemagne dans la production d'électricité, alors que le charbon y joue naturellement un rôle tout à fait dominant.

## 2° Une impulsion nouvelle : la proposition de directive communautaire

En 1982, la Communauté européenne avait déjà adopté, ainsi que cela a été précédemment indiqué, des dispositions visant à lutter contre la pollution atmosphérique et plus précisément à assurer la qualité de l'air au regard des principaux polluants chimiques. Certaines directives étaient déjà prises (dioxyde de soufre et poussières) d'autres étaient en préparation (oxyde d'azote).

En 1982-1983, alors que le débat sur le "mal des forêts" se développait rapidement en Allemagne et sur un ton dépourvu de sérénité, le gouvernement fédéral fit savoir à la Communauté européenne qu'il s'apprêtait à introduire dans sa réglementation interne des dispositions beaucoup plus rigoureuses que celles existantes alors : le décret sur les grandes installations de combustion parut effectivement le 23 juin 1983.

Dans des délais particulièrement brefs, surtout pour un domaine aussi complexe, un projet de directive communautaire ayant le même objet que le décret allemand fut élaboré puis modifié à deux reprises et présenté le 15 décembre 1983 (1). Cette fois ci, il ne s'agissait plus d'établir comme pour le dioxyde de soufre des normes de qualité de l'air ambiant mais de limiter et de contrôler à l'émission les polluants (SO<sub>2</sub>, poussières, NO<sub>x</sub>).

La rapidité d'élaboration de cette proposition s'explique par le fait qu'elle est fortement inspirée du décret allemand, ce que son exposé des motifs souligne d'ailleurs.

Ce sont les installations de plus de 50 MWth qui entrent dans le champ d'application de ce texte ; le terme "installation" s'entend pour l'ensemble des foyers qui peuvent être raccordés à une seule cheminée. Sont exclus du champ d'application les dispositifs de post combustion et les installations destinées à sécher ou à traiter thermiquement des objets ou matériaux par contacts avec les gaz chauds, à l'exception des cimenteries, briquetteries et des installations de grillage de minerais.

Le dispositif de la proposition de directive repose sur deux articles essentiels et complémentaires :

- l'article 3 qui fixe à chacun des états membres des objectifs de

---

(1) "Proposition de directive du Conseil relative à la limitation des émissions de polluants dans l'atmosphère en provenance des grandes installations de combustion".

réduction pour les grandes installations à l'horizon 1995 (sur la base des émissions de l'année 1980) : 60 % pour le dioxyde de soufre, 40 % pour les poussières et 40 % pour les oxydes d'azote.

- l'article 4 qui impose le respect des normes d'émissions pour chacun de ces polluants aux installations nouvelles ou anciennes qui sont "substantiellement modifiées". Les normes sont différentes pour chacune des trois formes sous lesquelles se trouvent les combustibles : solides (charbon, lignite), liquide (pétrole), gaz (gaz naturel, gaz de cokerie, etc...) ; pour les NOx elles sont beaucoup plus sévères pour la forme gazeuse, intermédiaires pour la forme liquide et beaucoup moins sévères pour les combustibles solides. L'exposé des motifs de la directive indique que ces valeurs limites ont été choisies de manière à ne pas modifier la situation compétitive entre les différents combustibles, notamment entre le charbon et le pétrole.

Une autre distinction est introduite suivant la puissance des installations (de 50 à 100 MWth, de 100 à 300 MWth) la sévérité des normes étant d'autant plus forte que les installations sont plus puissantes ; cela s'explique par le fait que la majeure partie de la pollution (soufrée notamment) est imputable aux plus grandes installations et que les perspectives d'évolution (cf supra) montrent que c'est la pollution ayant cette origine qui risque de croître le plus au cours des 15 prochaines années, tant en valeur absolue qu'en pourcentage (à l'échelle du continent). Au delà de 300 MW on a à faire essentiellement à des centrales thermiques alors qu'entre 50 et 300 MW on enregistre un nombre important de chaudières industrielles pour la production de chaleur ou la production mixte force-chaleur.

Enfin une autre distinction est établie par la proposition de directive: les normes pour le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote seront beaucoup plus sévères à partir de 1996, en particulier pour ces derniers. Il doit être indiqué que cette sévérité a été renforcée par les modifications intervenues en mars 85 avec le nouveau projet de directive (dernier état de la question) qui prend en compte certaines propositions d'amendements faites par le Parlement européen en décembre 1984.

Originellement (1983) la date d'application des normes a été fixée au 1er janvier 1985 (1). On semblait alors vouloir aboutir très vite. Il apparaît que cette volonté s'est émoussée ou qu'en tout cas, la possibilité de la mettre en pratique ne soit pas encore accessible puisque plus de deux ans après la parution de la première version, le Conseil européen de juin dernier a constaté la nécessité d'approfondir les analyses et les études techniques. Sans apprécier ici la portée et la validité du dispositif de la Directive, ce qui sera fait plus loin (cf. infra 4° et 5°) on voudrait en souligner les mécanismes essentiels.

L'objectif d'une reconquête de la qualité de l'air est fondée sur les deux mécanismes complémentaires que sont les exigences de réduction en pourcentage à une date donnée, et la limitation des émissions pour chaque installation nouvelle ou substantiellement modifiée. Dans les faits, certaines installations existantes devront être modifiées pour que les objectifs globaux de diminution soient atteints.

---

(1) La dernière version (mars 1985) de la proposition de directive fait encore état de cette date.

**Valeurs limites d'émission de poussières, de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote en gaz résiduaire  
rapportés à des conditions normalisées (Annexe N° 1 de la proposition de directive COM (85) 47 final)**

Type de combustible	Puissance thermique (MW th)	Valeurs limites d'émission en mg/m <sup>3</sup> pour :				
		Poussières	Dioxyde de soufre (1)		Oxydes d'azote (2)	
			à.p. du 1.1.1985	après 31.12.1995	à partir du 1.1.1985	après le 31.12.1995
SOLIDE	> 300 300-100 < 100	< 50	< 400 (3) < 1200 < 2 000	< 250 (4) < 1 200 (4) < 2 000 (4)	< 650 (3) < 800 < 800 en général mais < 1 300 pour les foyers à charbon dur avec extraction des cendres fondues	< 200 (4)(400 dans le texte de 1983) 400 (4) en général mais < 800 pour les foyers à charbon dur avec extraction des cendres fondues.
LIQUIDE	> 300 300-100 < 100	< 50	< 400 < 1 700 < 1 700	< 250 < 1 700 < 1 700	< 450	< 150 (220 dans le texte de 1983)
GAZEUX	> 300 300-100 < 100	< 5 en général mais < 10 pour le gaz des hauts fourneaux et < 50 pour les gaz sidérurgiques qui peuvent être utilisés ailleurs.	< 35 en général mais < 100 pour le gaz de cokerie et < 5 pour le gaz liquéfié.		< 350	< 100 (180 dans le texte de 1983)

- (1) La part de trioxyde de soufre contenue dans les gaz résiduaire doit être prise en considération.
- (2) *Exprimés comme dioxyde d'azote.* La mesure continue du dioxyde d'azote n'est pas nécessaire lorsqu'il représente moins de 5 % des émissions d'oxyde quand le dioxyde doit être pris en compte par un calcul simple.
- (3) Cette valeur limite s'applique à toutes les installations en lit fluidisé sans tenir compte de la capacité thermique.
- (4) Pour les installations de combustion en lit fluidisé la Commission fera plus tard des propositions appropriées.



En effet, lorsque des installations très polluantes représentent une proportion substantielle de la puissance installée nationale et que leur durée résiduelle de fonctionnement est encore importante le respect des normes d'émission prescrites à l'article 4 ne suffira pas pour atteindre les objectifs de réduction ; on verra que c'est notamment le cas de la Grande-Bretagne pour le SO<sub>2</sub>.

Si l'intérêt des normes est donc réel, il est clair que la diminution substantielle des agents de pollution atmosphérique (qui concerne à la fois la longue distance et la proximité) passe aussi par des réductions en pourcentages globaux. Bien entendu, ces objectifs peuvent aussi être atteints par un remplacement anticipé de vieilles installations par de nouvelles alors conformes aux normes ; c'est dans cette voie que l'Allemagne s'oriente pour l'essentiel, en raison notamment des dispositions spécifiques contenues dans son décret du 23 juin 1983.

Mais il doit être bien souligné que, contrairement à ce qui avait été envisagé au début de l'élaboration du projet de directive, il n'y a pas, dans ce dernier texte, d'obligation directe de mise aux normes d'installations anciennes ; cela est important dans le cas de la France puisque la part très rapidement croissante de l'électricité d'origine nucléaire lui permet sans modification des installations maintenues en activité, d'atteindre et même de dépasser largement pour le SO<sub>2</sub> les objectifs de réduction fixés par l'art. 3.

L'exposé des motifs de la proposition de directive met en valeur cette souplesse du dispositif (1):

"Cette approche confère une grande flexibilité aux Etats membres pour parvenir aux objectifs globaux fixés. Ils peuvent à leur gré appliquer soit une politique de recours systématique aux valeurs limites à l'émission à imposer aux installations anciennes, soit prendre des mesures sélectives en concentrant les efforts sur certaines de ces installations ou promouvoir une substitution accélérée par des installations nouvelles utiliser davantage de combustibles peu polluants, avoir recours à d'autres énergies (nucléaire) ou utiliser des combinaisons adaptées à leur situation".

L'article 3 prévoit d'ailleurs que les états membres établissent avant le 1er décembre 1986, des programmes de réduction progressive des émissions annuelles totales précisant notamment les mesures avec leur modalité de mise en oeuvre ainsi que les échéanciers. La Commission des Communautés organise régulièrement un examen des programmes en vue d'une mise en oeuvre harmonisée.

La Commission des Communautés pourra en effet accorder des dérogations temporaires à l'une ou plusieurs des dispositions de la directive à un état membre dans différents cas et principalement dans deux (art. 7).

Il s'agit en premier lieu du cas où la structure de la production d'énergie dans un état repose pour une part substantielle sur l'utilisation de combustibles solides indigènes si soufrés que la désulfuration permettant de respecter les normes d'émission serait "d'un coût disproportionné".

Il s'agit en second lieu de la situation où les émissions annuelles totales de la période de référence sont faibles dans un état membre par rapport aux autres "afin de lui permettre de réduire les exigences en matière de réduction globale des émissions telles qu'elles sont déterminées à l'art.3".

D'autres possibilités de dérogation aux normes de l'art.4 sont également prévues (art.8) :

- en cas de panne du dispositif d'épuration des gaz résiduaux (pour dix jours successifs au maximum et avec un cumul annuel d'un mois) ;

- en cas de "situation de pénurie grave" de combustible peu soufré (durée maximum de 6 mois).

Enfin, le projet de directive comporte des obligations de mesures très détaillées pour les émissions des installations neuves ou anciennes dont la durée d'utilisation restante prévue est supérieure à 10 000 heures. Ainsi, on devra mesurer en continu et enregistrer les concentrations de dioxyde de soufre, de poussières et d'oxydes d'azote dans les gaz de combustion. 97 % des mesures de trente minutes devront être inférieures à 120 % de la valeur limite et aucune supérieure à 200 %. En cas de mesure isolée, aucune d'entre elles ne doit dépasser la valeur limite d'émission ; cette harmonisation de l'évaluation des résultats de mesure s'inspire de la réglementation allemande.

La directive précise les conditions techniques normalisées auxquelles doivent se rapporter les valeurs limites afin d'éviter qu'elles ne soient respectées que par une simple dilution supplémentaire des gaz rejetés.

Les autorités compétentes des états membres ont la charge d'établir des prescriptions relatives à l'emplacement des stations de mesures aux appareils et aux méthodes.

L'atteinte des objectifs et le respect des valeurs limites fixés par la proposition de directive implique le recours à des procédés techniques existants déjà mis en oeuvre pour certains, expérimentaux, tout au moins en Europe, pour d'autres. C'est sur les différentes technologies applicables à tous les stades du processus industriel qu'il convient de donner maintenant quelques informations.

### 3° Les moyens techniques

Les procédés permettant de limiter les émissions polluantes étant nombreux et pour certains d'une grande complexité, on ne donnera pas ici une présentation détaillée de chacun d'entre eux ; on rappellera les diverses catégories de procédés en insistant davantage sur leurs avantages et inconvénients, leur niveau de développement et les perspectives, notamment pour ce qui concerne la France et les états membres de la Communauté.

#### 3°-1- Les poussières

Le dépoussiérage des gaz de combustion des grandes unités est aujourd'hui une pratique courante en Europe, à partir de procédés que l'on peut considérer comme bien au point. Seuls deux procédés sont envisageables dans le cadre du projet de directive en raison de leur très grande efficacité (plus de 99,5 % des poussières enlevées, action efficace sur les poussières fines) :

- Le dépoussiérage électrique (appelé souvent électrostatique, ou encore électrofiltres). Les poussières électriquement chargées vont se déposer sur des électrodes de signe opposé.
  
- Le dépoussiérage à manches (dit aussi à couche filtrante) dont le principe est le même que celui des aspirateurs ménagers.

Pour les grandes installations de combustion, ce sont plutôt les électrofiltres qui sont préférés, du moins en Europe.

Les exigences de mesures prévues par la directive soulèvent des difficultés qui sont abordées plus loin (cf infra 5) "une réponse adaptée ? "

#### 3°-2- La limitation des émissions de SO<sub>2</sub> et NO<sub>x</sub>

On envisagera d'abord la désulfuration étant entendu que certains procédés peuvent contribuer aussi à la dénitrification avec ou sans adaptation. Les techniques permettent d'intervenir :

- avant la combustion sur le combustible lui-même (charbon, hydrocarbure)
- pendant la combustion avec des procédés de combustion à faibles émissions
- après la combustion en désulfurant les gaz de combustion.

Plusieurs observations préliminaires doivent être faites :

- la plupart des techniques font appel à de "simples" réactions de neutralisation chimique du  $\text{SO}_2/\text{SO}_3$  contenu dans les gaz de combustion. L'utilisation des réactions chimiques plus sophistiquées ou l'adsorption physique sur charbon actif sont encore à l'état de développement.
- les procédés de réduction pendant la combustion permettent également de réduire la formation des  $\text{NO}_x$  dans des proportions tout-à-fait intéressantes.
- les procédés par neutralisation conduisent toujours à la formation de sulfites (problème de pollution des eaux) ou, mieux, de sulfate (gypse plus ou moins pur et de structure cristalline plus ou moins intéressante) que l'on peut, en principe, valoriser. Ces procédés sont dits "à rejet" .
- l'intérêt d'une technique de réduction des émissions de  $\text{SO}_2$  par neutralisation chimique se caractérise par la connaissance du rapport Ca/S. Idéalement (c'est-à-dire dans les conditions stoechiométriques) ce rapport devrait être égal à 1. En fait, il varie pour les procédés classiques de 1,3 à 3 ou 4. Il n'est pas utile de rappeler que l'on peut obtenir une efficacité spectaculaire à condition d'accepter un rapport Ca/S de 5 ou 10, voire 15, de consommer une quantité monumentale de réactif et de rejeter une quantité de déchets en rapport direct.

### 3°-2-1 L'action sur le combustible

Pour le charbon, l'épuration physique est un moyen utilisé depuis longtemps et tout à fait au point ; elle permet d'améliorer le pouvoir calorifique ce qui est d'ailleurs son objectif principal. Les techniques de lavage ont une efficacité limitée qui ne pourrait être accrue qu'en changeant la phase sous laquelle se trouve le carbone (gazéification). Il apparaît que le lavage des charbons français orienté vers l'enlèvement des pyrites ne se justifie pas.

Les procédés d'épuration chimique n'ont pas atteint le stade de la commercialisation.

Pour les combustibles gazeux, les techniques sont bien au point et répandues, notamment pour la récupération des gaz acides de raffineries. On pourrait éventuellement avoir recours à ces techniques pour la désulfuration des effluents provenant de la gazéification du charbon.

En ce qui concerne les combustibles liquides, on doit rappeler que le soufre est concentré dans les fractions les plus lourdes des fiouls et dans les résidus ; la difficulté et le coût de l'extraction sont d'autant plus marqués que ces fractions sont plus lourdes.

L'hydrodésulfuration est un procédé couramment utilisé pour le gazole et le fioul domestique ; seuls quelques pays la pratiquent pour les résidus lourds de la distillation du pétrole. Elle ne semble pas, pour des raisons d'efficacité et de coût, appelée à un développement.

Pour les combustibles liquides non conventionnels (huiles lourdes, liquéfication du charbon, schistes bitumineux) les opérations de revalorisation de fractions lourdes en fractions légères intègrent la désulfuration, cette dernière opération ne peut faire l'objet d'une évaluation distincte.

### 3°-2-2- L'action pendant la combustion

Deux techniques sont envisagées ici : la combustion en lit fluidisé et l'addition d'absorbants. Elles peuvent se combiner et ce, avec des résultats très appréciables. La définition suivante du principe est donnée par le Professeur J.F. LARGE :

"La combustion en lit fluidisé consiste à brûler du charbon ou d'autres combustibles gazeux, liquides, pâteux ou solides dans un lit de solides granulés plus ou moins fins (200 micromètres à quelques millimètres) constitué d'une matière inerte (sable, cendre, absorbant) et fluidisés par de l'air ou un mélange d'air et de fumées recyclées".

Le lit fluidisé ressemble à un liquide en ébullition. Si la vitesse des gaz est convenable (2 à 3 mètres/seconde) et la granulométrie adaptée, le lit bouillonnant reste en place. En pratique il y a toujours des "envols" de fines particules que l'on sépare des gaz brûlés par des cyclones et retourne dans le lit. C'est le principe du "lit dense".

Dans certains procédés, dits à "lit circulant", on accepte des envois importants qui sont recueillis, recyclés en partie et l'excès évacué. Un lit circulant est plus coûteux qu'un lit dense, mais permet un meilleur contact entre les phases solides et gazeuses, une meilleure utilisation de l'absorbant, une combustion plus totale du carbone, et quelques autres avantages dont une faible émission de NOx.

L'excellent contact entre l'air et le combustible dans un lit fluidisé rend ce procédé apte à brûler les combustibles les plus pauvres (déchets de mine à 80 % de cendres). C'est cette propriété qui jusqu'à la période récente a favorisé le développement des lits fluidisés. L'adjonction de chaux ou de carbonate de calcium (l'absorbant) dans le lit permet une bonne fixation du dioxyde de soufre à une température optimum de 850°C. On peut alors espérer une fixation du soufre de 80 % à plus de 90 %, sous forme de sulfate de calcium évacué avec les cendres.

Un autre facteur important est l'efficacité du réactif alcalin. Un excès est nécessaire, particulièrement dans le cas des lits denses : pour avoir une bonne efficacité (90 % du soufre enlevé) il faut ajouter environ 3 fois plus de carbonate de calcium en molécules qu'il y a de soufre à enlever (Ca/S = 3).

Dans des lits circulants où l'absorbant est recyclé intensément, l'efficacité est meilleure et un Ca/S de 1,0 à 1,5 est souvent suffisant. Ajoutons que l'alcalinité naturelle du charbon réduit le besoin en calcaire ajouté.

Les lits fluidisés présentent un avantage supplémentaire important : leur basse température de combustion (850°C) a pour conséquence que la formation des oxydes d'azote est faible ; ainsi les foyers à lits fluidisés devraient permettre de respecter les normes d'émission d'oxydes d'azote pour la période 1986-1995.

Un inconvénient est que le sulfate de calcium formé et l'excès de carbonate accroissent le volume des cendres à évacuer, mais cet inconvénient est commun à de nombreux autres procédés de désulfuration, avec l'avantage pour les lits fluidisés que les résidus sont une poudre sèche et non une boue ou une pâte comme c'est le cas pour les principaux procédés de désulfuration par voie humide. Par contre, les résidus en question sont assez difficilement valorisables.

Un autre inconvénient des lits fluidisés est que leur extrapolation vers les très grandes capacités est difficile. On sait construire des foyers donnant quelques centaines de tonnes heures de vapeur, mais pas de la taille qui conviendrait pour les centrales thermoélectriques. Le lit fluidisé devrait convenir pour les moyennes puissances (jusqu'à 300 MWth) particulièrement avec les combustibles difficiles.

Le plus vieux procédé à lit fluidisé d'usage industriel généralisé est français : c'est le procédé IGNIFLUID, diffusé par Five-Cail-Babcock. Il est dit à "lit fluidisé chaud" ou "à cendres sèches", car il opère à 1100, 1200°C. On a constaté que ses émissions d'oxydes d'azote sont faibles, et des essais sont en cours qui laissent espérer que l'on pourra désulfurer au moins partiellement par adjonction de carbonate de calcium. Pour ces lits fluidisés circulants, l'efficacité attendue est de l'ordre de 80 % à 90 % et la valeur du Ca/S est toujours élevée : 3 à 4 pour les lits denses, 1 à 1,5 pour les lits circulants.

L'injection de réactifs alcalins seule, utilisée notamment pour le lignite, ne semble pas devoir dépasser 60 à 70 % d'efficacité pour le SO<sub>2</sub> avec un rapport Ca/S bien supérieur à 1. Mais l'injection dans le foyer est imbattable sur le plan des investissements. Les coûts opératoires sont assez élevés et on est tenté d'envisager un tel procédé pour des installations ne fonctionnant qu'un petit nombre d'heures dans l'année, ou encore pour une petite installation dont le coût d'une désulfuration "vraie" serait prohibitif. (1)

### 3°-2-3 La réduction des émissions après la combustion

La neutralisation chimique se fait en phase liquide pour la plupart des procédés (voie humide et semi-sèche)

- Pour la voie humide, la neutralisation se fait après le dépoussiérage et conduit à des boues de sulfites ou, mieux, si l'oxydation est suffisante, de sulfates. Ces boues sont soit rejetées dans le milieu naturel, soit éventuellement valorisées sous forme de plâtre. La neutralisation étant une réaction gaz/liquide à un rendement élevé (au moins 95 % avec un rapport Ca/S compris entre 1 et 1,5)

Ces techniques sont actuellement couramment commercialisées et utilisées aux Etats-Unis, au Japon et en République Fédérale d'Allemagne (2) ; leur fiabilité devient raisonnablement bonne bien que l'exploitation relève plutôt de l'industrie chimique.

---

(1) Pour des raisons techniques, l'injection est souvent alliée aux procédés de combustion "à bas NOx (technologie LIMB aux Etats-Unis : lime injection in multistage burners)

(2) En R.F.A., on a largement recours, par voie de licence aux procédés japonais, MITSUBISHI notamment.

Les problèmes majeurs rencontrés sont : la corrosion dont la maîtrise demande un savoir-faire certain, le devenir des boues qui fait dire à certains que ces techniques risquent de n'être qu'un transfert de pollution. Quelques procédés utilisent l'ammoniac comme neutralisant et conduisent à la production d'engrais.

Enfin, certains procédés sont dits "régénératifs" car ils permettent de reformer les produits neutralisants. Ces procédés produisent un sous-produit "moins inintéressant" ( $\text{SO}_2$  liquide) mais ils mettent en jeu des réactions chimiques plus délicates à conduire et ils consomment d'avantage d'énergie.

Pour la voie semi-sèche, le lavage précédemment utilisé est ici remplacé par l'atomisation fine d'une solution neutralisante dans les gaz de combustion ; ceux-ci évaporent l'eau et il en résulte une poussière sèche. La réaction neutralisante est une réaction gaz/liquide ; le rendement est donc encore bon. Le résidu (du sulfate) toujours solide, est retenu par un dépoussiéreur, généralement à manches. L'efficacité est de l'ordre de 80 à 90 % avec un rapport Ca/S de l'ordre de 1,5. Les résidus sont plus difficiles à valoriser car ils contiennent des cendres volantes.

Ces procédés, relativement récents, connaissent actuellement des développements rapides et sont généralement bien appréciés.

La neutralisation en phase solide (voie sèche) fait l'objet de procédés allemand et japonais qui sont encore au stade de la démonstration et qui seraient moins efficaces que les précédents.

Par ailleurs signalons que certains procédés font l'objet de recherches ou même de développement : réactions chimiques qui permettent d'obtenir du  $\text{SO}_2$  ou de l'acide sulfurique, l'adsorption par charbon actif dont le résidu est l'acide sulfurique.

Le tableau ci-après (1) donne une présentation des procédés de désulfuration des gaz.

---

(1) Source : Agence pour la qualité de l'air.

**Présentation schématique des procédés commerciaux disponibles de désulfuration des gaz de combustion**

<b>Procédé</b>	<b>Technique</b>	<b>Sous-produit ou déchet</b>	<b>Stade de réalisation</b>
<i>Epuration par voie humide</i> Chaux/calcaire	Absorption du SO <sub>2</sub> par une bouillie de chaux ou de calcaire	Boues d'épuration ou gypse marchand	Exploitation industrielle à grande échelle
Lessive de soude	Absorption du SO <sub>2</sub> au moyen d'une solution de soude caustique ou de carbonate de sodium (utilisable dans des conditions très spéciales par exemple dans des régions arides des Etats-Unis)	Eau résiduaire ou solution de lavage	Exploitation industrielle limitée
Procédés aux deux alcalis	Absorption du SO <sub>2</sub> par une lessive à base de soude, régénérée au moyen d'une solution alcaline calcique	Boue ou gypse marchand	Exploitation industrielle
Ammoniac (procédé Walther)	Absorption par l'ammoniac, puis oxydation en sulfate d'ammonium	Engrais à base de sulfate d'ammonium	Exploitation industrielle limitée
Oxyde de magnésium	Le SO <sub>2</sub> réagit avec une bouillie d'oxyde de sulfate d'ammonium	Soufre élémentaire ou acide sulfurique	Exploitation industrielle limitée
Wellman-Lord	Absorption du SO <sub>2</sub> par une solution de sulfite de sodium qui est ensuite régénérée et recyclée	Soufre élémentaire ou acide sulfurique. Petite quantité de sulfate de sodium	Exploitation industrielle
Citrate	Absorption du SO <sub>2</sub> par une solution de citrate de sodium. L'absorbant est régénéré et les composés obtenus à partir du SO <sub>2</sub> sont transformés en soufre élémentaires par réduction en phase liquide à l'aide de H <sub>2</sub> S	Soufre élémentaire	Démonstration
Carbonate aqueux	Absorption du SO <sub>2</sub> par une solution de carbonate de sodium déshydraté par pulvérisation ; l'absorbant épuisé est régénéré et recyclé	Soufre élémentaire	Démonstration
<i>Séchage par pulvérisation</i> Pulvérisation du séchage	Réaction d'une boue atomisée d'absorbant avec le SO <sub>2</sub> et séchage simultané	Décets secs particulaire	Exploitation industrielle
<i>Procédé à sec</i> adsorption sur charbon activé (Bergbau-Forschung)	Adsorption et désorption du SO <sub>2</sub> sur charbon activé	Soufre élémentaire	Démonstration



### 3°-3- La réduction des oxydes d'azote

Le mécanisme de formation des NOx dans les combustions est tout à fait différent de celui du SO<sub>2</sub>. En fait, on distingue deux origines principales de NOx :

- le "NOx thermique" dû à la combinaison chimique de l'azote et de l'oxygène de l'air à haute température ; en effet, toute combustion dégage des oxydes d'azote mais la formation ne devient importante qu'au delà de 1000°C.

- le "NOx du combustible" lié à la présence d'azote chimiquement combiné dans les molécules de fioul lourd et de combustible solide ; il peut présenter jusqu'à 70 % de l'émission totale de NOx.

Le tableau ci-après précise par quelques exemples les teneurs en oxydes d'azote des gaz de combustion :

#### **TENEUR EN OXYDES D'AZOTE DES GAZ DE COMBUSTION - QUELQUES EXEMPLES**

(en milligramme par mètre cube normal, exprimé en NO<sub>2</sub> et ramené à 3 % d'excès d'oxygène (gaz et combustibles liquides) ou 6 % (combustibles solides))

GAZ	mg/Nm <sup>3</sup>
Fours et chaudières de raffineries (France).....	200 à 300
Centrales thermiques.....	300 à 500
Chaudières industrielles.....	200 à 600
<b>FUELS OILS LOURDS</b>	
Fours de raffinerie.....	200 à 300
Chaudières de raffinerie.....	400 à 700
Centrales électriques.....	350 à 1300
Chaudières de chauffage urbain.....	400 à 800
<b>COMBUSTIBLES SOLIDES</b>	
Centrales thermiques à charbon pulvérisé.....	800 à 1400
Centrales thermiques à chauffe tangentielle.....	650 à 800
Centrales thermiques à cendres fondues.....	1500 à 2700

Pour résumer les principes d'action de réduction des NOx, on rappellera d'abord que la combustion en lit fluidisé, avec ou sans désulfuration associée, émet peu d'oxydes d'azote, ce qui est avantageux, et que le facteur principal de la formation d'oxyde d'azote est la température, ou plutôt le facteur température combiné à la durée de séjour des gaz à haute température. Un autre facteur est la concentration en éléments azoté (dans l'air et dans le combustible) et oxygéné.

On peut réduire la production d'oxydes d'azote en agissant sur les conditions de combustion ou en traitant les gaz de combustion. La voie préventive est évidemment préférable mais la seconde est parfois nécessaire parce que plus efficace (cas du Japon). En fait on distingue au total trois approches :

- modifications des conditions de fonctionnement de la chaudière ; celle-ci n'étant pas modifiée (ou très peu),
- modification de la chaufferie, plus ou moins profonde,
- dénitrification des gaz de combustion.

### 3°-3-1 La modification des conditions de combustion

La principale et la plus intéressante, parce qu'elle accroît le rendement thermique, est la réduction de l'excès à air au plus jusqu'aux limites permises par les règlements concernant les imbrûlés et l'oxyde de carbone. Cette limite est d'autant plus basse que la chaudière est mieux conçue et surtout mieux entretenue.

Deux autres voies sont le moindre préchauffage de l'air de combustion, ce qui entraîne une perte de rendement inacceptable et la réduction de la charge thermique qui entraîne une sous utilisation peu économique du matériel.

### 3°-3-2 La modification de la chaufferie

Les principales techniques consistent à effectuer par étape le mélange d'air combustible de façon à abaisser la température maximum et créer une zone pauvre en oxygène qui défavorise l'oxydation de l'azote libre ou combiné en oxyde d'azote.

On peut distinguer :

- l'introduction "étagée" de l'air : dans un foyer où des brûleurs sont disposés sur une paroi, on peut sous-alimenter en air les brûleurs inférieurs et suralimenter les rangées supérieures de façon que la moyenne reste convenable en excès d'air. De cette façon la partie inférieure de la flamme est réductrice (excès de combustible, manque d'oxygène), tandis que la partie supérieure est oxydante. Le problème est d'assurer une bonne combustion finale par un bon mélange des courants fluides de façon à limiter les imbrûlés.

- La recirculation des gaz de combustion : une partie de ces gaz est envoyée dans la flamme et joue le rôle du "ballast thermique". Le taux de recirculation ne peut guère dépasser 20 à 30 % sinon la flamme devient instable et fuligineuse.

- Les brûleurs à bas NOx : ces brûleurs incorporent les deux procédés ci-dessus. Les entrées d'air se font en 2 ou 3 endroits, l'air secondaire et l'air tertiaire ne rejoignant la flamme qu'au delà d'une zone réductrice (air primaire en défaut). De plus, le dessin du brûleur est tel que les gaz brûlés se recyclent en partie dans la flamme.

Il existe diverses techniques plus ou moins voisines de celles ci-dessus. Citons notamment les brûleurs à introduction "étagée" du combustible (et non plus de l'air) particulièrement efficaces, mais n'existant pour le moment que pour le gaz naturel.

Les brûleurs à bas NOx constituent la meilleure solution, relativement économique et efficace. La recirculation des gaz à partir de la cheminée est coûteuse en énergie. Ces divers procédés réduisent les émissions de NOx de 20 à 60 % et le plus souvent on cumule deux, parfois trois procédés dans la même chaufferie.

### 3°-3-3. La dénitrification des gaz de combustion

Bien que la littérature technique décrive de nombreux procédés, le plus répandu, et de loin (et seulement au Japon), est le procédé de réduction catalytique sélective qui consiste à réduire les oxydes d'azote par de l'ammoniac sur un lit catalytique fixe qui est le plus souvent constitué de pentoxyde de vanadium sur dioxyde de titane. Cette technique donne aisément 80 % d'efficacité sur les NOx. Associé aux procédés tels que combustion étagée, brûleurs bas NOx, on peut enlever 90 % des NOx.

En fin 1984, 160 usines japonaises étaient équipées de tels procédés.

Un autre procédé est la réduction sélective non catalytique. La chimie est la même que celle de la réduction sélective catalytique mais on compense l'absence de catalyseur par une température plus élevée (930 à 980°C), avec injection directe d'ammoniac et d'hydrogène dans le foyer aux points où la température est favorable. Ce procédé est économique mais ne réduit les oxydes d'azote que de 50 à 60 % et il est difficile à conduire. 25 unités de ce type fonctionnaient en 1981, la plupart aux Etats-Unis.

### 3°-4- Les perspectives économiques et industrielles

#### 3°-4-1. Les coûts

Les coûts induits par l'équipement et l'exploitation des différents procédés sont souvent difficiles à cerner pour des raisons évidentes : nombreuses catégories de situations, d'installations, variété des combustibles, des contraintes; en outre seuls les procédés réellement développés actuellement peuvent éventuellement faire l'objet de véritables chiffrages. Si les données ne manquent pas, elles sont le plus souvent ponctuelles, partielles.

Pour un combustible de 4 % de soufre dans une centrale fonctionnant 7 000 heures par an on relève des coûts d'investissement de l'ordre de 2 500 \$/t de soufre retiré par an (tranche de 1 000 MWe), de 6 000 \$/t de soufre retiré par an (tranche de 200 MWe), soit 175 à 420 \$/kWe installé. Ces coûts varient de 180\$/kWe pour un procédé à voie humide avec injection de chaux à 250 \$/kWe pour le procédé régénératif Wellman Lord (y compris le conditionnement des résidus).

Les coûts d'exploitation sont très difficiles à connaître ; ils varient de 500 à 1 500 \$/t de soufre enlevé, soit environ 0,02 à 0,06 FF/thermie.

Le graphique ci-après donne, de son côté, une appréciation des coûts pour des charbons de 3,5 % de S et de 1,5 % de S.

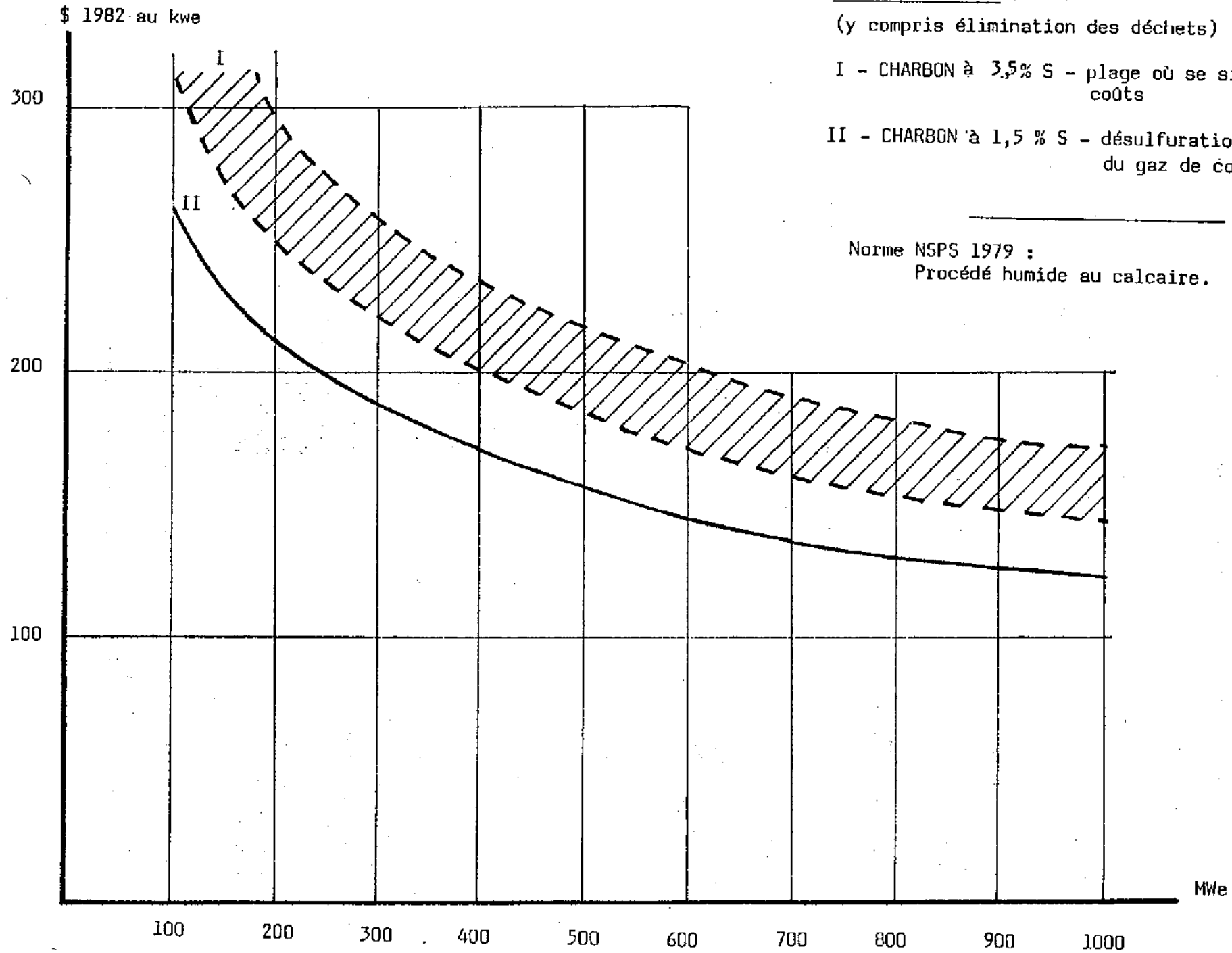
INVESTISSEMENTS \$1982/kwe

(y compris élimination des déchets)

I - CHARBON à 3,5% S - plage où se situent les coûts

II - CHARBON à 1,5 % S - désulfuration à 90-95 % du gaz de combustion

Norme NSPS 1979 :  
Procédé humide au calcaire.



Pour la dénitrification des gaz de combustion la plupart des données économiques précises disponibles sont d'origine américaine et souvent assez anciennes. Le tableau suivant donne une première approche (américaine) pour des procédés mixtes le plus souvent (NOx, SO<sub>2</sub>, poussières)

estimations \$US (1979)

Type de Procédé	Polluant enlevé	Coût en capital (\$/kw)	Coût de fonctionnement (cent/kwh)
Réduction catalytique sélective (RCS)	NOx, poussières	64	0,34
Désulfuration des gaz de combustion (DGC)	SO <sub>2</sub>	101	0,42
RCS + DGC	NOx+SO <sub>2</sub> + poussières	165	0,76
Sec, simultané (UOP,Shell)	NOx+SO <sub>2</sub> + poussières	160	0,73
Humide, simultané (Moretana(C102))	NOx+SO <sub>2</sub> + poussières	205	1,22
Asahi (EDTA)		233	1,26
IMI (Ozone)		482	1,98

**Base des évaluations :**

Système de réduction des particules : dépoussiéreurs électrostatiques pour les systèmes secs ; laveur pour les procédés humides simultanés

Désulfuration des gaz de combustion : calcaire  
 Taux de désulfuration : 90 %  
 Taux de dénitrification : 90 %  
 Taux de dépoussiérage : 99,5 %  
 Puissance de : 500MW (nouvelle)  
 Combustible : charbon  
 Pouvoir calorifique inférieur : 24,4 MJ/kg (10 500 Btu/livre)  
 Taux de soufre : 3,5 %  
 Taux de cendres : 16 %  
 Taux de fonctionnement : 7000 heures

Sources : NOx control in review

Hydrocarbon Processing - vol 60 n°10 (octobre 1981)

En dollars 1982, le procédé RCS coûterait 83 \$/kwe en investissement.

Une étude (1979) de l'Electric Power Research Institute (EPRI) publiée par l'Agence internationale de l'énergie indique les coûts en capital des diverses techniques de réduction des oxydes d'azote : en coûts au Kwe installé et en dollar 1982, cela donne : 4 à 6 \$ pour les brûleurs de conception avancée 37 à 104 \$ pour le procédé RCS. Un rapport de l'EPRI plus récent (1982) donne pour deux variantes de ce procédé RCS des coûts d'investissements s'étageant entre 53 \$ et 95 \$/Kwe et des coûts annuels de fonctionnement (uniformisés sur la durée de vie de l'installation) de 0,65 à 1,3 US cent/Kwh.

Si divers rapports mentionnent des coûts nettement plus faibles au Japon, il s'expliquent par des bases économiques différentes (non prise en compte de diverses dépenses).

Cette fourchette de coûts d'investissement total pour le procédé RCS apparaît réaliste, étant bien entendu fonction de nombreux paramètres liées au combustible (charbon en l'occurrence).

On doit souligner qu'un système de brûleur de "conception avancée" peut réduire 50 % les émissions de NOx pour une dépense en capital de moins de 10 \$/kwe, ce qui est peu par rapport au procédé RCS ; celle-ci est en effet 4 à 10 fois plus chère pour une performance qui n'est même pas deux fois supérieure (au moins sur une unité neuve).

La technique des brûleurs à bas NOx est donc à encourager et cela devrait suffire pour obtenir une réduction substantielle et des coûts non prohibitifs. Rappelons qu'une réduction globale de 40 % des émissions des grandes installations n'aurait qu'un effet de 12 % sur les émissions totales, la plus grande partie étant liée aux transports et d'autres activités (agricoles etc...) ayant aussi une part non négligeable ; en outre on ne doit pas oublier l'importance des effets des émissions d'hydrocarbures (synergie) dans les phénomènes de pollution longue distance. Cette situation enlève toute justification à une dépense excessive pour réduire les oxydes d'azote.

### 3°-4-2 Les perspectives pour les procédés

Pour réduire les émissions soufrées, azotées et particulaires des installations, on peut affirmer que les moyens techniques existent et sont industriellement au point(1), ce qui ne veut pas dire que leur application sera sans problème, le principal étant celui des coûts d'investissement et d'exploitation, d'autres pouvant être la fiabilité de certains procédés et surtout l'abondance des déchets et les difficultés de leur valorisation.

Pour les très grandes installations de combustion, en particulier les centrales thermiques, la désulfuration sera en principe nécessaire (il n'existe pas de charbon ou fuels à 0,22 % de soufre)(2) et en l'état actuel des techniques elle devra se faire sur les gaz de combustion.

---

(1) Pour les normes envisagées jusqu'en 1995

(2) Après désulfuration, dans le cas de plus de 300MWth, les gaz de combustion équivalent à un combustible dont le taux de soufre serait de 0,22 %

Les procédés les plus répandus, et de loin, sont les procédés par voie humide, aux Etats-Unis, au Japon, en Allemagne Fédérale. En ce dernier pays, de nombreuses commandes ont été passées récemment. Au Japon et en RFA, le sous-produit sera le plus souvent transformé en gypse dont l'écoulement commercial risque d'être difficile.

Les procédés à régénération vont se développer, mais occuperont une place plus modeste car ils sont plus coûteux et la valorisation de leur production fatale (acide sulfurique, soufre, dioxyde de soufre liquide) sera aussi problématique. Toutes ces productions fatales risquent de perturber gravement les industries traditionnelles du plâtre et des dérivés soufrés.

Les procédés semi-secs paraissent bien au point et sont relativement économiques. Ils ont certes leurs inconvénients : consommation obligatoire de chaux et non de calcaire, coûteuse pour les charbons très soufrés, sous-produit non valorisable comme le gypse. Ils devraient trouver leur voie en Europe, en particulier pour les installations de 50 à 500 MWth. En effet les charbons disponibles en Europe, en particulier ceux de RFA et de Grande Bretagne, n'exigeraient qu'une désulfuration modérée pour atteindre les teneurs en soufre équivalentes aux normes d'émission (1,1 % S de 50 à 100 MWth - 0,67 % de 100 à 300). Dans un tel cas, on pourrait ne désulfurer qu'une partie des gaz, ce qui rendrait économique l'application du procédé(1).

La France est mal placée dans tous ces procédés. On doit signaler ici l'existence des procédés Stackpol de l'Institut Français du Pétrole, procédés humides régénératifs, mais qui n'ont pas encore de références industrielles à notre connaissance.

Divers constructeurs français ont développé des procédés secs et semi-secs, mais plutôt spécialisés dans l'extraction d'acide fluorhydrique ou d'acide chlorhydrique (ordures ménagères).

Pour les moyennes puissances, de 50 à 500 MWth, le choix à priori est entre les lits fluidisés circulants ou à cendres fondues, et les procédés semi-secs. Il s'agit de procédés bien au point, sauf pour les lits à cendres fondues qui ont à faire leur preuve sur le plan de la désulfuration. Les lits fluidisés bénéficient de deux atouts majeurs :

- grande souplesse quant au choix des combustibles,
- diminution importante des émissions d'oxydes d'azote.

La France est bien placée grâce au procédé Ignifluid et pourrait l'être à terme grâce aux travaux de CERCHAR sur les unités pilotes et les unités de démonstration.

---

(1) Les principaux procédés semi-secs sont danois ou suédois

Pour les oxydes d'azote, la mise au point de brûleurs à bas NOx est à encourager, compte tenu du rapport coût efficacité particulièrement élevé. Les lits fluidisés froids devraient avoir un grand avenir pour la réduction simultanée de SO<sub>2</sub> et de NOx. Leur application aux grandes puissances apparaît toutefois techniquement difficile. Permettant l'utilisation de charbon bon marché, l'impact de leur surcoût est sensiblement réduit.

### 3°-4-3 La situation de la France

Ayant misé sur l'énergie nucléaire, sur l'accroissement du rôle de l'électricité, sur les économies d'énergie et dans une moindre mesure sur le gaz, n'ayant pas des "ressources indigènes" de charbon de l'ampleur et de la qualité de celles des autres puissances, la France n'a pas eu à développer les technologies où le Japon, les Etats-Unis et dans une moindre mesure l'Allemagne sont maintenant dominants.

A l'exception du domaine des poussières, le retard de la France est indiscutable. Cette situation a peut être également d'autres explications. L'A.Q.A. reprenant un rapport du C.P.E. (1) fait ainsi état du "manque de continuité dans la politique menée par les pouvoirs publics et la non-anticipation de l'évolution réglementaire, le manque de cohérence dans le financement de la politique de lutte contre la pollution atmosphérique" (2). Quoiqu'il en soit, la France peut néanmoins jouer les rares atouts qu'elle possède (lits fluidisés notamment) en faisant peut être la part du feu car les procédés de désulfuration de la première génération portant sur les gaz de combustion paraissent maintenant trop développés pour espérer de véritables possibilités de ce côté. Il convient de ne pas oublier que malgré une éventuelle augmentation de la demande dans les années quatre vingt dix, les marchés restent limités.

L'exemple allemand qui, rappelons le, n'est pas transposable à la France où le marché intérieur est considérablement restreint, est instructif. Pour les grandes installations qui seront à équiper avant 1988, la répartition des centrales est la suivante : 4 700 MW sont déjà désulfurés, 5 100 MW sont en construction, 23 200 MW sont projetées. L'industrie allemande de la désulfuration est donc actuellement en plein essor mais en 1988, ces sociétés, face à un marché allemand en régression, vont vraisemblablement se tourner avec agressivité vers les pays étrangers et la concurrence sera très rude.

Avant 1985, 60 % des centrales thermoélectriques désulfurées utilisaient un procédé allemand ; d'ici 1988, du fait des licences acquises et la présence des fournisseurs étrangers, 25 % seulement des installations utiliseront un procédé proprement allemand. Les autres procédés devraient être japonais (50 %), américains (20 %), suédois et danois pour le reste. D'ici 1985, l'essentiel de ces installations (93 %) devraient être construites selon le procédé humide. Le risque est grand de voir les fournisseurs allemands et autres s'emparer du marché français (= 1 700 MWth/an) à partir de 1989 au plus tôt.

---

(1) Centre de Prospective et d'Évaluation

(2)cf. "pluies et retombées acides" p.22. Réduction des principaux rejets atmosphériques acides provenant des sources fixes.



Compte tenu de la situation française, deux hypothèses peuvent être envisagées pour les actions à engager suivant les moyens que l'on est disposé à consacrer à la recherche développement. La première, la plus ambitieuse, (qui impliquerait 20 millions de francs par an de financement pendant 5 ans) viserait le développement d'une technologie française ou francisée tant pour le SO<sub>2</sub> que pour les NO<sub>x</sub>.

L'effort porterait sur les lits fluidisés désulfurants (en particulier circulants), ce que l'on appelle la deuxième génération. Parallèlement et en toutes hypothèses, il faudrait que des aides soient accordées sur les points suivants :

- s'assurer que la technique Ignifluid peut être associée à une action de désulfuration,
- faciliter la commercialisation de brûleurs à bas NO<sub>x</sub>,
- valoriser ou en tout cas trouver une destination acceptable aux sous-produits (gypse, etc) ; c'est là un problème dont l'ampleur et les difficultés ont été sous-estimées dans la plupart des pays.

Dans la seconde hypothèse, on ne rechercherait pas le développement des technologies portant sur les grandes chaudières ; on viserait en revanche le domaine des petites et moyennes installation (25 à 100 mWth) et surtout l'adaptation des installations existantes, qui, actuellement, ne semblent pas susciter des initiatives (avant foyer à lit fluidisé désulfurant, injection de produits alcalins dans les flammes, etc). Encore faut-il s'assurer que le marché à une réelle consistance à l'étranger. Il faut noter que l'apport financier à fournir dans cette deuxième hypothèse ne serait pas beaucoup plus faible que dans la première. Par ailleurs, et cela sera abordé plus loin, compte tenu du rôle néfaste et longtemps méconnu des composés organiques volatils (hydrocarbures, solvants, etc) un effort de recherche pourrait être entrepris dans ce domaine. Il doit être rappelé que ces composés organiques volatils ont un rôle majeurs dans la formation d'oxydants photochimiques qui apparaissent comme un facteur essentiel impliqué dans le dépérissement forestier.

Des créneaux de recherche (1) et de réalisation apparaissent donc encore accessibles à la France ; le succès implique à la fois sélectivité et engagements financiers de toutes les parties présentes. Il passe aussi par l'association à des partenaires européens. Le recours aux licences de procédés étrangers n'est pas à dédaigner. Ainsi, des sociétés française se sont liées à des

---

(1) L'A.Q.A. conclut ainsi sa note précitée :

"En matière de recherche-développement, les principales actions à entreprendre pourraient concerner :

- une meilleure compréhension des mécanismes de formation des polluants dans les flammes ;
- une remise à jour des connaissances, afin d'évaluer l'intérêt d'une reprise de certaines voies de recherches abandonnées, compte tenu de l'évolution de la technologie des coûts ;
- le développement de techniques comme les lits fluidisés froids, les brûleurs à bas taux d'oxyde d'azote ;
- le développement de nouveaux procédés et l'amélioration des performances et des coûts des techniques existantes pour l'épuration des gaz de combustion, désulfuration, dénitrification, déchloruration ;
- des échanges d'information."

partenaires étrangers pour développer les lits fluidisés circulants : Stein-industrie avec Lurgi (Allemagne) et CNIM avec Alstrom (Finlande). Malgré la valeur des procédés allemands, 30 % seulement des unités allemandes de désulfuration seront sous licence nationale.

D'ailleurs un recours important aux licences étrangères ne serait que peu pénalisant pour l'emploi car les procédés en question ne font appel à aucun matériel de technique "avancée" qu'il faudrait importer, sauf les très spéciaux catalyseurs R.C.S (réductions de NOx). Il s'agit essentiellement de chaudronnerie pour laquelle la France est aussi bien placée que ses voisins.

#### 4° Situation d'ensemble et coûts nationaux

Dans un domaine où, on vient de le voir, les technologies peuvent évoluer rapidement et où les catégories de situations techniques et économiques sont multiples, la détermination des coûts est rendue particulièrement difficile d'autant que les politiques mises en oeuvre peuvent largement peser par leurs effets directs ou indirects sur les éléments de ces coûts. Ainsi, un recours accentué aux combustibles peu sulfureux entraînerait une augmentation de leurs coûts ; le succès commercial d'un procédé peut permettre des économies d'échelle mais dans des proportions très variables et peu prévisibles.

Il est donc hors de question de fournir ici des évaluations précises inédites sur les coûts même s'il convient de présenter et d'apprécier les éléments chiffrés qui ont été annoncés au niveau global et plus souvent au niveau national. En revanche, on peut estimer la position des trois principaux pays de la Communauté Economique Européenne à partir de leur situation énergétique et environnementale de départ et des implications de la proposition de directive ; malgré l'impossibilité de précision arithmétique détaillée, les perspectives pour chacun peuvent être dessinées.

#### 4°-1- Des coûts d'ensemble difficiles à évaluer

##### 4°-1-1. Les indications contenues dans la proposition de directive.

La proposition de directive de la Commission comporte dans son exposé des motifs une estimation des répercussions économiques des normes d'émission pour les installations nouvelles, en précisant bien son caractère indicatif, afin de fixer des ordres de grandeur. Cette estimation est d'ailleurs précédée d'une énumération des nombreux éléments d'incertitude qui la caractérisent nécessairement.

Cette énumération mérite d'être rappelée :

"Le nombre et la taille des installations nouvelles qui seront construites d'ici l'an 2 000, la part de l'énergie nucléaire dans les stratégies énergétiques des Etats membres, le degré de recours aux combustibles peu soufrés, leur disponibilité et les relations de coût entre charbon et pétrole, la croissance économique et la vitesse du renouvellement des installations anciennes, notamment dans l'industrie avec ses nombreuses installations de taille moyenne, la durée de vie résiduelle des installations anciennes, les détails des programmes déterminées par les Etats membres fixant des objectifs globaux de réductions des émissions, etc"

En faisant de fortes réserves sur la qualité des prévisions que l'on peut faire jusqu'en l'an 2000, les auteurs du projet supposent (hypothèse sans doute optimiste) que l'on construira en Europe-d'ici là - une puissance de 40 000 mégawatts électriques en installations de plus de 300 MWe. Chacune étant équipée d'une désulfuration de gaz de combustion, l'investissement total correspondant serait de 4 milliards de dollars sur la base d'un coût uniforme de 100 \$/kWe. Un amortissement en 25 ans et un taux d'intérêt de l'argent de 8 % conduiraient à un coût annuel en capital de 370 millions de dollars, soit 0,19 US cent par kilowatt-heure.

Il convient d'y ajouter des coûts supplémentaires de fonctionnement de l'ordre de 5 \$/T de combustible soit 0,12 cent US/kWh, ce qui aboutit à un surcoût de 0,31 cent US/kWh soit moins de 10 % des frais de production d'électricité.

Pour les installations de 50 à 300 MW, les exigences sont moindres et pourraient être satisfaites avec des combustibles autour de 1 % de soufre (1) ou une désulfuration d'une partie seulement des gaz de combustion.

Finalement, les auteurs de la directive arrivent au total suivant de dépenses annuelles :

	<u>milliards de dollars par an</u>
Désulfuration.....	0,65
Limitation des oxydes d'azote.....	0,25
Dépoussiérage.....	0,25
	—
	1,15

Des pays comme la Grande Bretagne et l'Allemagne de l'Ouest ne pourront satisfaire à l'article 3 de la directive sans dépolluer un certain nombre d'unités existantes. Or le calcul ci-dessus ne considère que les unités neuves. Et l'addition d'un ensemble de dépollution à une unité existante coûte 20 à 40 % plus cher que sur unité neuve.

On peut dire que les évaluations des auteurs du projet sont très sous-estimées, et même la valeur de base de 100 \$/kWe est criticable, comme nous le verrons plus loin.

Parmi d'autres estimations avancées, certaines font état d'éléments de coûts importants compte tenu du caractère limité des niveaux de dépollution atteints. Ainsi, pour les oxydes d'azote, une étude de 1983 prévoit que si l'on voulait réduire de 30 à 50 % les émissions de NOx des chaudières nouvelles, et de 70 % celles des chaudières anciennes, il en coûterait à la CEE entre 100 et 400 millions de dollars par an jusqu'en 2000. (2).

---

(1) Ancienne version du projet. Selon la nouvelle version, il faudra du charbon à 0,67 % S de 100 à 300 MW.

(2) Acid rain - A review of the phenomenon in the EEC and Europe 1983 citée par JL CECCALDI dans "les pluies acides en question", revue "ELECTRICITE" n° 178 juin 1984.

4-1-2- La méthodologie de calcul des coûts de dépollution pose bien des problèmes.

Il est difficile de se faire une idée précise sur les coûts des divers procédés à travers les documents publiés pour les raisons suivantes :

- beaucoup de procédés manquent de maturité industrielle. L'expérience montre que les premières estimations à partir d'unités pilotes, ou même de démonstration sont fortement sous-estimées ;

- s'agit-il d'unité neuve ou d'unité modifiée ?

- les bases économiques du calcul sont rarement données en entier. Les questions sans réponse sont souvent les suivantes :

- pour les investissements a-t-on inclus les frais de démarrage, l'équipement pour éliminer les déchets ?

- pour les frais opératoires a-t-on compris les amortissements ? en combien d'années ? Comment a-t-on pris en compte les frais financiers ? Quelle est l'année d'estimation de l'investissement ?

Quelle monnaie choisir ? Les données économiques étant le plus souvent en dollar, la conversion en francs de cette monnaie est pour le moins délicate.

On ne fait pas preuve de trop de pessimisme en affirmant que les chiffres donnés sont souvent exacts à  $\pm 20$  % près !

Dans le cas des installations de combustion liées à une production d'électricité, on exprime souvent l'investissement "unitaire" en dollar par kilowatt de puissance électrique installée (\$/kWe).

La directive fixant un objectif global de réduction des polluants, il peut être intéressant d'exprimer l'investissement en dollars (ou francs) pour extraire une tonne de polluant par an.

Les frais opératoires sont exprimés en US cents au kilowatt-heure d'énergie électrique, ou parfois à la tonne de polluant extrait, cette dernière expression étant "parlante" et incitant à rechercher le procédé qui donne le coût le plus bas à la tonne de soufre soustraite à la pollution.

Dans l'optique de la directive qui spécifiera les valeurs-limites d'émission en  $\text{mg}/\text{Nm}^3$ , on peut aussi calculer le coût de la réduction de  $1 \text{ mg}/\text{Nm}^3$ .

Le coût de désulfuration des gaz de combustion (procédé humide au carbonate de calcium) sont précisés à partir de l'estimation OCDE (1) ci-après :

**COUT DE DESULFURATION DES GAZ DE COMBUSTION**  
**Norme NSPS 79 - Unité 500 MWe - Déchets éliminés**  
**(New Source Performance Standard)**

% de soufre dans le charbon	% de gaz de combustion traité	Coût en capital \$ 1982 par kW	Coût annuel de 1ère année (\$1982)		
			US cents par kWh	\$/t de charbon	\$/t de S éliminé
(1)	(2)	(3)	(4)	(5)	(6)
3,5	92	197	0,101	27,4	1 051
1,5	82	161	0,74	21,3	2 138
1,0	67	130	0,62	16,9	3 114
0,7	48	104	0,49	13,4	4 923

**NB :** En dehors du cas du charbon à 3,5 %, on ne traite qu'une partie des gaz mais à 90 % d'extraction du soufre. Noter que les chiffres des colonnes 2 et 3 sont proportionnels.

Il convient maintenant d'examiner la situation et les coûts pour les trois plus grands pays industriels de la Communauté Economique Européenne : la Grande Bretagne, l'Allemagne et la France.

**4-2- le cas de la Grande Bretagne**

Il a été indiqué (cf supra) que si la lutte contre la pollution de proximité avait obtenu de brillants résultats en Grande Bretagne (amélioration de la qualité de l'air ambiant, diminution de plus des trois quarts des poussières entre 1958 et 1982, la quasi totalité étant désormais attribuable au chauffage domestique, le niveau global des émissions de SO<sub>2</sub> reste élevé 4,25 MT (1982) bien qu'il ait baissé de 20 % en vingt ans.

Or les perspectives à long terme montrent une croissance du recours au charbon, d'autant que la production de pétrole de la mer du Nord diminuera après 1990.

Divers cas étudiés pour l'an 2000 situent les émissions totales SO<sub>2</sub>, essentiellement dues au charbon, entre les limites suivantes :

	<u>Mt/an</u>
Cas croissance faible, niveau nucléaire élevé.....	4,60
Cas croissance forte, niveau nucléaire faible.....	6,48

Le niveau d'émission le plus favorable pour l'environnement en l'an 2000 se situe donc au dessus du niveau de 1983 (3,69) et au niveau de l'année de référence 1980 (4,67 Mt).

---

(1) Le charbon et la protection de l'environnement.  
 Coûts et méthodes d'estimation. OCDE PARIS 1983.

Une étude faite par le CEGB (Central electricity Génération Board), l'homologue britannique d'EDF, précise les conditions dans lesquelles peut être obtenue la réduction des émissions de dioxyde de soufre. Elle ne concerne en fait que l'exigence de l'article 3 : réduction de 60 % des émissions soufrées entre 1980 et 1995. Elle paraît néanmoins pleine d'enseignements.

#### 4-2-1 Résumé de l'étude CEGB

Un programme de désulfuration de 12 centrales thermiques existantes totalisant 19 844 MWe permet de réduire de 60 % l'émission de l'ensemble des grandes installations de combustion du CEGB (l'industrie n'est pas prise en compte).

D'entrée de jeu, le CEGB rejette les procédés qui conduisent à des rejets dans le milieu naturel et s'oriente essentiellement vers le procédé Wellman-Lord et le procédé humide avec production de gypse. La vente des sous-produits (soufre ou acide sulfurique pour Wellman Lord, gypse pour les autres procédés) est reconnue problématique et de toute façon très peu rémunératrice. On envisage même le rejet pur et simple d'une partie du gypse (production de 2 millions de tonnes/an à partir de 6 centrales totalisant 9 264 MWe)(1).

Le coût total en capital s'élèverait à 1 432 millions de livres sterling, soit environ 2 148 millions de \$ (base : 1 \$ = 1,5 \$).

Les coûts unitaires (\$/kWe) sont autour de 100 \$/kWe, ce qui peut paraître faible, mais il s'agit de très grosses unités (9 unités sur 12 font de 1720 à 1 932 MWe).

Toutefois ces chiffres sont sans doute sous-estimés car :

- il s'agit d'équiper des centrales existantes, donc les coûts "unités neuves" peuvent être dépassés de 20 à 40 %.
- en cas d'application de la directive, les autres centrales devront respecter les normes d'émission (selon l'article 4 et l'annexe I), ce qui entraînera des coûts supplémentaires.
- la revue POWER (de novembre 1984), fixe à 2,8 milliards de dollars la dépense en capital pour le CEGB entier.
- les installations industrielles pourraient accroître de 20 % la dépense ci-dessus, au minimum car le coût unitaire (\$/kWe) est certainement plus élevé, les installations industrielles étant en général plus petites que les centrales thermiques.

---

(1) On peut se demander pourquoi le CEGB ne retient pas le procédé semi-sec à partir du moment où il envisage le rejet de gypse. En effet, ce procédé donne un rejet sec facilement manipulable au contraire des boues générées par les procédés humides avant extraction du gypse. Mais ces résidus ne sont pas sans inconvénients : ils contiennent des sulfites (composés malodorants, absorbant l'oxygène) et de la chaux libre. Des traitements existent pour transformer les sulfites en sulfates. En présence d'humidité, le résidu donne une véritable ciment imperméable, valorisable en construction de routes. Les procédés "semi-secs" consomment de la chaux et non du calcaire, moins cher. Leur efficacité est un peu moindre que celle des procédés humides.

4°-2-2- Comment la Grande Bretagne peut satisfaire à la proposition de directive.

Rappelons que 76 % des émissions dans ce pays sont dues aux grandes installations de combustion. Pour l'année de référence 1980, cela ferait  $0,76 \times 4\ 670 = 3\ 550$  kilotonnes  $SO_2$ .

Une réduction de 60 % représente une baisse de  $3\ 550 \times 0,6 = 2\ 129$  kt par an. En 1980, les seules centrales thermiques ont émis 2 870 kt, ce qui signifie que la désulfuration de ces seules centrales thermiques à 75 % permettrait à la Grande Bretagne de satisfaire à l'article 3 de la directive (réduction de 60 % des émissions).

Les prévisions de consommation de charbon en Grande Bretagne ne permettent pas d'espérer une baisse de  $SO_2$  par recul des combustibles sulfureux, à l'opposé de la France qui développe rapidement l'énergie nucléaire.

On peut même, pour la Grande Bretagne, imaginer un scénario dans lequel ce pays respecterait l'article 3 en ne désulfurant que les grandes centrales thermiques (1). Ce scénario aurait à l'échelon national des avantages économiques considérables :

- la désulfuration ne s'adresserait qu'à de très grandes installations, d'où des économies d'échelle pour les investissements.

- on désulfurerait entre 1,4 % de soufre (teneur en soufre courante des charbons en Grande Bretagne et 0,22 % (teneur en soufre correspondant aux gaz de combustion sortie unité de traitement). Par rapport à une unité qui désulfurerait de 1,4 % S à 1,1 % (cas des installations de moins de 300 MWth) cette solution serait particulièrement économique en coût de la tonne de soufre extraite.

Cela montre que si la future directive se limitait à prescrire une réduction de 60 % de  $SO_2$  sans imposer les moyens, c'est-à-dire des normes d'émission, il en résulterait des économies considérables pour la plupart des nations, par rapport à la situation prévue.

Une telle politique ne serait que l'application du "principe de la bulle" (bubble concept) courant aux Etats-Unis : l'administration oblige une usine ou une zone industrielle à abaisser ses émissions d'une certaine valeur, et les intéressés s'entendent entre eux pour y parvenir. Des articles de l'Environmental Protection Agency vantent le caractère économique pour la collectivité (en termes de coût-efficacité) d'une telle pratique. Nous seront quant à nous plus réservés sur ce mécanisme qui peut freiner certaines initiatives de dépollution.

La réalité sera différente : les unités nouvelles ou "substantiellement modifiées" devront seules être mises aux normes d'émission selon l'article 4. On peut admettre que d'ici 1995, 50 % des grandes installations de combustion seront remplacées par des unités neuves ou "substantiellement modifiées", ce qui veut dire que la moitié des émissions  $SO_2$  de ces installations (estimées plus haut à 3 550 kilotonnes  $SO_2$ ) seront réduites de 90 % soit une réduction de 1 600 kilotonnes, à comparer à l'exigence de réduction 60 %, soit 2 129 kilotonnes.

---

(1) on se rapprocherait de ce scénario si la directive se limitait aux installations de plus de 300 MWth, comme le suggèrent divers milieux industriels.

Donc la Grande Bretagne devra installer des unités de désulfuration sur des unités existantes non modifiées, ou encore on peut dire que c'est l'exigence 60 % qui conditionnera l'effort britannique, et non le respect des normes d'émission. On verra que la France est dans une situation radicalement différente.

#### 4-3- Le cas de la République Fédérale d'Allemagne

Les capacités de production électrique qui devront être modifiées pour être mises en conformité avec le décret fédéral du 23 juin 1983, notamment au regard des exigences de désulfuration, s'élèvent (1) à 33 000 MWe. Celui-ci se décompose ainsi :

- . 4 700 MWe en service
- . 5 100 MWe en construction
- . 23 200 MWe en commande

Un tableau détaillé de toutes les installations devant respecter la directive montre que la puissance moyenne est de 600 MWe par site. La dépense d'investissement au kWe peut être estimée à 140 \$/MWe, soit une dépense de 4,6 milliards de dollars pour les centrales thermiques auxquels il faudrait rajouter 20 % environ pour tenir compte des installations industrielles proprement dites-

Ces sommes sont comparables à une autre estimation de 5 milliards de dollars mais ce dernier chiffre comprend vraisemblablement la réduction des oxydes d'azote (revue POWER, novembre 1984).

On sait que les émissions des grandes installations de combustion représentent 63 % du total, soit 1 972 kt/an de SO<sub>2</sub> en 1980. Le projet de directive exigera une réduction de 60 % , soit 1 183 kt/an, fraction modeste de l'émission 1980 des centrales thermiques, soit 2 060 kt/an. On pourrait donc, comme en Grande Bretagne, ne désulfurer que les centrales. La consommation de charbon sera en 1990 du même ordre de grandeur que celle de 1980.

La réglementation proprement allemande obligera à désulfurer les installations existantes. Si on ne désulfurait que 50 % des centrales thermiques, neuves ou modifiées entre 1985 et 1995, on retirerait 888 kt par an de SO<sub>2</sub> au lieu de 1 183 exigées.

La situation de la République Fédérale d'Allemagne est donc assez comparable à celle de la Grande Bretagne étant entendu toutefois que le décret du 22 juin 1983 y impose des limitations d'émission dans l'ensemble plus sévères que celles de la directive, sous réserve des possibilités de diverses dérogations. Le décalage réside donc dans cette notable différence de réglementation nationale.

---

(1)Source : revue allemande "Energie" n° 12 décembre 1984.



En 1993, année où en fait (1) prennent fin les dispositions transitoires du décret du 22 juin 1983, la quasi totalité des centrales électriques alimentées en combustibles fossiles seront équipées d'unités de désulfuration des gaz de combustion ainsi que l'indique le tableau ci-après.

---

(1) Pour le  $SO_2$ , le quantum d'heures dont chaque installation concernée dispose pour fonctionner sans désulfuration peut être utilisé jusqu'en 1993 sauf pour les installations qui dépassent 30.000 heures d'utilisation et doivent se mettre en conformité dans les 2 ans.

DEVELOPPEMENT PREVISIBLE DES PERFORMANCES (en MWe)  
DANS LE DOMAINE DES SERVICES PUBLICS DE PRODUCTION ELECTRIQUE

R.F.A.

	1983	1984	1985	1986	1987	1988	1989	1990	1991	1992	1993
CHARBON											
sans DGC (*)	19 100	19 470	21 000	19 750	18 300	6 600	6 600	6 600	6 600	6 600	750
sans DGC (*)	3 400	4 000	6 000	7 200	10 000	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000	22 000
TOTAL	22 500	23 470	27 000	27 000	28 300	28 600	28 600	28 600	28 600	28 600	22 750
LIGNITE											
sans DGC (*)	13 000	13 000	13 000	13 000	13 000	7 800	2 600	454	454	200	0
avec DGC (*)	0	0	0	0	230	5 200	10 400	12 800	12 800	12 800	12 800
Fuel pétrolier	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	11 200	10 000	10 000	10 000	10 000
Gaz	11 500	11 500	11 500	11 500	11 500	11 500	11 500	11 500	10 500	10 500	10 500

(\*) DGC : Désulfuration des gaz de combustion.

4°-4- Le cas de la France

4°-4-1. La situation énergétique

Les situations énergétiques des pays européens présentent des spécificités marquées ; cette observation est particulièrement vraie pour la France où, en outre, en moins d'une dizaine d'année, la répartition entre les différentes sources d'énergie a évolué rapidement et ce, dans des proportions considérables.

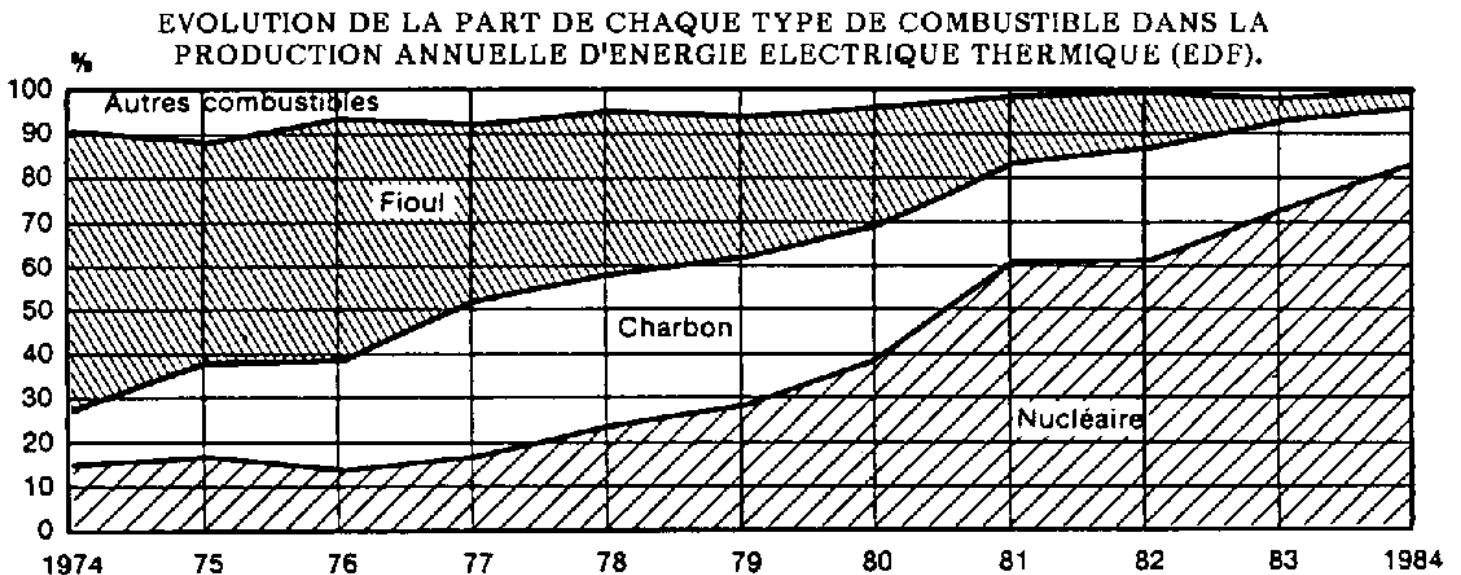
Sans revenir en détail sur l'analyse de cette situation, qui a déjà été faite (cf supra ) deux séries d'informations peuvent être rappelées, l'une donnant la consommation française d'énergie primaire entre 1984 et 1990 des deux principales sources non ou très peu polluantes, le nucléaire et le gaz (la part de l'hydraulique n'est pas indiquée), l'autre donnant la part des différentes sources dans la production d'électricité en France avec des indications sur la situation des pays étrangers.

**PART DU NUCLEAIRE ET DU GAZ DANS LA  
CONSOMMATION FRANCAISE D'ENERGIE PRIMAIRE**  
(en MT d'équivalent pétrole, usage énergétique exclusivement)

	1984	1990
TOTAL	179	175 à 196 (1)
% nucléaire	23,7	32,5 à 35 (1)
% gaz	13,1	13,7 à 14,3 (1)

(1) selon les scénarios considérés

Pour la production d'électricité d'origine thermique par E.D.F., l'évolution est résumée dans le graphique ci-après.



En 1984, les équipements nucléaires ont ainsi assuré avec 178,4TWh 84 % de la production thermique (contre 73 % en 1983). Si l'on inclut la production hydraulique en 1985, c'est plus de 65 % du total que le nucléaire aura représenté, l'hydraulique et le charbon se partageant le solde, sous réserve de la part tout à fait minime désormais du fioul (moins de 3 %)

La répartition selon les sources d'énergie de la totalité de l'électricité produite en France, pour l'ensemble des producteurs est donnée par le tableau ci-après :

Tableau n° 17

PRODUCTION FRANCAISE D'ELECTRICITE (en TW/h) en 1984				
	FRANCE		DONT EDF	
	TOTALITE %		%	
centrales nucléaire	181,7	58,7 %	178,4	64,7 %
thermiques	60,5	19,5 %	35,5	12,9 %
classiques	67,4	21,8 %	61,8	22,4 %
Total	309,7		275,8	

Les prévisions pour 1985 comportent un accroissement de 6 % de la production. Il est à rappeler que la France est un important exportateur d'électricité : si EDF importe 5 TWh/an elle en exporte 30 et le solde positif (25 TWh/an) qui représente actuellement 9 % de sa production devrait encore augmenter à l'avenir (1).

Ces éléments montrent très clairement que le choix en faveur du nucléaire et le maintien de cette option ont permis et permettront une réduction importante des émissions polluantes en France.

De 1973 à 1983, les émissions SO<sub>2</sub> ont diminué de 42 %, celles des poussières de 40 %, celles des NOx provenant des sources fixes de l'ordre de 30 %, cette dernière étant "compensée" par une augmentation des émissions de véhicules qui maintient le total à un niveau voisin.

Les autres facteurs, volontaristes ou subis de cette "reconquête de l'air" sont:

- le renforcement de la politique d'économie d'énergie où la France obtient des résultats appréciables,

(1) Les pertes à la distribution et l'énergie absorbée par le pompage s'élèvent à 21 TWh pour les premières et 2,7 pour les secondes.

- le ralentissement de la croissance économique,
- l'abaissement de la teneur en soufre du brut importé,
- l'abaissement des normes de teneur en soufre des gazoles et fiouls domestiques
- le développement des mesures réglementaires contre la pollution de proximité (zones de protection spéciale, zones d'alerte)
- le développement des dispositifs d'épuration des gaz pour ce qui concerne les poussières.

Ces résultats et les projections jusqu'en 1990 (cf supra) montrent que la France est dans une situation favorable pour réaliser les objectifs de dépollution fixé par l'art. 3 de la Directive (pour le SO<sub>2</sub>) et a déjà réalisé celui du club des 30 %. En revanche, l'imposition de normes d'émission d'une sévérité qui n'est pas nécessairement le gage de l'efficacité, dans le cas de la France tout au moins, et pour la totalité des émissions, soulève des difficultés considérables.

#### 4-4-2 Des coûts en forme de handicap

Si la part du charbon dans la production d'électricité est limitée en France et a diminué au cours de la période récente, elle n'est pas destinée à régresser au point de devenir totalement marginale comme c'est le cas pour le fioul. Le charbon joue notamment un rôle d'appoint tout à fait nécessaire à l'ensemble d'un appareil de production électrique qui est fondé en base sur l'énergie nucléaire. En outre il a sa place dans l'industrie proprement dite, en dehors de la production d'électricité. A quelques rares exceptions près, les centrales thermiques classiques fonctionnent en France en "semi base" ou en pointe : sur 89 tranches, en 1984, 26 ont tourné plus de 4 000 heures (dont 1 seule dans le palier de 600 MW) dont 9 seulement plus de 6 000 heures (aucune dans le palier de 600MW et au dessus), et 26 ont tourné moins de 1 000 heures. Si ces centrales sont amenées à produire plus souvent pendant les périodes de pointes, plus nombreuses en hiver, elles peuvent aussi le faire en d'autres saisons, lorsque l'hydraulicité est mauvaise par exemple. On devrait donc avoir des construction nouvelles de centrales thermiques d'appoint dans la décennie des années quatre vingt dix.

Des estimations faites il y a plus de 18 mois indiquent que dans le cas d'une désulfuration poussée qu'implique la proposition de directive, le montant de l'investissement supplémentaire serait de l'ordre de 1 100 F/kWe soit 660 millions de francs pour une centrale dont le coût (sans ce montant) serait de 3,3 milliards de francs. Le surcoût serait donc de 20 %.

Outre l'investissement, le coût de fonctionnement sera lui aussi affecté. Ainsi, pour 2 000 heures de fonctionnement, le surcoût de fonctionnement serait de 9,5 centimes /kWh, pour 4 000 heures de 4,5 centimes/kWh. Le surcoût total pour l'ensemble des centrales concernées serait situé entre 1,25 et 2,25 milliards de francs. Il y a lieu de penser que ces calculs sont fondés sur l'hypothèse que financièrement, les systèmes de combustion à lits fluidisés seraient aussi chers que le recours au système traditionnel de désulfuration des fumées.

Des estimations beaucoup plus récentes ont donné des résultats voisins : 1 190 F/KW pour la désulfuration, avec un surcoût de 6 ctsKWh pour l'ensemble des centrales à charbon, en considérant pour la période 1990-2000 une durée de fonctionnement annuelle inférieure à 3 000 heures. On verra (IIIème partie) que la prise en compte de ces coûts risque de modifier profondément les choix d'investissements d'E.D.F.

Le recours au charbon dans l'industrie, dont l'incitation constitue un des éléments de la politique énergétique actuelle serait sensiblement freiné compte tenu notamment de la fixation à 50 MW (et non 100 MW) de la limite inférieure au champ d'application de la directive : les petites installations seraient contraintes soit au recours exclusif au charbon peu soufré, ce qui ôterait la souplesse de ce combustible qui en fait son intérêt, soit à un équipement anti-pollution économiquement très incertain.

#### -Les activités de raffinage pétroliers

Les activités de raffinage pétrolier pourraient avoir à subir des surcoûts non négligeables qui s'ajouteraient à ceux posés par les exigences de retraitement de produits lourds dont les débouchés se rétrécissent, alors que les exigences de raffinage renforcées pour l'essence, dûes à l'exigence d'une remontée de l'indice d'octane entraînée par la suppression du recours au plomb, pèseront aussi (1). En outre, la concurrence du raffinage de pays producteurs (OPEP) pourrait se révéler très sévère compte tenu de la situation de capacité excédentaire qui prévaut actuellement.(2)

#### 4-4-3- Une comparaison édifiante

Une évaluation de la contribution à la dépollution du programme électronucléaire français montre d'une manière saisissante l'importance de celle-ci et, à contrario, les efforts considérables que l'on aurait dû engager en l'absence d'un tel programme, efforts de l'ordre de ceux que l'Allemagne risque d'être obligée de fournir dans le cadre du décret du 22 juin 1983.

Si en l'absence du programme électronucléaire français on avait dû construire des centrales thermiques classiques (à charbon) du type le plus récent, leur nombre se serait élevé à 75 (600 MW chacune).

Le coût d'investissement des installations de désulfuration aurait été de 50 milliards de francs pour les tranches réalisées jusqu'en 1990. Or l'efficacité globale des systèmes de désulfuration n'étant pas totale, mais de l'ordre de 90 % pour le lavage des fumées au calcaire, la pollution aurait donc malgré cet effort, augmenté dans des proportions non négligeables. Il aurait donc fallu pour se retrouver dans la situation de référence (actuelle et à venir), accroître l'effort de dépollution qui, on le sait, est nettement plus coûteux sur des centrales anciennes.

En outre, si le coût évoqué, qui ne peut être qu'approximatif, est élevé, il n'est que partiel car il ne couvre pas les réductions des NOx ni celles des poussières ; donc même si des procédés plus économiques que celui envisagé pouvaient être mis au point dans les années à venir (lits fluidisés, etc...) cela n'aurait été valable que pour une partie des centrales et n'aurait pu qu'atténuer un total considérable. En tout état de cause, l'estimation de 50 milliards de francs apparaît donc comme un plancher, le montant pouvant atteindre 70 milliards.

(1) cf infra III/ Conséquences de l'introduction de l'essence sans plomb sur les activités pétrolières

(2) cf 3ème partie

Enfin, les effets économiques indirects ne doivent pas non plus être oubliés : moindre coût de courant produit pour l'industrie, quantités colossales de sous-produits qui sont en fait des déchets car non valorisables pour l'essentiel, ce qui devrait considérablement aggraver le problème qui ne va pas manquer de se poser au plan européen, renforcement de la demande de charbons peu soufrés et conséquences sur les cours, etc.

Le tableau ci-après rappelle le coût de production du kWh en 1984 pour le nucléaire, le charbon et le fioul avec pour ces deux derniers, le coût d'une désulfuration classique.

### COUT DE PRODUCTION DU kWh

Monnaie du 1.1.84

Centimes du 1er janvier 1984 par kWh	DUREE D'APPEL				
	8760 heures	4000 heures	2000 heures	1000 heures	400 heures
<b>NUCLEAIRE</b>					
Investissement	12,1	23,3	45,8	75,4	
Exploitation	4,3	8,4	16,4	28,1	
Combustible	6,4	7,1	8,5	10,6	
<b>TOTAL</b>	<b>22,8</b>	<b>38,8</b>	<b>70,7</b>	<b>114,1</b>	
<b>CHARBON</b>					
Investissement	8,2	15,1	30,2	54,9	137,3
Exploitation	3,5	6,7	13,4	24,4	61,1
Combustible	20,9	20,9	20,9	20,9	20,9
<b>Sous-total</b>	<b>32,6</b>	<b>42,7</b>	<b>64,5</b>	<b>100,2</b>	<b>219,3</b>
Désulfuration	2,9/2,4	3,3/4,4	4,0/8,7	5,1/15,6	9,3/38,9
<b>TOTAL</b>	<b>35,5/35,0</b>	<b>46,0/47,1</b>	<b>68,5/73,2</b>	<b>105,4/115,8</b>	<b>228,6/258,2</b>
<b>FIOUL</b>					
Investissement	6,8	12,8	25,6	46,4	115,6
Exploitation	3,0	5,7	11,4	20,8	51,9
Combustible	63,0	63,0	63,0	63,0	63,0
<b>Sous-total</b>	<b>72,8</b>	<b>81,5</b>	<b>100,0</b>	<b>130,2</b>	<b>230,5</b>
Désulfuration	8,1/2,4	8,1/4,4	8,1/8,7	8,1/15,6	8,1/38,9
<b>TOTAL</b>	<b>80,9/75,9</b>	<b>89,6/85,9</b>	<b>106,1/106,7</b>	<b>138,3/145,8</b>	<b>238,6/269,4</b>

4-4-4- Une hypothèse pour 1995

Il n'y a pas en France (13) pour le moment un inventaire "officiel" des installations à désulfurer. On a pu établir cependant quelques chiffres globaux sur l'hypothèse très optimiste d'un renouvellement de 55 % en 10 ans du parc de grandes installations existant en 1985. Ce parc renouvelé devra être mis en conformité avec la directive, ainsi que les installations nouvelles.

Cela conduit aux capacités suivantes à désulfurer avant 1995, exprimées en gigajoules d'énergie par an en 1995 :

				<u>millions de GJ/an</u>	
- Centrales thermiques (>300 MWth)					
	au charbon.....				179,85
	au fuel lourd.....				23,1
		<u>50 à 100 MWth</u>		<u>100 à 300 MWth</u>	<u>300 MWth</u>
- Unités industrielles					
	charbon.....	0	.....	67	..... 9,4
	Fuel lourd.....	25	.....	44	..... 6
		--		--	----
	Total	25		111	..... 15,4

Le plus gros ensemble à désulfurer est donc celui des centrales thermiques (>300 MWth).

Les centrales à fioul fonctionneront très peu d'heures dans l'année (2) et leur désulfuration serait une hérésie économique. Il est proposé de ne pas en tenir compte malgré le fait que la directive, dans sa version la plus actuelle, l'exigerait pour la partie du parc qui sera renouvelée.

Pour calculer le coût de la désulfuration des centrales à charbon (elles aussi utilisées le plus souvent en pointe de production hivernale), nous avons pris les hypothèses suivantes :

- . fonctionnement : 3 000 heures par an en moyenne
- . 1 kWe = 0,38 kWth
- . base de coût : chiffres OCDE -charbon à 1,5 % S et à 1,0 % S (2 cas étudiés - dollars à 8F)
- . charbon à 7 000 thermies/tonne.

Il est facile de calculer les coûts en capital et frais d'exploitation à partir des coûts unitaires du tableau donnés par l'estimation OCDE

On trouve ainsi pour les centrales thermiques à charbon :  
Millions de Francs

	Investissements	Dépenses d'exploitation annuelles
Charbon à 1,5 % S.....	8 150 ....	10 460
Charbon à 1,0 % S.....	6 600 ....	8 300

(1) contrairement à l'Allemagne

(2) Ainsi en 1984, Porcheville B (région parisienne) a fonctionné 368 heures soit l'équivalent de 15 jours, Martigues a fonctionné 262 heures



Ces chiffres impressionnants appellent les commentaires suivants :

- Investissements

La comparaison des coûts à la tonne de soufre et à la tonne de charbon (estimation OCDE)(1) indique que la désulfuration est de 81 % ce qui veut dire que pour un charbon à 1,5 % S, le gaz sortie centrale correspond à un charbon qui aurait seulement 0,45 à 0,5 % de soufre. Or les exigences de la directive correspondent à un charbon à 0,22 % de soufre. La désulfuration proposée est insuffisante.

Elle devrait donc être de 85,3 % pour le charbon à 1,5 % S et 78 % pour le charbon à 1,0 % S, donc nettement plus élevée que dans les cas ci-dessus.

L'unité de désulfuration qui devrait accompagner une centrale comprenant 3 unités de 600 MWe chacune devrait coûter un investissement au kWe d'environ 105 \$ 1982 (charbon à 1,5 % S), soit au total 189 millions de \$ ou 1 512 million de francs.

- Coûts opératoires :

Les coûts opératoires trouvés n'ont pas une signification très claire faute de précision sur les frais financiers et les durées d'amortissement.

En fait une marche de seulement 3 000 heures/an correspond à un très mauvais amortissement ou, si l'on veut, l'amortissement pèsera très lourd sur le coût de l'extraction de la tonne de soufre.

4-4-5 Comparaison avec le cas allemand pour la production électrique

Les 33 000 MWe à désulfurer en RFA comme indiqué ci-dessus correspondent à une consommation thermique de 1 657 millions de GJ/an (utilisation 5 300 heures/an).

On peut dès lors faire la comparaison suivante :

	RFA	FRANCE	Rapport F/RFA
Consommation en 10 <sup>6</sup> GJ/an à désulfurer.....	1 657	179,8	0,108
Investissements M\$ (2).....	4 800	822	0,171

Ce tableau montre que l'investissement est beaucoup plus lourd en France qu'en RFA à l'unité de consommation, et encore on peut dire que l'investissement français est sous-estimé, compte tenu qu'on a supposé une désulfuration modérée (de 1,0 % S du charbon brûlé à l'équivalent 0,45 % S).

(1) cf supra

(2) charbon à 1,0 % S

La cause essentielle de cette disparité au détriment de la France est le taux d'utilisation faible des centrales française dans l'année, à cause du nucléaire utilisé en base et même assurant une partie de la modulation saisonnière.

Il convient de rappeler encore une fois le caractère partiel de ces coûts puisque ni la réduction des poussières ni celle des NOx n'ont été prises en compte. En outre, ce n'est qu'une des formules de désulfuration qui a été envisagée ici.

#### 4-4-6 L'industrie et le raffinage pétrolier

Pour l'industrie les coûts sont encore plus difficile à cerner.

De nombreuses qualités de charbons français et importés permettent de satisfaire la future norme européenne quant aux émissions de soufre. Il en est de même du fuel TBTS (1,0 % S maximum) et bien entendu du gaz. Eventuellement, une chauffe mixte avec gaz peut être envisagée.

Mais les charbons à 1,4 - 1,5 % de soufre ou plus, localement disponibles, ou des fuels lourds ordinaires ou BTS exigeront la désulfuration.

On a vu que 3 techniques sont à priori disponibles :

- procédés semi-secs de désulfuration des gaz de combustion,
- lits fluidisés circulants et lits fluidisés à cendres fondues
- injection de dérivés calciques dans la flamme.

Contrairement à la désulfuration par voie humide, les données économiques sur ces procédés sont rares et peu fiables. Les chiffres publiés sont des réponses à des appels d'offres qui donnent le coût du matériel fourni et ne comprennent pas des coûts tels qu'ingénierie, génie civil, instrumentation.

Il n'est pas possible de dresser une comparaison générale des coûts. Elle ne pourrait se faire qu'à partir d'un cahier des charges précis. Ainsi, si l'on a un charbon à 1,5 % de soufre que l'on veut utiliser dans un foyer de 50 à 100 MWth, il suffira de désulfurer seulement un tiers des gaz de combustion à 80 % pour qu'après un mélange des gaz traités et des gaz non traités on ait l'équivalent d'un charbon à 1,12 % de soufre correspondant à l'exigence du projet de directive européenne. Cette solution peut être économique mais ne diminue pas les oxydes d'azote sans équipement supplémentaire (au moins brûleurs à bas NOx).

Le projet par injection de chaux ou de calcaire dans la flamme peut se prêter à une désulfuration "légère" du type précédent mais il consomme beaucoup de réactif et donne des rejets en rapport. On rappellera que les conditions thermiques qui conduisent à une efficacité convenable de la désulfuration sont celles qui précisément favorisent la réduction des oxydes d'azote.

On ne peut, des aperçus économiques obtenus, chercher à tirer des comparaisons sur les mérites respectifs des divers procédés. Mais il apparaît clairement que, sous réserve qu'il permette d'atteindre les valeurs d'émission exigées, le procédé par injection dans la flamme est particulièrement économique en coûts opératoires pour les installations fonctionnant peu d'heures

dans l'année. On voit, par exemple, que pour une centrale fonctionnant 1000 heures par an, on réaliserait une économie de plus de 70 % des frais d'opération par rapport à une désulfuration classique par voie humide... si on atteint l'efficacité exigée par la réglementation. Ce procédé peut convenir également pour les petites installations pour lesquelles une désulfuration classique serait d'un coût relatif excessif.

Pour le raffinage pétrolier on dispose d'une étude rédigée au début de l'année 1984 par le CONCAWE (Organisation européenne des compagnies pétrolières pour la protection de la nature et de l'environnement) sur le coût de la limitation des émissions de SO<sub>2</sub>, NO<sub>x</sub> et de poussières dans les raffineries de pétrole par traitement de fumées de combustion. Les taux de réduction des émissions qui ont été considérés sont en accord avec ceux prévus dans la directive (normes initiales de 1983). Les conclusions de l'étude présentées ici donnent le coût pour l'ensemble des raffineries de la CEE, y compris l'adaptation des installations existantes :

"Pour l'ensemble des raffineries de la CEE, les minima en capital et en frais d'exploitation annuels pour atteindre les objectifs de réduction proposés sont les suivants (localisation aux Pays-Bas, base 1984)

Coûts (\$ US en million)		
	Investissements	Coûts annuels d'exploitation
SO <sub>2</sub>	2 200 - 5 000	1 000 - 1 600
NO <sub>x</sub>	360 - 1 000	140 - 400
Poussières	250	90

Cela équivaut à des frais d'exploitation d'environ 2600 à 4500 dollars par tonne de soufre enlevé.

La réduction des émissions de dioxyde de soufre dans les raffineries existantes entraînerait des coûts plus élevés et de beaucoup, pour la réduction des trois polluants visés par la proposition de Directive.

La désulfuration des gaz de combustion, en dépit du capital élevé et des frais d'exploitation est une technique beaucoup moins coûteuse pour la réduction de SO<sub>2</sub> que la désulfuration ou la gazéification de l'huile de raffinerie seule. Cependant, on ne dispose que d'une expérience commerciale limitée pour les procédés de désulfuration des gaz de combustion dans les raffineries de pétrole.

Les brûleurs à bas NOx ne permettront pas forcément d'atteindre l'objectif de réduction à 40 % et l'adaptation des installations existantes serait impossible dans beaucoup, sinon dans la majorité des dispositifs de combustion des raffineries. C'est pourquoi les procédés de dénitrification thermique et catalytique ont été étudiés sous l'angle des coûts. Cependant, il y aura des situations où les brûleurs à bas NOx pourraient apporter leur participation à la réduction globale des NOx.

La réduction des poussières dans les installations de combustion brûlant des hydrocarbures est probablement réalisée au mieux avec un dépoussiéreur électrostatique ; cependant on ne dispose que d'expérience limitée sur ce type d'installation.

La mise aux normes d'émission des raffineries existantes serait difficile en raison des contraintes liées au terrain et de la multiplicité des cheminées dans certaines d'entre elles.

Les implications des procédés de mises aux normes d'émission, particulièrement la désulfuration des gaz de combustion, pourraient nécessiter des investissements ultérieurs substantiels dans certaines raffineries, par exemple, de nouvelles cheminées et des réseaux de conduits.

L'élimination des résidus à une échelle importante est exigée par les dépoussiéreurs électrostatiques et par bien des procédés de désulfuration des gaz pris en considération.

Des modifications de l'équipement de combustion peuvent contribuer à une réduction globale des émissions de poussières, mais probablement pas dans une mesure suffisante pour atteindre le taux de 40 %."

\*

\* \*

En conclusion, les prescriptions de réduction de polluants en pourcentage (art.3) doivent pouvoir être respectées aisément pour la France ; il n'en va pas de même des valeurs limites d'émission (art. 4) même si pour le SO<sub>2</sub> cela ne concerne qu'une partie limitée de la production électrique ; en outre, des difficultés peuvent apparaître dans l'industrie ou pour le gaz (NOx seulement) notamment pour des installations de puissance limitée (- de 100MW). Enfin, les valeurs limites retenues pour les NOx posent des problèmes dont la solution peut être excessivement coûteuse.. à condition qu'elle soit envisageable. Il est vrai que cette dernière remarque est applicable aux autres Etats membres.

### 5° Une réponse adaptée ?

L'analyse détaillée du dispositif à laquelle sont conduits tous ceux qui abordent le problème des émissions industrielles, qu'ils soient spécialistes ou généralistes, du secteur public ou du secteur privé, ne doit pas faire oublier l'objectif principal des mesures proposées pas plus que l'environnement écologique, économique et technique dans lequel il doit s'insérer.

L'objectif principal est la diminution des émissions d'agents polluants impliqués dans la pollution atmosphérique à longue distance, nombre d'entre eux ( $SO_2$ ) étant naturellement impliqués également dans la pollution de proximité. Ici encore, la distinction entre pollution longue distance et pollution de proximité n'est pas aisée à faire : en combattant celle-là, on combat aussi par le fait, celle-ci et l'inverse est partiellement vrai si l'on fait abstraction de la solution que constituent les hautes cheminées.

Les normes, les pourcentages, les prescriptions de procédés, les mesures ne gardent leur valeur que si on les rapproche à chaque fois de cet objectif principal.

Par ailleurs, la nécessité de rappeler l'environnement du dispositif s'impose : on ne saurait prendre les mesures ci-dessus évoquées si l'on oublie d'autres sources de pollution parce que non réglementées, d'autres phénomènes de pollution parce que difficiles à connaître, si l'on ignore la réalité des possibilités techniques ou la dimension économique de solutions peut être séduisantes mais financièrement impraticables.

Au delà du mécanisme et des dispositions de la proposition de directive qui ont été exposés, il convient ici d'indiquer les observations éventuellement critiques qu'appelle ce texte dans cette perspective.

On abordera successivement : la réalité de l'autonomie d'action laissée aux états membres, la méthodologie qui caractérise l'élaboration de la proposition de directive, les problèmes posés par la définition du champ d'application et le postulat de neutralité entre les sources d'énergie. On évoquera enfin l'action complémentaire que constitue l'abaissement du taux de soufre des hydrocarbures.

#### 5°-1- La réalité de l'autonomie d'action des états membres

L'exposé des motifs de la proposition de directive souligne la souplesse d'un dispositif qui repose sur deux prescriptions complémentaires : la réduction globale en pourcentage des émissions de polluants des grandes installations de combustion et les valeurs limites imposées à chaque combustible. Cette affirmation apparaît fondée dans son principe mais elle peut perdre une bonne partie de sa consistance si dans les faits, les valeurs retenues contraignent à recourir à des solutions ou des procédés spécifiques quelquefois inadaptés ou excessivement coûteux.

\* Une illustration de ce type de situation est fournie par les centrales électriques fonctionnant en pointe qui risquent de se voir imposer des normes d'émission identiques à celles des centrales fonctionnant en base. Or, la masse de polluants émis par les premières est évidemment incomparablement plus faible sur l'ensemble de l'année et les coûts de dépollution y sont considérablement plus élevés en raison du faible nombre d'heures de fonctionnement (cf supra). Un cas particulier de cette situation est fourni par les turbines à gaz dont la durée d'utilisation est inférieure à 400 heures par an ; on devrait alors non seulement avoir recours à des combustibles liquides à très basse teneur en soufre mais encore procéder à la dénitrification des fumées : la dernière version de la proposition de directive en a heureusement tenu compte en les excluant du champ d'application.

\* Le niveau des normes retenues pour les oxydes d'azotes avant mais surtout après 1995 imposerait en fait la mise en oeuvre de procédés coûteux. Pour les centrales thermiques, si jusqu'en 1995 le respect des normes pourra être assuré par l'aménagement des processus de combustion (brûleurs à bas NOx, etc), après 1995, on serait contraint à la dénitrification des fumées de toutes les installations. En outre, avant 1995, si l'atteinte du pourcentage global de dépollution fixé (- 40 %) imposait la modification d'installations anciennes ce qui, il est vrai, est très peu probable en France dans l'état actuel de la proposition, il faudrait également procéder à la dénitrification des fumées de celles-ci ce qui serait très coûteux car les technologies mises en oeuvre dans les installations nouvelles pour la réduction des NOx et la combustion leur sont très difficilement transposables. Or le profit que l'on peut escompter pour l'environnement de la fixation de normes d'émission aussi sévères pour les NOx paraît extrêmement faible par rapport à l'ensemble des émissions dans lesquelles, rappelons-le, les transports ont désormais la part prépondérante. On se trouve là dans une situation caractéristique où l'effort demandé serait disproportionné au bénéfice attendu.

\* L'autonomie d'action pourrait aussi pâtir de normes différenciées suivant les techniques mises en oeuvre. A ce sujet, on observe que les valeurs proposées pour les NOx émis à partir de combustibles solides dans les installations de moins de 100MWth sont supérieures pour une catégorie de foyer. En outre, il doit être signalé que les prescriptions du décret allemand du 22 juin 1983 prévoient sur ce point mais aussi pour le SO<sub>2</sub> des normes différentes pour les foyers à grille ou à charbon pulvérisé (2 000 mg/Nm<sup>3</sup> contre 650 dans le cas général) et pour les foyers à lit fluidisé. Au niveau communautaire, il convient que les valeurs limites sont respectées quelle que soit la technique mise en oeuvre.

\*L'application à des situations atypiques des dispositions prévues, notamment des normes d'émission exprimées en polluants par volume peut imposer en fait des actions coûteuses et sans alternative qu ne peuvent être ignorées. La France ne semble pas concernée par ce cas de figure, à l'exception des D.O.M. pour lesquels il est clair qu'ils doivent être exclus du champ d'application d'un texte qui ne saurait les viser, compte tenu du caractère géographique de son objectif. En revanche, des aménagements qui ne portent pas atteinte à l'économie de la future directive seront à envisager pour certaines situations existantes dans les plus petits des états membres où la part d'une seule installation peut peser d'une façon prépondérante sur un pourcentage national.

## 5°-2- Une méthodologie inhabituelle

Le principe d'une réduction générale des émissions polluantes ayant été retenu au début de l'année 1983 à la demande pressante de la République Fédérale d'Allemagne (Conseil européen de Stuttgart) on s'est référé aux indications données lors des conférences spécialisées pour fixer les pourcentages globaux de réduction (conférence de Stockholm en 1982 et colloque de Karlsruhe en 1983) (1). On observe que l'on était encore dans une logique d'acidification des sols davantage que dans celui d'une pollution longue distance où les photooxydants joueraient un rôle important. Les normes d'émission des installations, quant à elles, ont été évaluées à partir de celles du décret allemand du 22 juin 1983. Il est évident que le gouvernement fédéral lors de l'élaboration de ce dernier texte, a pris en compte les exigences de la situation allemande où le niveau de pollution est élevé (14,1 tonnes de  $SO_2/km^2$  en 1982 contre 5,3 en France), où les industries polluantes sont plus développées et plus concentrées, où le charbon joue et continue à jouer un rôle essentiel dans la production d'énergie électrique. En outre, même si l'on tient compte des directives sur la qualité de l'air ( $SO_2$ , poussières surtout) il n'existait à l'époque pas de dispositions communautaires pouvant gêner sa liberté d'action.

La transposition du décret fédéral, texte certainement bien adapté à la situation allemande, n'est pas sans poser de problèmes car précisément les situations des autres états membres sont loin d'être comparables dans la plupart des cas. Les auteurs de la proposition de directive ont évidemment le souci d'en tenir compte et on a vu que les dispositifs étaient différents (absence d'exigence directe de mise en conformité pour les installations anciennes, moindres différenciations des normes selon les procédés et surtout instauration de pourcentages globaux de réduction des trois polluants). Il n'en reste pas moins que le projet de texte européen est marqué par une certaine logique dont les implications, au niveau européen, sont contestables : on va le voir pour l'exigence de recours à certains procédés et pour la métrologie. En outre, le parallélisme entre les deux textes va au-delà des projets initiaux.

Ainsi, peu après l'entrée en vigueur du décret du 22 juin 1983, la conférence des Ministres de l'environnement de la République Fédérale d'Allemagne a décidé en avril 1984 un durcissement considérable des normes d'émission d'oxyde d'azote (2). Après le débat à l'Assemblée parlementaire des communautés européennes en novembre 1984, la Commission acceptait un certain nombre d'amendements : parmi ceux-ci on relève un renforcement des valeurs limites :

- pour le  $SO_2$  (installations de puissance intermédiaire utilisant des combustibles solides) ;

---

(1) Ainsi que le précise l'exposé des motifs de la proposition de directive :

" Les pourcentages de réduction requises pour le  $SO_2$  et les  $NO_x$  se justifient par les conclusions du Symposium de Karlsruhe (septembre 1983) et celles de la conférence ministérielle de Stockholm (juin 1982) qui ont démontré que la balance entre la déposition totale de composés acides et la capacité de neutralisation de nos sols ne peut être rééquilibrée à moyen terme que par une réduction d'au moins 50 % des émissions de ces substances.

(2) Pour les nouvelles installations, l'évolution des normes est la suivante :  
Combustibles solides : 200  $mg/m^3$  pour les plus de 300 MW et 400  $mg/m^3$  de 50 à 300 MW contre 900  $mg/m^3$  précédemment.

Combustibles liquides : 150  $mg/m^3$  et 300  $mg/m^3$  contre 450 précédemment.

Combustibles gazeux : 100  $mg/m^3$  et 200  $mg/m^3$  contre 350 précédemment.

- pour les NOx, pour toutes les installations et tous les combustibles après 1995, et dès la première phase, dans une moindre mesure, pour les plus importantes qui utilisent des combustibles solides.

\* Malgré des références indiscutables et tangibles dans l'exposé des motifs à des procédés d'anti ou de dépollution existants, il apparaît que certaines normes ont été fixées en fonction du souhaitable mais pas toujours du possible, essentiellement en ce qui concerne les valeurs limites d'émission applicables après 1995.

On a en fait anticipé sur les progrès que l'évolution technologique devrait permettre de réaliser en tablant sur l'amélioration éventuelle du rendement des dispositifs, ceux d'épuration des fumées par exemple. En outre, cette sévérisation postule que les mesures prises jusque là n'auront pas été suffisamment efficaces. Il y a lieu de souligner d'ailleurs qu'aucune réduction supplémentaire des émissions globales (en pourcentage) n'est envisagée au delà de cette date ; cette sévérisation apparaît donc dépourvue de fondement.

Les décideurs, plus particulièrement pour des installations aussi importantes, ont certes besoin de connaître le maximum de paramètres longtemps à l'avance mais plutôt que de s'engager au delà de 1995 il conviendrait davantage d'apprécier les résultats des mesures à prendre prochainement, de les relier aux études et travaux qui auront permis de mieux cerner les effets de la pollution à longue distance et peut être d'établir scientifiquement et quantitativement le lien de causalité. La confirmation de cette anticipation du droit sur la technologie a été administrée lors de la réunion du Conseil le 27 juin 1985 :

"Au cours d'un échange de vues sur la proposition de la Commission, toutes les délégations ont réaffirmé l'importance qu'elles attachent à ce projet, qui constitue un élément important dans la lutte contre la pollution de l'air. Aucun progrès n'a cependant été réalisé sur ce dossier, le Conseil ayant constaté que les travaux techniques qu'il avait demandés à la Commission ne sont pas encore tout à fait achevés compte tenu de la haute complexité de cet exercice".(1)

5°-3- Une application de cette méthodologie : les exigences de mesures

Cette anticipation ne s'observe pas seulement pour les procédés de combustion ou de traitement des combustibles et/ou des effluents mais aussi pour les mesures des émissions et des paramètres nécessaires à leur interprétation. Là aussi il arrive que la norme précède la technique de l'instrumentation métrologique. On ne peut éviter d'ici quelques précisions d'ordre technique.

La proposition de directive a prévu dans ses articles 13 à 15, l'installation d'instruments de mesure en continu sur toutes les installations de plus de 50 MWth. Ces instruments mesureront les 3 polluants considérés et nécessairement d'autres grandeurs telles que débit de gaz brûlé et l'excès d'oxygène. Il s'agira là d'une dépense très importante pour des appareils en général et pour le moment assez peu disponibles en France (peu ou pas de constructeurs français) et qui n'ont pas forcément la robustesse nécessaire en milieu industriel.

---

(1) Agence "EUROPE" du 29 juin 1985 - N° 4130



Mais ce n'est pas suffisant. Dès maintenant chaque membre de la Communauté doit connaître ses émissions, en particulier celles des installations de plus de 50 MWth et surtout celles de l'année de référence 1980.

Une enquête est en cours de réalisation à la demande de la Commission des Communautés pour inventorier les émissions en 1980 et en 1983 pour chaque catégorie de grande installation. Il existe de bonnes références statistiques en République Fédérale d'Allemagne, aux Pays-Bas et en France mais cela n'est pas le cas partout. Les données manquent souvent pour pouvoir réaliser les études de modélisation telles celles pratiquées aux Pays Bas, on est obligé de recourir aux évaluations par les "facteurs d'émission".

#### \* Les facteurs d'émission

Par ce moyen on obtient les émissions globales en multipliant ces facteurs par une grandeur par exemple le tonnage de combustible brûlé ou, en dehors des combustions, par le nombre ou le tonnage des objets ou produits fabriqués. Rien ne paraît plus simple que de multiplier un tonnage de combustible brûlé par un facteur d'émission. Mais ces facteurs sont-ils significatifs ?

Pour le dioxyde de soufre on peut calculer les quantités de  $SO_2$  émises si l'on connaît la teneur en soufre du combustible. Un kilogramme de soufre donne exactement deux kilogrammes de dioxyde de soufre qui seront émis à peu près intégralement s'il s'agit de combustibles gazeux ou liquides. Par contre, pour chaque qualité de combustible solide, des mesures sont nécessaires pour connaître le pourcentage de  $SO_2$  retenu éventuellement par l'alcalinité des cendres (par exemple 30 % dans le cas du lignite de Gardanne).

Une bonne connaissance des quantités de combustibles brûlés et de leurs teneurs en soufre peuvent conduire à une estimation exacte à  $\pm 5$  % des émissions globales.

Les difficultés sont beaucoup plus grandes du côté des oxydes d'azote où trois séries de paramètres interviennent : les combustibles (teneurs en azote combiné, pouvoir calorifique, teneur en humidité, en cendres, etc...), la structure du foyer (taille du foyer, intensité de combustion, type de brûleur ou de mode de combustion, d'entrées d'air, de recyclage de gaz brûlés, etc...) et les paramètres de réglage (excès d'air, allure de marche charge nominale ou charge réduite).

Il apparaît que l'on ne peut raisonnablement travailler avec les facteurs d'émission que si l'on dispose d'une "batterie" de tels facteurs, tenant compte de la nature du combustible, de la taille de l'unité, du type de foyer, et de la charge de l'unité. Bien entendu, chaque facteur devra s'appuyer sur un échantillon de mesures, ces mesures étant encore trop rares dans le domaine des oxydes d'azote.

Les facteurs d'émission donnés dans la littérature sont en général modulés selon le combustible (fuel lourd pétrolier, charbon, lignite, gaz naturel), selon la taille de l'unité (chaudière de centrale thermique, chaudières ou fours industriels, chauffage domestique) et parfois (pas toujours) selon la charge. On va rarement au delà dans la précision.

Etant donné le manque de données expérimentales sur les émissions de  $NO_x$ , et l'imprécision des facteurs d'émission, il n'apparaît pas que l'on puisse, au niveau d'un grand ensemble d'installations, espérer une précision meilleure que  $\pm 15$  à  $20$  % sur les estimations d'émissions d'oxydes d'azote.

Pour les poussières il existe également des facteurs d'émissions.

Comme dans le cas des NOx, il faudrait une batterie de facteurs d'émission modulée selon le type de combustible (c'est le cas actuellement) mais aussi le type de dépoussiéreur (s'il y en a un) sinon le mode de combustion : une combustion sur grille, plus tranquille, donne moins d'émission qu'une combustion de charbon pulvérisé ou un foyer à projection.

Sur un ensemble important d'installations de combustion, au niveau d'une nation par exemple, on ne peut guère espérer une précision meilleure que  $\pm 15$  à  $20$  % sur l'évaluation des émissions globales.

\* Les mesures en continu

On a vu que la proposition de directive impose la mesure en continu des émissions pour toutes les installations nouvelles et dans beaucoup d'installations anciennes quelle que soit leur puissance thermique (plus de 10 000 heures de fonctionnement résiduel).

Cette opération est beaucoup plus coûteuse qu'une mesure périodique des émissions, particulièrement pour les installations anciennes qui nécessiteront des aménagements spéciaux pour la pose et l'entretien des appareils de mesures. La mesure en continu des émissions devrait être exceptionnelle et réservée aux très grosses installations de combustion (neuves et anciennes) qui ont une durée d'utilisation annuelle élevée. Par ailleurs, elle ne se justifie pas pour les installations ayant une faible durée de fonctionnement.

La mesure en continu des oxydes d'azote recèle des difficultés techniques et financières. Pour les poussières, la mesure des émissions soulève également des problèmes. Si l'on met à part les méthodes pondérales qui ne permettent des mesures qu'en discontinu (1) il existe deux groupes de méthodes :

- les méthodes optiques : les propriétés optiques des gaz brûlés (transparence, diffusion) dépendent de leur teneur en poussières. La mesure est simple, continue, malheureusement pas vraiment pondérale. On peut certes étalonner l'appareil (opacimètre le plus souvent) avec des mesures pondérales vraies, mais l'étalonnage dépend de la finesse des particules imbrûlées. En effet les particules les plus fines ont un effet optique important et ne représentent qu'une faible masse. L'opacimètre peut toutefois prévenir les opérateurs d'un dérèglement de la chauffe.

- les méthodes pondérales continues : l'absorption d'un rayonnement bêta est fonction de la masse soumise au rayonnement. Il y a là le principe d'une très élégante méthode de mesure continue, mais il n'est pas sûr que les appareils sur le marché aient pour le moment une "rusticité" suffisante pour un usage vraiment industriel, et non pas seulement en laboratoire.

---

(1) On prélève et on filtre un échantillon de gaz de volume connu. On pèse le filtre avant et après le prélèvement. La méthode est normalisée avec rigueur et est prescrite par certains règlements. Pour une seule mesure, elle demande l'intervention de plusieurs opérateurs pendant plusieurs heures et la mesure se fait en un point bien choisi de l'installation, souvent d'accès difficile (échelle, passerelle, etc..)

Avant d'en terminer avec les problèmes posés par la métrologie, au sens large du terme, il doit être clair que le relevé des mesures d'émission, leur appréciation et leur interprétation devront se faire sur une base homogène sans régime dérogatoire qui ôterait toute possibilité de comparaison et dès lors toute portée à la directive. Les précisions apportées sur la méthodologie (art. 13 à 15 et annexe II) sont donc (quand elles sont réalisables ...) tout à fait opportunes. On peut d'ailleurs regretter que certaines conditions de mesures (localisation des points de mesure) par exemple, ne soient pas indiquées.

Le rappel de cette nécessité de comparabilité nous paraît devoir être fait dans la mesure où précédemment, cet objectif n'a pas été atteint avec la directive de juillet 1980 (SO<sub>2</sub>, poussières) sur la qualité de l'air. En effet, le gouvernement fédéral allemand a obtenu qu'une méthodologie spécifique de mesure puisse être appliquée à ce pays. Elle est formulée dans l'annexe IV de cette directive.

Ainsi, alors que selon l'annexe 1 (applicables dans tous les états membres sauf l'Allemagne) il y a non conformité d'une zone si un seul capteur dépasse la limite, capteur qui doit être implanté au point le plus pollué, selon l'annexe IV on fait la moyenne de 16 points de mesure dans une zone de 16 km<sup>2</sup>. Aussi n'est-il pas étonnant qu'à partir de tels procédés de mesure la qualité de l'air apparaissent parfaite en R.F.A ; en 1983 les nombres de zones où les normes ont été dépassées ont été les suivants par pays :

Irlande	1
République Fédérale d'Allemagne	1
Luxembourg	2
France	17
Grande Bretagne	28
Italie	78

Or, pour se limiter au SO<sub>2</sub> rappelons que les émissions ont été en 1982 en Allemagne de 14,1 tonne/km<sup>2</sup>, en France de 5,3 et en Irlande de 3,8, et que l'Allemagne a connu, notamment pendant les grands froids de janvier 1985, des épisodes de pollution (de proximité) particulièrement graves qui ont exigé, en l'occurrence, des mesures drastiques.

Si le mode de calcul spécifique de l'annexe IV qui vise l'exposition moyenne n'est sans doute pas sans intérêt, notamment pour la connaissance de la pollution à longue distance (qui n'est pas d'ailleurs pas l'objet de la directive de 1980) il introduit sous forme de dérogation une distorsion qu'il vaut mieux éviter dans tous les cas. Il doit être signalé d'ailleurs que la récente directive sur la teneur de l'air en oxyde d'azote ne comporte pas une telle disposition.

#### 5°-4- Un champ d'application qui reste à préciser

Dès le début des travaux d'élaboration de la proposition de directive, les dispositions relatives à la détermination des installations visées par le texte ont été l'objet de controverses. On se gardera d'analyser l'ensemble de celles-ci. Ainsi, la limite inférieure de 50 MW a été et reste discutée. Certains gouvernements estiment que la très grande majorité des polluants (au moins 75 %) seraient émis par des installations de plus de 100MW. Placer la limite à ce

niveau éviterait donc de coûteux investissements sur de petites installations où cela représente une charge particulièrement élevée alors que l'efficacité du dispositif juridique ne serait que faiblement affecté. D'autres arguments peuvent être avancés à l'encontre de cette position. En l'absence de données statistiques suffisamment précises et qui en outre peuvent très fortement varier d'un pays à l'autre (sans parler des problèmes de comparabilité liés à la météorologie...) il ne nous paraît pas possible de prendre sur ce point une position précise encore que le souci de l'efficacité doit rester prioritaire. Par ailleurs, les discussions relatives à la validité de la computation à partir de la cheminée commune fictive semblent avoir fait long feu.

On se limitera ici à signaler les points sur lesquels une meilleure adéquation peut être recherchée.

\* La définition donnée à l'art. 2 des installations de combustion qui fait référence "aux fins de production d'énergie par brûlage du combustible" est d'une ambiguïté dangereuse car elle pourrait laisser croire que les centrales électriques sont seules visées par la directive. Il apparaît donc nécessaire de faire aussi référence à l'utilisation de "la chaleur".

\* L'article premier de la proposition exclut expressément du champ d'application "les installations de combustion destinées à sécher ou à traiter des objets ou matériaux par contact avec les gaz de combustion à l'exception des installations de cimenteries, de briquetteries et de grillage des minerais", et les "dispositifs de post-combustion".

Ces "exclusions de l'exception" apparaissent fort contestables. Il semblerait à la lumière des travaux les plus récents qu'elles seraient supprimées. Rappelons que les catégories exclues doivent en règle générale satisfaire à des exigences plus sévères concernant la teneur en polluants des gaz afin de ne pas détériorer les objets en contact avec ceux-ci.

Il conviendrait par ailleurs, pour des raisons à la fois techniques et économiques, de prévoir à tout le moins un régime spécifique pour certains dispositifs propres aux activités pétrolières (régénération des catalyseurs de crackage catalytique, brûlage des gaz résiduels des unités de désulfuration des distillats) et les réacteurs de l'industrie chimique.

\* Enfin l'assimilation prévue à l'art. 4 aux installations nouvelles des installations ancienne "substantiellement modifiées" pourrait avoir un effet pervers. Son objectif est semble-t-il d'éviter que par le biais d'une modification apportée à une installation ancienne (lesquelles ne sont pas soumises aux normes d'émission) on évite d'ouvrir une installation nouvelle, ce qui serait ainsi un moyen d'éluider une partie des obligations imposées par la directive. Mais ce faisant, on décourage toute adaptation des installations anciennes (qui en pourcentage resteront prépondérantes par rapport aux nouvelles) dans le sens d'une diminution des émissions polluantes dès lors que les résultats ne seraient pas au niveau de normes prévues. En outre, pourrait se poser la question des centrales anciennes "mises sous cocon" puis remises en service.

5°-5- Le postulat du statu quo entre les sources d'énergie et la recherche d'une absence de distorsion entre les conditions de concurrence

L'exposé des motifs de la proposition de directive précise clairement et à plusieurs reprises qu'un postulat et un objectif inspirent ce texte. Le postulat est celui du maintien de la situation compétitive actuelle entre les différents combustibles. L'objectif est celui d'une absence de distorsion entre les

différents états membres, la lutte contre la pollution atmosphérique étant considérée comme un facteur susceptible d'entraîner des distorsions, lesquelles seraient en opposition avec le traité de Rome.

\* Le postulat peut être résumé par cette phrase du commentaire de l'art.4 : "Les valeurs limites (celles de l'annexe 1) ont été choisies de manière à ne pas modifier la situation compétitive entre les différents combustibles, notamment entre le charbon et le pétrole".

Ce souci de neutralité à partir du statu quo se comprend pour plusieurs raisons. Tous les états n'ont pas la même structure d'approvisionnement énergétique et l'équilibre que chacun a trouvé dans une conjoncture économique difficile et une conjoncture énergétique parfois instable ne saurait être menacé par un texte comme celui-là ; on risquerait alors d'entraîner des comportements de refus, de rejet. En outre, certains états disposent de ressources énergétiques indigènes (charbon en Allemagne et en Grande Bretagne particulièrement) dont on ne peut faire abstraction ; il serait vain d'ignorer cette réalité.

Par ailleurs, l'ignorance des situations de départ pourrait entraîner un brutal afflux de demande d'énergie peu ou non polluante propre à bouleverser les cours et les équilibres économiques. Enfin, il peut être préférable dans certains cas d'orienter la consommation d'énergies peu polluantes vers des usages plus "nobles", plus adaptés.

Mais d'un autre côté, il convient impérieusement de garder à l'esprit l'objectif de la directive et de l'action communautaire : la réduction des émissions des trois pollutions incriminées. Or le souci prioritaire de maintenir indéfiniment un statut quo de départ, qui par définition, ne prenait qu'assez peu en compte les exigences environnementales, va directement à l'encontre de cet objectif. Le handicap dont on charge, comme dans une course de chevaux, la source d'énergie la plus performante au regard de l'anti-pollution, peut non seulement freiner son usage, mais dans certains cas le décourager. Ainsi en est-il avec les normes fixées pour la période postérieure à 1995 en ce qui concerne les oxydes d'azote pour le charbon d'une part et le gaz d'autre part(1). Les coûts qui peuvent être induits risquent dans certains cas d'être prohibitifs.

On se trouve alors dans une situation où le souci de "neutralité" aura pour effet d'encourager y compris à long terme les sources d'énergie les plus polluantes. Singulier paradoxe pour une législation qui se fixe pour objectif une réduction drastique de la pollution atmosphérique.

\* L'absence de distorsion entre les conditions de concurrence des états-membres recoupe partiellement le problème précédent dans la mesure où chacun a une situation énergétique spécifique. Mais il a d'autres aspects : situation des industries de dépollution, méthodes alternatives de diminution de la pollution : recours aux sources non polluantes (nucléaire) et aux économies d'énergie. On ne doit en effet pas perdre de vue que ces dernières contribuent le plus efficacement à la réduction de la pollution. Elles ne sauraient donc être ignorées.

---

(1) Pour le charbon la norme est de 200 mg/Nm<sup>3</sup> pour les plus de 300 MW, 400 mg/Nm<sup>3</sup> pour les moins de 300 MW et 800 mg/Nm<sup>3</sup> pour les foyers à charbon dur avec extraction des cendres fondues ; pour le gaz, dans tous les cas la norme est de 100 mg/N<sup>3</sup>.

5°-6- Une action complémentaire : l'abaissement du taux de soufre des hydrocarbures utilisés comme combustibles.

La Commission des Communautés a proposé il y a quelques mois au Conseil des Ministres de réduire la teneur en soufre du gazole utilisé dans les installations de chauffage central domestique ainsi que dans d'autres installations fixes et dans les véhicules. Le gazole contribue à hauteur de 6 % environ aux émissions totales de SO<sub>2</sub> dans toute la communauté (8 % en France, 9 % en Allemagne, 2,3 % en Grande Bretagne).

Actuellement, cette teneur en soufre est réglementée au niveau européen, chaque Etat membre fixant pour lui-même une valeur maximale qui doit être comprise entre 0,3 % et 0,5 % (elle est de 0,3 % en France).

La Commission des Communautés propose que les gazoles ne puissent pas avoir une teneur en soufre supérieure à 0,3 %, la valeur de 0,2 % pouvant être fixée pour certaines zones connaissant de graves problèmes d'environnement ; les Etats membres ne seraient plus habilités à fixer eux-mêmes une valeur limite plus faible.

Cette mesure permettrait d'abaisser de 360 000 tonnes au niveau communautaire les émissions de SO<sub>2</sub> des chauffages domestiques et des véhicules diesel.

En présentant ces propositions, la Commission fait remarquer que même si ces produits ne représentent qu'une part relativement mineure des émissions totales de SO<sub>2</sub>, ils jouent encore un rôle non négligeable dans l'apparition des problèmes spécifiques tels que la corrosion des matériaux et la dégradation de l'environnement urbain. De plus, dans certaines conditions météorologiques, les risques existent pour la santé (combustion de gazole pour le chauffage domestique). La valeur moyenne de la teneur en soufre a été en diminuant au cours de ces dernières années, mais si des mesures appropriées ne sont pas prises tout de suite, la Commission craint qu'une disponibilité plus limitée de pétrole à faible teneur en soufre ne puisse à terme faire remonter cette valeur vers 0,5 %.

Cette proposition constitue un exemple de mesure souhaitable pour compléter l'action d'ensemble menée spécifiquement sur les grandes installations de combustion.

Cela dit, il faut savoir que l'on rencontre un moment donné des limites qui rendent un progrès supplémentaire très difficile. Ainsi, passer de 0,4 % à 0,3 % (teneur pondérale en soufre du gazole) entraîne une augmentation du prix de 5 % à 6 %. Si l'on voulait aller jusqu'à 0,2 %, le surcoût serait multiplié par 2 ou par 3.

C'est un problème analogue que l'on rencontre avec le fioul lourd. Sa teneur est en moyenne de 2,5 %. L'élimination de 30 % du soufre qu'il contient se heurterait à d'importantes difficultés techniques (une seule expérience de ce type a été faite au Japon).

Le CITEPA a attiré notre attention sur ce problème dans les termes suivants :

"Bien que les pouvoirs publics s'efforcent, par des taxes notamment, de décourager l'usage des fuels lourds, la production d'un certain tonnage de fuels sulfureux est inévitable. Un énorme problème va se poser : va-t-on recourir à la

conversion profonde, qui aboutirait à transformer pour l'essentiel les résidus en produits pétroliers légers, donc à plus haute valeur ajoutée ? Les procédés existent. Ils sont extrêmement coûteux et il est peu probable que la situation financière des raffineurs permette avant longtemps une telle opération.

Bien entendu, la désulfuration des fuels lourds sans autre transformation serait une absurdité économique.

- Une voie à priori moins coûteuse consisterait à réduire les résidus au maximum en vue de produire des charges de craquage catalytique et de brûler ces résidus (en fait du bitume) par un moyen désulfurant. La combustion en lit fluidisé désulfurant pourrait trouver là un débouché. L'opération pourrait aller jusqu'au coke de pétrole (qui aurait 5 à 7 % de soufre) et on rejoindrait là la "conversion profonde" évoquée ci-dessus.

Il s'agit en toute hypothèse, d'un problème difficile qui doit être envisagé dans sa globalité, technique, économique et écologique. L'objectif de la réduction à 0,2 % de la teneur en soufre est à retenir.

#### 6° Conclusion - une meilleure adéquation aux objectifs

La coordination de la lutte contre la pollution atmosphérique dans le cadre communautaire répond à l'évidence à une exigence de rationalité, d'efficacité et d'équité qui n'est pas discutable s'agissant d'un phénomène "à longue distance" et qui en tout cas, ignore les frontières d'états de dimensions réduites à l'échelle climatique. Si le principe est donc fondé, la recherche de la souplesse dans les mécanismes tout en fixant une obligation de résultats (pourcentages de diminution d'émissions) n'est pas contestable non plus ; en revanche, la méthode peut l'être, surtout lorsque l'accent est mis sur certains postulats économiques qui font perdre de vue l'objectif des dispositions proposées.

Quoiqu'il en soit, une meilleure adaptation peut être recherchée au plan communautaire. Une politique nationale doit aussi être menée sur les objectifs spécifiques qui ne peuvent ou ne font pas l'objet de dispositions européennes.

Par ailleurs, compte tenu de l'effort que la Communauté engage sur ce plan et sur d'autres (automobile), et de la part de ses émissions dans l'ensemble de l'Europe, il importe, que face à un phénomène à longue distance, elle se fixe aussi pour objectif d'obtenir une réduction significative des émissions qui lui sont extérieures et voisines et qui se trouvent être parmi les plus importantes en volume et les plus élevées en densité (Tchécoslovaquie, République Démocratique Allemande notamment).

#### 6°-1. Dans le cadre communautaire

Bien que susceptible d'être sensiblement améliorée, marquée par les conditions précipitées du début de son élaboration, la proposition de directive répond à un réel besoin. Il serait d'ailleurs inconcevable que les efforts exigés dans le domaine automobile et tout ce qui y est lié ne s'accompagnent pas de dispositions parallèles pour les grandes installations de combustions compte tenu de leur part dans les émissions polluantes.

L'adoption de ce texte, qui exige malheureusement un long délai, ne saurait toutefois être reportée au-delà d'une limite raisonnable.

Une meilleure adaptation du texte passe, selon nous, par les orientations suivantes :

**- Une adaptation des normes d'émission à une réduction effective du total de la pollution émise.**

L'application des mêmes normes aux installations fonctionnant en base et à celles fonctionnant en pointe est donc à exclure. Si l'on veut éviter le recours à des dérogations ou des dispositions excessivement complexes, la solution consiste à fixer des valeurs limites en quantité annuelle de polluant par puissance installée et par an plutôt qu'en polluant par volume de rejet. On aurait par exemple, pour les seules installations de plus de 300 MW des valeurs limites de 3,5 Kg/KWe/an pour le SO<sub>2</sub> (combustibles solides et liquide, ce qui serait à peu près équivalent aux normes de la proposition de directive. Compte tenu de la souplesse plus grande ainsi conférée au dispositif, une légère sévèrisation (de l'ordre de 10 %) des normes pour les rejets de dioxyde de soufre et les oxydes d'azote par les très grandes installations pourrait être envisagée.

**- Une fixation des normes d'émission d'oxydes d'azote à un niveau raisonnable**

On a noté le coût excessif d'une sévèrisation poussée de ces normes et le faible effet de celle-ci sur l'ensemble des émissions. L'insuffisant développement des procédés, la situation des industries communautaires dans cette filière, les difficultés des opérations de mesure, constituent des raisons supplémentaires de modération.

**- Un parallélisme dans la mise en oeuvre des deux principales dispositions**

La fixation dès maintenant de normes pour la période postérieure à 1995 apparaît pour le moins hasardeuse compte tenu des nombreuses données qui peuvent changer dans les 10 ans à venir. Si le principe d'une sévèrisation ultérieure, dont les normes seraient arrêtées en tout cas plus tard, devait être retenu, cela ne se concevrait pas sans la fixation d'une étape intermédiaire pour la réduction globale par polluant, à mi-chemin, par exemple en 1990 - (30 % pour le SO<sub>2</sub>, 20 % pour les NO<sub>x</sub>, 20 % pour les poussières) ; cela permettrait de s'assurer de l'effectivité du processus de réduction.

**- Un champ d'application incontestable**

Le problème posé par les installations "substantiellement modifiées" appelle une solution à la fois réaliste et efficace ; en outre, la situation spécifique de certaines activités implique une délimitation du champ d'application qui n'entraîne pas des surcoûts prohibitifs dès lors que l'évolution technologique ou des décisions administratives exigeraient des "modifications substantielles".

**- Des obligations de mesures praticables et adaptées**

Si l'intérêt de la connaissance précise des phénomènes est évident, les inconvénients d'obligations excessives ont été signalés. A partir d'exigences réalistes et adaptées aux besoins et aux possibilités actuelles, il serait opportun de prévoir un éventuel renforcement des prescriptions dans une deuxième phase de mise en oeuvre de la directive, la méthodologie de mesure étant uniforme dans l'ensemble des pays membres.



## **- Une "neutralité" plus effective entre les sources d'énergie**

La volonté de ne pas altérer le statut quo entre sources énergétiques ne saurait avoir pour effet de favoriser les plus polluantes ou de défavoriser les états membres qui orientent leur politique dans ce domaine d'une manière positive pour l'environnement. Les économies d'énergie constituent indiscutablement la forme la plus efficace de diminution des émissions polluantes (SO<sub>2</sub>, NOx, poussières)... juste avant l'énergie nucléaire. S'il est à la fois réaliste et légitime que les ressources "indigènes" des pays membres en combustibles fossiles sulfureux soient prises en compte et que les dispositions communautaires ne condamnent pas leur exploitation dans des conditions quand-même acceptables au regard des émissions, il serait paradoxal que cela entraîne corrélativement une pénalisation des énergies "propres".

Pour essentielle qu'elle soit, la directive projetée sur les grandes installations de combustion ne vise nécessairement qu'une partie des agents polluants et qu'une partie des émissions de chacun d'entre eux. Aussi, la Communauté a-t-elle prévu d'autres actions dans le domaine automobile avec la directive sur les effluents à l'échappement et avec des engagements concernant spécifiquement les véhicules lourds (diésels) et la limitation de vitesse ; elle a, on l'a vu, une action sur la teneur en soufre des combustibles liquides.

Des activités génératrices d'émissions subsistent néanmoins. Ainsi en est-il pour le chauffage domestique, dès lors qu'il ne s'agit pas de desserte par le chauffage urbain (d'au moins 50 MW), pour les activités agricoles et assimilées qui prennent une part importante aux émissions d'oxydes d'azote, pour les solvants (plus de 40 % des émissions d'hydrocarbures en 1983). Si des mesures au niveau communautaire ne sont pas nécessairement à exclure dans ces domaines, ce sont pour l'essentiel et dans l'immédiat des actions au niveau national qui sont à entreprendre.

### **-6°-2- Dans le cadre national**

La France a adopté une politique énergétique particulièrement favorable aux exigences d'environnement ; elle ne s'est pas pour autant abstenue d'agir dans les nombreux domaines où les émissions de polluants sont substantielles et on ne peut que rappeler ici les mesures prises en ce sens, outre le dispositif législatif et la constitution de réseaux de surveillance et d'alerte déjà évoqués (cf supra) :

- la fixation de teneurs maximales en soufre du fioul domestique et du gazole,
- la limitation de l'usage des cokes de pétrole les plus soufrés (au delà de 4 grammes de soufre par thermie) aux seules installations de combustion pourvues de dispositifs de désulfuration des fumées (juin 1985),
- l'intensification du programme d'intervention industrielle de l'AQA (agence pour la qualité de l'air) en le faisant porter notamment sur les dispositifs de désulfuration et de déchloruration et sur l'élimination et la récupération des solvants,
- et la création en juin 1985 du prélèvement parafiscal, sur les émissions de polluants qui financera une "mutuelle de l'air" ayant pour objet d'inciter et d'aider la réalisation d'installations d'épuration.

Le dispositif est maintenant connu et le récent débat budgétaire a permis de le présenter. En 1986, le produit de la taxe est estimé à 70 M de F (150 M en année pleine), compte tenu des dispositions prises dans l'arrêté accompagnant le décret (limitation de la taxe aux seules émissions d'oxydes de soufre dans un premier temps, limitation du taux à 130 F par tonne émise).

Le seuil d'assujettissement à la taxe est fonction de la puissance et de la pollution émise ; ainsi sont soumises à cette taxe les installations de plus de 50 MW ou rejetant plus de 2 500 T d'oxydes de soufre ou d'oxydes d'azote par an.

Le produit de cette taxe sera affecté :

- à des aides aux investissements de prévention ou de réduction des pollutions atmosphériques ;
- dans la limite de 10 %, à des aides aux actions de développement des techniques industrielles dans les domaines de la prévention, de la réduction ou de la mesure de la pollution atmosphérique ;
- dans la limite de 3 % à l'Agence pour la qualité de l'air, au titre des frais que celle-ci aura engagés pour la gestion technique et financière des opérations.

Ces aides seront accordées par un comité de gestion, composé pour moitié par des représentants des industries concernées.

Cette création constitue une action intéressante et appréciable. Apparentée dans son mécanisme au système des redevances et agences de bassin elle concrétise dans le domaine de la pollution atmosphérique le principe pollueur-payeur.

On ne peut toutefois la considérer comme le moyen exclusif de résorption de la pollution.

Tout d'abord les problèmes que pose la pollution atmosphérique ne sont pas analogues à ceux de la pollution des eaux.

Ensuite le montant de la taxe (130 F et même 200 F) créée ne permet pas de donner au mécanisme un caractère dissuasif ; mais si l'on voulait la porter à un niveau tel qu'il fasse préférer systématiquement la dépollution, elle serait alors excessivement lourde.

Par ailleurs, on note que les seuils d'ajustements ne paraissent pas coïncider avec la pollution effectivement émise : en effet, une centrale de 50 MW qui, brûlant du charbon à 1 % de teneur en soufre, émettra 850 T de polluant, sera soumise à la taxe alors qu'une usine produisant de l'acide sulfurique et rejetant 2 450 T de polluants ne le sera pas.

Il n'en reste pas moins que cette initiative de l'Etat est tout à fait opportune. Elle permettra le développement des procédés alors que la France est en retard dans ce domaine et elle accélérera ou permettra l'équipement des installations polluantes (400 environ entrant dans le champ d'application du texte).

D'autres mesures sont actuellement en cours d'élaboration. Portant le plus souvent sur des secteurs d'activités étroitement déterminés, elles font généralement l'objet d'une concertation avec les représentants de ceux-ci : il s'agit notamment des rejets d'hydrocarbures dans les industries utilisatrices de

solvants et du stockage des hydrocarbures (1). Il convient en effet de rappeler que sur 2,3 millions de tonnes d'émissions d'hydrocarbures estimées en 1983, si 38 % étaient imputables aux transports et 20 % aux activités industrielles générales, 42 % venaient du secteur des solvants (2).

Les principaux secteurs concernés sont les imprimeries et les industries graphiques, les peintures pour lesquelles on espère une réduction de 20% (soit 75 000 tonnes) des émissions en 1990 ; sont visées ici en premier lieu des installations industrielles de peinture (automobile, etc) en second lieu les fabricants de peinture eux-mêmes. Le nettoyage à sec et le dégraissage des métaux constituent le troisième secteur concerné. Pour substantielles qu'elles soient, ces actions ne permettront de réduire les émissions d'hydrocarbures que dans une proportion limitée. Des efforts doivent donc être faits dans un maximum de branches. Certains peuvent d'ailleurs se révéler économiquement profitables : un exemple mérite d'être cité à cet égard, c'est celui de la lutte contre l'évaporation des hydrocarbures dans les installations de stockage à commencer par les réservoirs des raffineries (plus de 1 500 m<sup>3</sup>)

Dans ce dernier cas, la généralisation de toits flottants empêchant l'évaporation permettra de réduire sensiblement les émissions d'hydrocarbures des installations de stockage ; la nouvelle réglementation actuellement en cours d'élaboration permettrait d'atteindre une réduction de 50 % en 1989. Le coût de cette mesure est compensé en partie par la récupération des produits. D'une manière générale, ainsi que les parties du présent rapport consacrées à l'automobile et aux activités pétrolières vont le montrer, des progrès très importants peuvent être faits dans la réduction des émissions d'hydrocarbures rien que dans les opérations de stockage, transport et distribution. S'agissant d'un domaine qui n'est couvert par aucune des directives existantes ou projetées, (les émissions d'hydrocarbures liées à la combustion par les véhicules étant exceptées), les actions tant d'origine publiques que professionnelles devraient y être développées avec vigueur, d'autant que contrairement à ce que l'on a pu noter pour d'autres polluants les solutions techniques existent (3) et sont le plus souvent d'un coût limité, parfois même nul, puisqu'elles permettent la récupération d'hydrocarbures ; en outre, les effets sur l'environnement se font ici sentir rapidement.

---

(1) Ces décisions porteront également sur les rejets d'acides chlorhydrique par les usines d'incinération d'ordures et de certains déchets ainsi que ceux d'acide fluorhydrique par les usines d'aluminium. Elles devront être prises d'ici le premier trimestre 1986.

(2) Source : Ministère de l'environnement.

(3) Les procédés industriels de réduction des émissions des composés organiques volatils permettent pour nombre d'entre eux une récupération du produit : condensation ou piégeage cryogénique adsorption sur une média solide, absorption par un liquide ; les techniques destructives, quant à elles permettent la récupération de la chaleur.

## II - L'AUTOMOBILE

### 1°) - Les émissions de polluants par l'automobile

Le rapport ERGA - I commandé par la Commission des communautés européennes à la mi-1983 estimait que plus de 70 % en volume des émissions d'un moteur à essence ordinaire sont constitués d'azote ayant franchi sans dégradation le stade de la combustion dans le moteur, 13 % par de la vapeur d'eau et 11 % par du gaz carbonique.

Ces différentes substances sont soit inoffensives soit non toxiques pour l'homme.

Par contre les quelques pour cent de gaz résiduels contiennent des produits considérés comme virtuellement nocifs.

Parmi ceux qui jouent un rôle déterminant dans la pollution atmosphérique on trouve :

- le monoxyde de carbone : CO ;
- les oxydes d'azote : NO<sub>x</sub> ;
- les hydrocarbures imbrûlés : HC

Ces émissions sont le fait des véhicules à allumage commandé et des véhicules à moteur Diesel.

#### Emissions comparées des véhicules à allumage commandé et des véhicules à moteur Diesel.

Gaz d'échappement	Plages approximatives de variation des concentrations	Evolutions caractéristiques avec les conditions de fonctionnement			
		Ralenti	Accélération	Marche stabilisée	Décélération
CO (%)					
Allumage commandé	0 à 10	2	4	0,5	4
Diesel	0 à 0,5	0,4	0,2	0,03	-
HC (p.p.m.C)					
Allumage commandé	0 à 100 000	5 000	3 000	2 000	30 000
Diesel	0 à 2 000	1 500	1 000	800	1 500
NO <sub>2</sub> (p.p.m.)					
Allumage commandé	0 à 5 000	30	1 200	1 000	30
Diesel	0 à 3 000	60	850	240	30
Débits de gaz (litre/min)					
Allumage commandé		200	3 000	800	500
Diesel		750	3 000	2 200	2 000

NB: p.p.m = parties par million

Enfin, les moteurs à explosion rejettent une quantité importante de particules en suspension dans l'air.

Celles-ci proviennent de la combustion incomplète du mélange ou de contaminants exogènes notamment métalliques (plomb).

Les moteurs Diesel émettent une concentration très importante de particules. Ce problème sera examiné dans le chapitre consacré aux véhicules à moteur Diesel.

Le rapport ERGA a évalué la place des émissions de polluants des automobiles en évaluant la "contribution actuelle" des véhicules automobiles définie comme la réduction de la concentration de polluants atmosphériques qui se produirait si les émissions des véhicules étaient éliminées, toutes les autres sources restant inchangées.

a) Le monoxyde de carbone (CO)

La contribution actuelle est estimée à 70 % mais des pics de concentration le long des trottoirs peuvent atteindre 100 %.

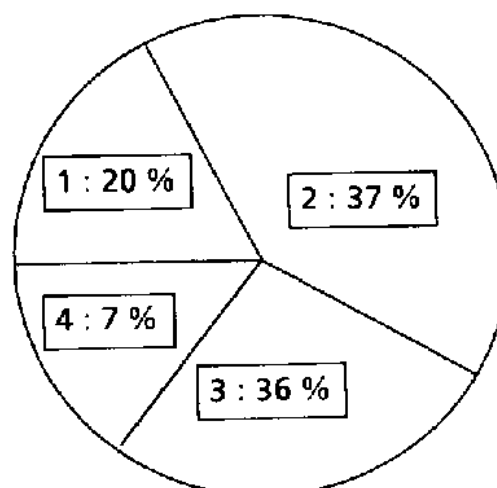
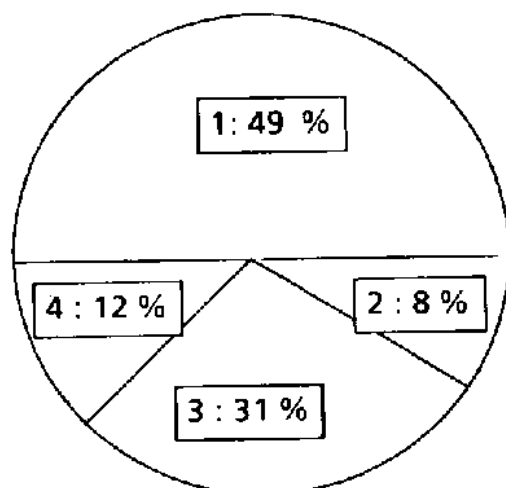
b) Les oxydes d'azote (NOx)

Sur une base annuelle agrégée la contribution actuelle des véhicules à moteur à la concentration ambiante serait d'environ 64 %.

Dans les régions urbaines elle est, en général de 50 à 70 %, et de 80 % environ le long des trottoirs.

La part des émissions de NOx émises par les automobiles dans les émissions totales n'a cessé de s'accroître entre 1973 et 1983.

**Origines des émissions de NOx en France en 1983 :  
par catégorie de véhicules et par utilisation.**



- 1: Véhicules particuliers à essence
- 2: Véhicules particuliers à moteur Diesel
- 3: Véhicules utilitaires à moteur Diesel
- 4: Véhicules utilitaires à moteur essence

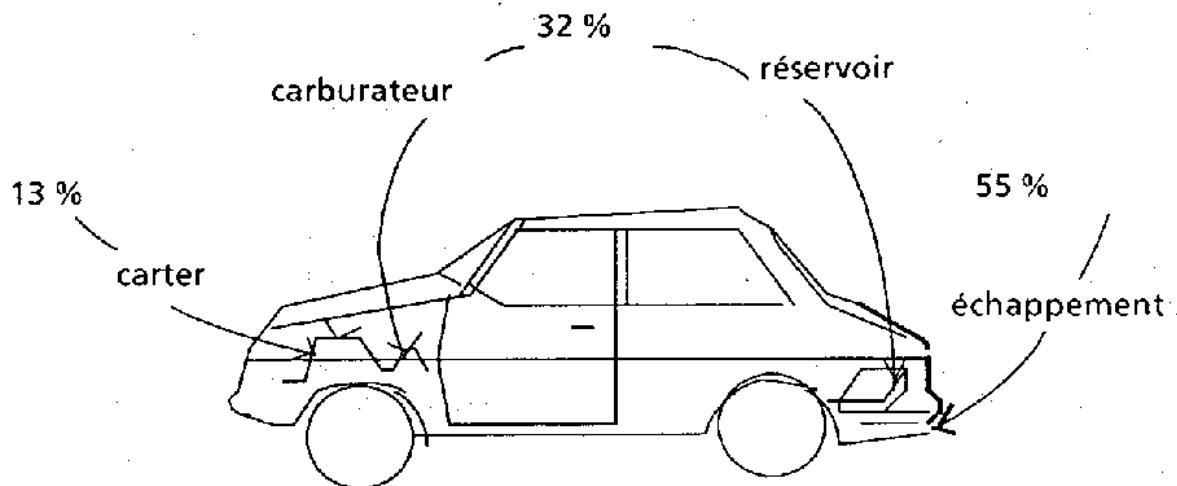
- 1: Véhicules particuliers en ville
- 2: Véhicules particuliers sur route
- 3: Véhicules utilitaires sur route
- 4: Véhicules utilitaires en ville

### c) Les hydrocarbures (HC)

Leur contribution est estimée à 20-40 %.

Outre les hydrocarbures contenus dans les gaz d'échappement, des émissions de HC se font par évaporation, notamment par temps chaud et lorsque le moteur est chaud.

Les émissions d'hydrocarbures par un véhicule fabriqué en 1975 étaient approximativement les suivantes :



Actuellement les émissions au niveau du carter ont été supprimées.

Outre les vapeurs ainsi émises par le véhicule, il faut prendre également en considération les émissions se produisant lors des opérations de remplissage non seulement des cuves, en dépôts et en stations-service, mais aussi des réservoirs des automobiles (estimées dans ce dernier cas à 5 %).

Aux Etats-Unis, des normes concernant l'évaporation des hydrocarbures pour les véhicules particuliers ont été fixées dès 1971 à 6 g/essai. Elles sont actuellement fixées en 1985 à 2 g/essai.

Aux Etats-Unis, les bouchons de réservoir contiennent du carbone actif absorbant les vapeurs, celles-ci revenant dans le réservoir au fur et à mesure qu'il se vide.

Par contre, lorsque l'on effectue le plein du réservoir, les vapeurs sont chassées à l'extérieur. C'est la raison pour laquelle actuellement aux Etats-Unis, un débat a lieu sur les évaporations d'essence pendant les opérations de remplissage des réservoirs. Compte tenu des contrôles déjà assurés à l'échappement et à l'évaporation cette opération de remplissage représenterait aux Etats-Unis en moyenne actuellement environ le tiers des hydrocarbures émis par une automobile à essence.

Une solution envisageable pour résoudre ce problème résiderait dans l'adoption de pistolets de remplissage du modèle de ceux employés en course automobile pour des raisons de sécurité et s'adaptant automatiquement de façon étanche à l'entrée des réservoirs.

L'adoption de cette solution n'est pas envisagée actuellement car le problème de son financement n'est pas résolu.

Enfin, il faut signaler que des problèmes d'émissions d'hydrocarbures se poseront en cas d'utilisation d'adjuvants destinés à remplacer le plomb.

En effet, les alcools présentent l'inconvénient d'une volatilité élevée et de plus en mélange avec l'essence ils accroissent l'évaporation des hydrocarbures tels que le benzène.

Le méthanol présente des inconvénients sévères car ses vapeurs sont toxiques et irritantes et il accroit plus que l'éthanol, la tension de vapeur du carburant.

L'utilisation d'adjuvants alcools pourra renforcer la nécessité de supprimer l'évaporation directe d'hydrocarbures qui n'est pas prise en compte à l'heure actuelle par le projet de directive européenne.

Des travaux récents ont attiré l'attention sur le rôle très important des hydrocarbures (voir Première partie chapitre 2) dans la formation des polluants "secondaires".

Une attention toute particulière doit donc être portée aux solutions techniques qui permettent de limiter les émissions par les véhicules automobiles.

## 2°) Le projet de directive européenne visant à diminuer les émissions de polluants par les automobiles.

### 2°-1. Les actions déjà engagées

L'action visant à réduire la pollution d'origine automobile a déjà été engagée depuis le début des années 1970, avec une ampleur différente, selon les pays.

#### 2°-1-1. Aux Etats-Unis

Aux Etats-Unis, au début des années soixante, les phénomènes de "smog" avaient pris des proportions inquiétantes, notamment dans la région de Los Angeles où la circulation automobile est intense et les conditions atmosphériques particulièrement défavorables. Des systèmes de surveillance et d'alerte avaient été installés et certains jours les habitants étaient invités à rester chez eux et les écoles étaient fermées.

A la fin des années 1960, les autorités gouvernementales américaines, poussées par une opinion publique très sensibilisée aux problèmes d'environnement décidèrent que les émissions des trois principaux polluants émis par l'automobile, monoxyde de carbone, dioxyde d'azote et hydrocarbures imbrûlés seraient réduits de **90 % en 10 ans**.

Cet objectif de réduction fut entériné par le vote du "clean air act" de 1968 qui imposait l'installation à partir de 1974 de dispositifs antipollution.

**Evolution des normes d'émissions de polluants  
pour les véhicules particuliers aux Etats-Unis**

Année	Hydrocarbures	Monoxyde de carbone	Oxydes d'azote	Particules Diesel	Evaporation d'hydrocarbures
Avant les contrôles	850 ppm	3,4 %	1000 ppm	-	-
	11 gpm	80 gpm	4 gpm	-	-
	8,8 gpm	87,0 gpm	3,6 gpm	-	-
1968-69	410 ppm	2,3 %	-	-	-
	350 ppm	2,0 %	-	-	-
	275 ppm	1,5 %	-	-	-
1970	2,2 gpm	23 gpm	-	-	-
1971	2,2 gpm	23 gpm	-	-	6 g/test
1972	3,4 gpm	39 gpm	-	-	2 g/test
1973-74	3,4 gpm	39 gpm	3 gpm	-	2 g/test
1975-76	1,5 gpm	15 gpm	3,1 gpm	-	2 g/test
1977	1,5 gpm	15 gpm	2 gpm	-	2 g/test
1978-79	1,5 gpm	15 gpm	2 gpm	-	6 g/test
1980	0,41 gpm	7 gpm	2 gpm	-	6 g/test
1981	0,41 gpm	3,4 gpm	1 gpm	-	2 g/test
1982	0,41 gpm	3,4 gpm	1 gpm	0,6 gpm	2 g/test
1983	0,41gpm	3,4 gpm	1 gpm	0,6 gpm	2 g/test
1984	0,41 gpm	3,4 gpm	1 gpm	0,6 gpm	2 g/test
1985-86	0,41 gpm	3,4 gpm	1 gpm	0,6 gpm	2 g/test
1987 & années postérieures	0,41 gpm	3,4 gpm	1 gpm	0,2 gpm	2 g/test

NB : ppm : parties par million  
gpm : grammes par mile

Source : IRT-CERNE



Pour respecter ces normes, les constructeurs automobiles américains portèrent leur choix sur les convertisseurs catalytiques trois voies qui imposent l'usage de carburant sans plomb.

Il faut donc remarquer qu'il n'était pas question au moment de l'instauration de ces normes de "pluies acides" et encore moins de dépérissement des forêts dues à ces pluies.

L'instauration de normes de pollution automobile aux Etats-Unis a donc été, historiquement uniquement dûe aux conséquences sur la santé humaine de cette pollution.

b) Au Japon

Au Japon, c'est également sous l'influence de préoccupations sanitaires de groupes de pression que les normes d'émissions américaines ont été adoptées. C'est également le convertisseur catalytique trois voies qui a été choisi.

Ces normes ont été rendues obligatoires en 1977, soit trois ans plus tard qu'aux Etats-Unis, mais le mouvement d'adaptation des automobiles a été plus rapide car on considère qu'actuellement 98 % des voitures circulant au Japon roulent à l'essence sans plomb.

Il faut remarquer que dans ce pays également ce sont uniquement les préoccupations liées à la santé humaine qui ont abouti à l'adoption de normes d'émission pour les automobiles.

c) Par la Communauté économique européenne.

Contrairement aux Etats-Unis et au Japon la CEE a adopté une démarche plus progressive.

- La directive 70/220/CEE du Conseil du 20 mars 1970.

Cette directive a fixé des valeurs limites de monoxyde de carbone et d'hydrocarbures imbrûlés suivant le poids de référence du véhicule.

**Valeurs limites concernant un véhicule de série  
pour les gaz polluants émis en moyenne dans une zone urbaine encombrée  
après un démarrage à froid (Directive 70/220 CEE du Conseil du 20 mars 1970).**

Poids de référence Pr kg	Masse de monoxyde de carbone g/essai	Masse d'hydrocarbures g/essai
Pr < 750	120	10,4
750 < Pr < 850	131	10,9
850 < Pr < 1 020	140	11,3
1 020 < Pr < 1 250	161	12,2
1 250 < Pr < 1 470	182	13,1
1 470 < Pr < 1 700	203	14,0
1 700 < Pr < 1 930	223	14,8
1 930 < Pr < 2 150	244	15,7
2 150 < Pr	264	16,6

- La directive 74/290/CEE du Conseil du 28 mai 1974

Les limites d'émissions édictées par la directive 70/220/CEE ont été rendues plus sévères par la directive 74/290/CEE du Conseil du 28 mai 1974.

**Limites d'émissions édictées par la directive 74/290/CEE  
du Conseil du 28 mai 1974**

Poids de référence Pr kg	Masse de monoxyde de carbone g/essai	Masse d'hydrocarbures g/essai
Pr < 750	96	8,8
750 < Pr < 850	105	9,3
850 < Pr < 1 020	112	9,6
1 020 < Pr < 1 250	129	10,4
1 250 < Pr < 1 470	146	11,1
1 470 < Pr < 1 700	162	11,9
1 700 < Pr < 1 930	178	12,6
1 930 < Pr < 2 150	195	13,3
2 150 < Pr	211	14,1

- La directive 77/102/CEE de la Commission du 30 novembre 1976

Cette directive a ajouté aux émissions déjà réglementées de CO et de HC les oxydes d'azote.

**Limitation des émissions de dioxyde d'azote (NO<sub>2</sub>) (Directive 77/102/CEE  
de la Commission du 30 novembre 1976)**

Poids de référence Pr kg	Masses d'oxydes d'azote en équivalent NO <sub>2</sub> g/essai
Pr < 750	12
750 < Pr < 850	12
850 < Pr < 1 020	12
1 020 < Pr < 1 250	14,4
1 250 < Pr < 1 470	16,8
1 470 < Pr < 1 700	17,4
1 700 < Pr < 1 930	18
1 930 < Pr < 2 150	18,6
2 150 < Pr	19,2

- Les limites actuelles : la directive 83/351 du Conseil du 16 juin 1983.

Cette directive a remplacé toujours pour un véhicule de série, les valeurs limites individuelles pour HC et NOx par une valeur combinée.

**Limites des émissions de polluants par les automobiles  
(Directive 83/351 du Conseil du 16 juin 1983)**

---

<b>Poids de référence Pr kg</b>	<b>Masse de monoxyde de carbone g/essai</b>	<b>Masse d'hydrocarbures et d'oxyde d'azote g/essai</b>
Pr < 1020	70	23,8
1 020 < Pr < 1 250	80	25,6
1 250 < Pr < 1 470	91	27,5
1 470 < Pr < 1 700	101	29,4
1 700 < Pr < 1 930	112	31,3
1 930 < Pr < 2 150	121	33,1
2 150 < Pr	132	35,0

---

Il faut noter que cette directive a donné dans son article 1er une nouvelle définition des véhicules devant respecter ces normes.

Cet article 1er est ainsi rédigé :

"On entend par véhicule, au sens de la présente directive, tout véhicule à moteur, à allumage commandé ou à moteur à allumage par compression destiné à circuler sur route, avec ou sans carrosserie, ayant au moins quatre roues, une masse maximale autorisée d'au moins 400 kilogrammes et une vitesse maximale par construction égale ou supérieure à 50 kilomètres à l'heure, à l'exception des tracteurs et machines agricoles, ainsi que des engins de travaux publics".

Les valeurs ci-dessus s'appliquent donc :

- aux automobiles à moteur à essence ;
- aux automobiles à moteur Diesel ;
- aux véhicules utilitaires d'un poids inférieur à 3,5 tonnes.

- Les techniques employées en Europe pour respecter ces normes.

Les réductions d'émissions de polluants imposées en Europe depuis 1970 n'ont pas exigé l'utilisation de réacteurs catalytiques comme aux Etats-Unis et au Japon.

Les modifications des moteurs ont consisté en retouches progressives sur un très grand nombre de paramètres de fonctionnement. On citera pour mémoire la suppression des émissions de gaz de carter.

La réduction a porté d'abord sur les émissions de CO et HC et un très grand nombre d'actions de détail ont été menées et parmi celles-ci :

- appauvrissement du mélange air-carburant qui a permis de réduire la consommation et les émissions de CO et HC, ce système ayant cependant l'inconvénient d'accroître l'émission des NOx ;

- contrôle des délais d'allumage et de la qualité de celui-ci qui a permis d'établir un optimum entre les exigences contradictoires de consommation et des émissions de CO, HC et de NOx. Le pilotage électronique de l'allumage a constitué un progrès sensible et relativement peu coûteux ;

- adoption de chambres de combustion de formes différentes qui a permis d'améliorer la turbulence et de réduire les zones de refroidissement à proximité des parois. Elle a favorisé dans une certaine mesure l'abaissement des émissions de HC. Pour les moteurs à haut taux de compression, cette voie a été limitée par les risques d'apparition de cliquetis.

En ce qui concerne le prix de revient de ces techniques appliquées en Europe de 1970 à 1985, il est très difficile d'isoler les prix associés directement à la réduction des émissions car les techniques employées ont presque toujours eu d'autres incidences notamment sur la consommation de carburant, l'agrément de conduite et la fiabilité.

Concernant le coût en carburant, on n'a pas de mesures précises des conséquences des mesures de réduction des émissions polluantes.

A l'origine (1970) les mesures ne concernaient que les émissions de CO et HC et elles ont entraîné des baisses de consommation, vraisemblablement de l'ordre de 5 à 10 %, car il a fallu notamment réduire la richesse des mélanges et améliorer les dispositifs d'allumage. Mais lorsque les émissions de NOx ont été réglementées en 1977, il est devenu difficile de réduire la consommation.

Malgré cela, la tendance à la baisse des consommations a tout de même continué grâce à l'amélioration de la conception d'ensemble des moteurs.

## 2°-2. L'actuel projet de Directive

### 2°-2-1. Les propositions initiales de la Commission

Le 6 juin 1984, la Commission européenne proposait des modifications à la directive CEE relative aux émissions des véhicules à moteur.

Elle proposait pour réduire la pollution d'origine automobile une approche se développant en deux stades :

- au 1er octobre 1989 pour les nouveaux types de véhicules, et le 1er octobre 1991 pour tous les nouveaux véhicules un abaissement des valeurs limites des émissions se situant :

- . entre 20 et 50 % pour le CO ;
- . entre 20 et 40 % pour les émissions combinées de HC et NOx ;
- . entre 30 et 45 % pour les NOx seuls.

- au 1er octobre 1995 un nouvel abaissement des valeurs limites à un niveau permettant d'obtenir des valeurs ajustées aux conditions européennes et correspondant à celles en vigueur aux Etats-Unis et au Japon.

La Commission proposait alors que les Etats membres pourraient interdire la première mise en circulation des véhicules si leurs émissions étaient supérieures à des valeurs limites à fixer au plus tard le 31 décembre 1986 à l'intérieur des fourchettes suivantes :

- . masse de CO : entre 10 et 35 g/essai,
- . masse de HC + NOx : entre 2,6 et 8,2 g/essai
- . masse de NOx : entre 1,1 et 4 g/essai

A cette même date la Commission prévoyait également que les Etats membres choisiraient une technologie de réduction des émissions ainsi qu'une nouvelle directive établissant un système de contrôle technique sur les voitures concernées.

#### 2°-2-2. La position des différents pays européens

Dès ce moment les positions des différents pays européens se divisent en deux : celle de l'Europe "nordique" et celle de l'Europe "sudiste"

Si des pays comme la République fédérale d'Allemagne, le Danemark, les Pays-Bas et le Luxembourg semblent favorables à l'introduction dès que possible des valeurs limites et de la procédure d'essai à utiliser pour le contrôle et l'application de ces valeurs limites, les autres pays européens quant à eux, adoptent une position plus nuancée. Les Britanniques et les Français notamment considèrent qu'il est prématuré de fixer d'ores et déjà les valeurs limites applicables à l'horizon 1995 et estiment qu'un important travail pour la définition précise de ces valeurs doit encore être fait, en prenant en considération notamment les technologies nouvelles.

Dans le même temps, les experts, partant de la constatation que l'impact économique des mesures envisagées ne peut être le même pour les diverses catégories de véhicules, commencent à envisager les questions fondamentales - niveau des nouvelles valeurs limites et délai de leur mise en vigueur - en fonction de la cylindrée des véhicules.

Cette nouvelle approche était à notre sens beaucoup plus réaliste compte tenu du coût des équipements limitant les émissions de polluants et notamment du convertisseur catalytique trois voies seul susceptible d'atteindre les réductions d'émissions envisagées.

En effet, imposer ce convertisseur catalytique à des petites voitures de gamme basse revient à augmenter leur prix de 10 à 20 % dans le cadre de leur conception actuelle.

**Structure des parcs automobiles de la France,  
de la RFA, de l'Italie et de la Grande-Bretagne**

en millions

Pays	RFA	% du total	France	% du total	Italie	% du total	Grande Bretagne	% du total
Cylindrées								
- 1400	8,2	37,3	13,1	67,2	15,9	83,7	9,1	50,5
1401-2000	11,2	50,4	5,8	29,7	3,0	15,8	7,5	41,6
2001 et +	2,7	12,3	0,6	3,1	0,1	0,5	1,4	7,9

Source : Commission des communautés européennes

Monter un équipement semblable sur toutes les voitures quelques soient leur cylindrée et leur prix reviendrait à désavantager des pays comme la France et l'Italie où les petites cylindrées représentent respectivement 67,2 % et 83,7 % du parc.

Il fallait également tenir compte des niveaux de pollution différents selon les catégories de véhicules.

**Emissions des différentes catégories de véhicules  
en fonction du type de parcours**

en g/km

Cylindrée en cm <sup>3</sup>	Parcours		
	urbain	routier	autoroutier
- 1400	2,1	2,3	3,5
1401-2000	2,4	2,5	5,2
2001 et +	2,7	3,0	7,0

Source : Commission des communautés européennes.

Ces données nous semblent donc légitimer l'approche du problème selon la cylindrée des automobiles.

C'est la nouvelle approche qui a été adoptée par la Commission des Communautés européennes.

**2°-2-3. La nouvelle approche de la Commission**

**- L'évolution des normes**

A la réunion du Conseil "Environnement" du 6 décembre 1984, les Ministres ont constaté l'impossibilité d'aboutir à des décisions immédiates sur ce problème.

Bien que les délégations aient été alors d'accord pour reconnaître l'impératif d'une réduction substantielle des émissions de polluants ainsi que la nécessité d'une solution communautaire qui permette de préserver l'unité du marché commun, deux points firent difficulté :

- sur le problème de l'échéance des réductions d'émissions de polluants, les délégations belge, française, grecque, italienne, irlandaise et britannique soutenaient que la réduction des émissions devait être graduelle, par étapes successives, alors que les délégations allemande, danoise, luxembourgeoise et néerlandaise étaient partisans d'une réduction très importante en une seule étape ;

- sur la question des technologies à adopter, même si la Commission laissait libre le choix des gouvernements, il ne paraissait pas faire de doute qu'une réduction massive et rapide des émissions ne pourrait s'effectuer, dans les conditions actuelles, que par le recours au catalyseur à trois voies alors que les pays souhaitant une réduction graduelle des émissions, la France par exemple, insistaient sur la nécessité de prendre en considération tout un éventail de techniques y compris la limitation de vitesse ainsi que la technologie, encore au stade du laboratoire, du moteur à mélange pauvre chère aux Britanniques.

Le 12 décembre 1984, le Parlement européen demandait dans une résolution aux Etats membres que les délais envisagés soient ramenés au 1er octobre 1986 pour les nouvelles normes d'émission proposant toutefois de laisser à la Commission la possibilité d'accorder des exemptions dans les cas où des problèmes techniques ou économiques se poseraient.

La Commission lors de sa réunion du 23 janvier 1985 fut d'avis que le délai de 1986 suggéré par le Parlement Européen n'était pas réalisable en raison du temps d'adaptation nécessaire pour l'industrie automobile. Elle se déclarait également disposée à envisager une approche incluant une différenciation en fonction de la taille du moteur.

#### 2°-2-4. L'initiative allemande

Cependant sans attendre la définition des normes communautaires, la RFA décidait en septembre 1984 que tous les véhicules à essence vendus sur son marché devaient obligatoirement à partir du 1er juillet 1988 pour les cylindrées supérieures à 2 litres et du 1er juillet 1989 pour les autres satisfaire à de sévères normes anti-pollution calquées sur celles déjà en vigueur aux Etats-Unis et au Japon.

Pour respecter ces normes, les véhicules devaient être équipés de convertisseur catalytique trois voies et utiliser de l'essence sans plomb, les acheteurs de ces véhicules se voyant accorder des avantages fiscaux à partir du 1er juillet 1985.

Les exonérations fiscales envisagées à l'époque avaient été calculées pour représenter en moyenne 3000 DM (environ 9000 F) pour des véhicules achetés avant 1987 alors que le coût supplémentaire des catalyseurs était estimé à environ 1200 DM.

Dans le même temps la taxe automobile, équivalente à la taxe différentielle sur les automobiles française, qui s'élevait à 14,40 DM par an et par 100 cm<sup>3</sup> devait être portée à 16 DM pour les véhicules non équipés achetés jusqu'à la fin de 1985 et à 21 DM au-delà.

A la suite de la décision allemande, le Premier Ministre M. Laurent Fabius adressa une lettre au chancelier Helmut Kohl pour le mettre en garde contre les conséquences de cette décision.



Lors de la rencontre en février 1985 des deux chefs de gouvernement, M. Laurent Fabius avait précisé que le désaccord entre la France et la RFA portait sur deux points :

- la France souhaitait que les moyens soient européens et que les mesures ne soient pas prises par un seul pays ;
- la France souhaitait également que ces moyens soient diversifiés et qu'au-delà du convertisseur catalytique trois voies on envisage par exemple une réduction de la vitesse maximale des véhicules pour diminuer les émissions polluantes.

Dans le même temps, utilisant les moyens indiqués dans la directive de 1983 prévoyant une procédure d'information dans le domaine des normes et réglementations techniques, la France adressait à la Commission européenne un "avis circonstancié" destiné à bloquer les décisions de la RFA relatives aux normes techniques qu'elle envisageait d'imposer aux voitures non polluantes. Toutefois, c'étaient avant tout les dispositions du projet de loi établissant des avantages fiscaux qui étaient visées.

#### 2°-2-5. L'état actuel du projet

- Le Conseil Environnement du 21 mars 1985

Le Conseil Environnement du 21 mars 1985 a abouti à un accord portant à la fois sur les dates de mise en application obligatoire des normes européennes ainsi que sur la mise en oeuvre des incitations fiscales préconisées par la RFA pendant la période volontaire.

#### **Dates d'application des futures normes européennes**

Catégorie de véhicules	Dates de mise en oeuvre (nouveaux modèles/voitures neuves)	Normes d'émission (grammes/essai)
plus de 2 litres	1.oct.1988/1989	Normes européennes
de 1,4 à 2 litres	1.oct.1991	Normes européennes
moins de 1,4 litre	phase A -1er oct.1990/91	phaseA: Au minimum: CO45 NOx + HC 15 ; NOx 6
	phase B -A fixer d'ici 1987 et mis en oeuvre au plus tard en 1993/94	phaseB : Normes européennes

Il avait également été décidé que :

- Le respect de ces normes pourrait être assuré dans toute la mesure du possible par des moyens techniques différents,
- Le cycle d'essai européen devrait être adapté vers 1987 notamment par l'addition de trajets non urbains, la Commission devant faire des propositions à cet effet.

Entre l'adoption des standards européens prévue pour le 30 juin 1985 et la mise en oeuvre du cycle d'essai européen, les véhicules recevant l'approbation pour des standards équivalents destinés à l'exportation devaient aussi bénéficier de l'approbation pour le marché intérieur.

Les mesures d'incitation fiscale destinées à compenser la différence de coût entre les voitures actuelles et les voitures "propres" devaient satisfaire aux conditions suivantes :

- le système doit se référer aux normes européennes ;
- la date de prise d'effet de ces incitations ne doit pas être antérieure au 1er juillet 1985 ;
- les incitations doivent être sensiblement inférieures aux coûts supplémentaires qu'implique l'équipement d'une voiture satisfaisant aux normes européennes ;
- pour les petites voitures et pendant la première phase, l'allègement fiscal ne doit pas dépasser 750 DM (environ 215 Ecus) pour les véhicules dont l'effet polluant est inférieur de 15 % aux standards intérimaires prévus pour cette phase.

Enfin, la Commission doit présenter avant la fin de 1985 des propositions appropriées concernant :

- les émissions provenant de véhicules de plus de 3,5 tonnes ;
- les émissions provenant de véhicules à moteur Diesel ;
- les limitations de vitesse.

#### 2°-2-6. Le Conseil Environnement du 28 juin 1985

Les normes européennes ont été définitivement adoptées par le Conseil Environnement du 28 juin 1985.

La principale modification par rapport aux normes fixées le 21 mars 1985 est de ne pas fixer de valeur spécifique pour l'oxyde d'azote émis par les moyennes cylindrées (1400-2000cm<sup>3</sup>)

Ces normes sont donc les suivantes :

**Valeurs limites adoptées par le Conseil Environnement  
du 28 juin 1985 (projet de directive)**

en g/essai

CATEGORIE	NORMES			DATES D'ENTREE EN VIGUEUR (1)	CONSEQUENCES DES NORMES
	CO	HC.NOx	NOx		
2 litres	25 (-87%)	6,5 (-87%)	3,5 (-70%)	1988-1989	Dans l'état actuel des techniques, ces valeurs seront obtenues par le recours aux pots catalytiques
1 400 cc - 2 litres	30 (-80%)	8 (-80%)	-	1991-1993	Ne rendent pas obligatoire le pot catalytique. Permettent l'utilisation de la technologie mélange pauvre pot d'oxydation ou d'une technique d'un rapport coût/performance comparable.
-1 400 cc	45 (-62%)	15 (-60%)	6 (-45%)	1990-1991	1ère étape: normes plus légères que les précédentes se traduisant par une réduction de 50% de la pollution.
	Valeurs arrêtées en 1987			1992-1993	

(1) Première date : nouveaux modèles.

Deuxième date : toutes voitures neuves.

Entre parenthèses : réduction de pollution obtenue par rapport aux débuts de la réglementation.

CO = monoxyde de carbone

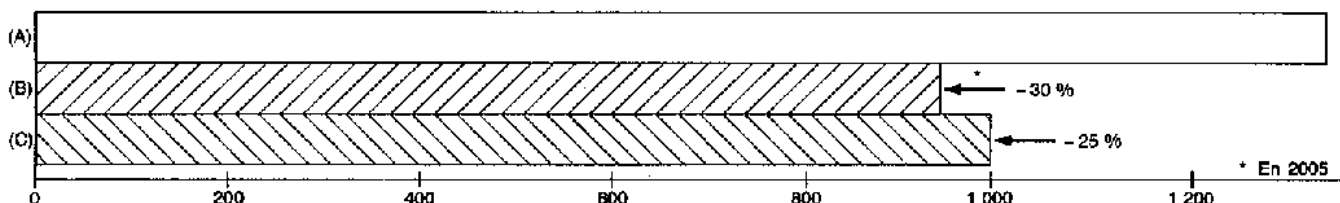
HC = hydrocarbures

NOx = oxydes d'azote.

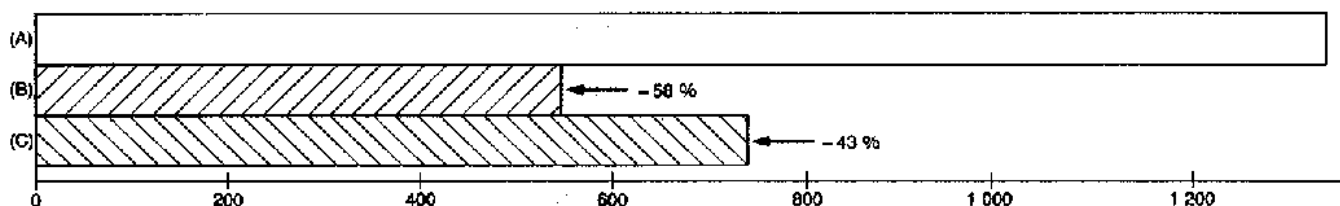
D'après un document établi par la Commission européenne, l'application de ces nouvelles valeurs entraînerait les émissions suivantes de NO<sub>x</sub> par les automobiles:

**Prévisions des émissions par catégories de voitures (CEE à 10)**  
en milliers de tonnes

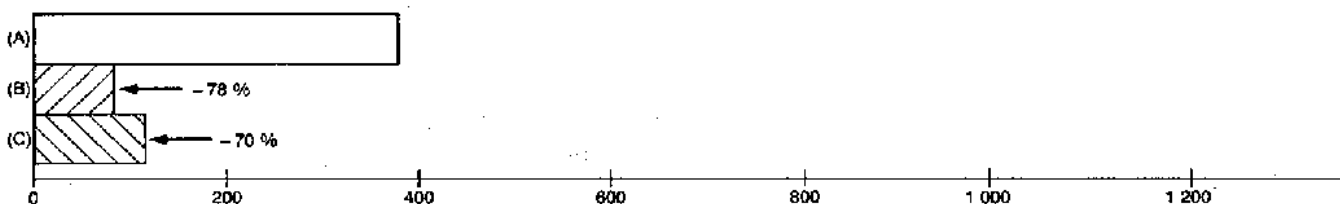
1) Automobiles de moins de 1400 cm<sup>3</sup>



2) Automobiles de 1401 à 2000 cm<sup>3</sup>



3) Automobiles de 2001 cm<sup>3</sup> et plus

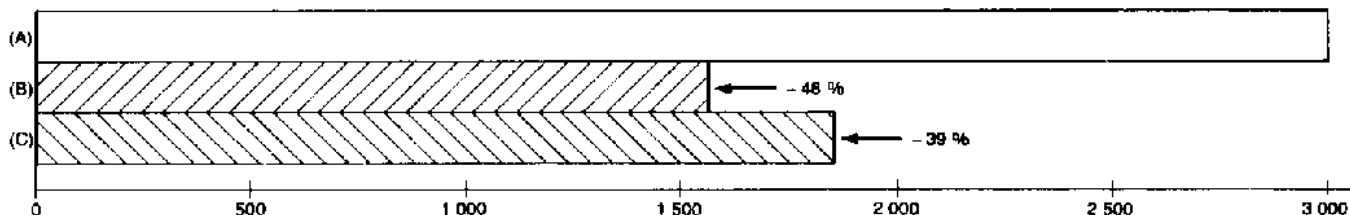


**Légende :** (A) Emissions de NO<sub>x</sub> des véhicules satisfaisant aux normes actuelles

(B) Emissions de NO<sub>x</sub> des véhicules satisfaisant aux normes du projet de directive (parc équipé en totalité).

(C) Emissions de NO<sub>x</sub> par les automobiles en l'an 2000 (parc composé de voitures respectant les normes et de voitures non équipées de dispositifs anti-pollution).

Emissions totales du parc (1 cm = 125 000 tonnes)  
(d'après un document CEE)



**Légende :** (A) Emissions de NO<sub>x</sub> des véhicules satisfaisant aux normes actuelles

(B) Emissions de NO<sub>x</sub> des véhicules satisfaisant aux normes du projet de directive (parc équipé en totalité).

(C) Emissions de NO<sub>x</sub> par les automobiles en l'an 2000 (parc composé de voitures respectant les normes et de voitures non équipées de dispositifs anti-pollution).

Il faut toutefois noter que ces prévisions ont été établies à partir des valeurs proposées par la Commission avant le Conseil Environnement du 28 juin 1985 qui a supprimé l'indication de valeurs d'émissions de NO<sub>x</sub> pour les voitures dont la cylindrée est comprise en 1400 cm<sup>3</sup> et 2000 cm<sup>3</sup>.

Il faudrait donc pour tenir compte de cette dernière mesure ajuster en hausse les chiffres donnés.

Le présent projet concerne aussi les émissions des véhicules Diesel. Cette question sera abordée dans la partie consacrée au moteur Diesel.

### 2°-2-7. Les problèmes en suspens

#### - Le problème danois

Le Danemark, avec la Grèce, est le seul membre de la Communauté à ne pas avoir adopté la position prise par la majorité au mois de juin dernier.

D'après les autorités danoises, les mesures adoptées par les neuf pays européens auront un effet sur l'environnement de ce pays bien moindre que dans les autres Etats-membres de la Communauté dans la mesure où la situation de ce pays est bien différente des autres sur les points suivants :

- d'abord, le Danemark possède un parc automobile constitué essentiellement de petites voitures et les normes fixées en juin dernier ne sont pas suffisantes ;

- ensuite des limitations de vitesse sont déjà appliquées : 100 km/h sur les autoroutes et 50 km/h en ville.

Le 5 juillet 1985, le Danemark a signé avec un certain nombre de pays non membres de la CEE, l'Autriche, la Suisse, la Suède, le Canada, la Finlande, la Norvège et le Liechtenstein, la déclaration de Stockholm prévoyant

que les pays signataires adopteront des normes d'émission telles qu'elles aient un effet sur l'environnement équivalent à celles actuellement en vigueur aux Etats-Unis.

La rencontre le 25 octobre 1985 du Commissaire européen à l'environnement, M. Stanley Clinton-Davis, et de M. Christian Christensen, ministre danois de l'environnement, n'a pas permis de trouver un accord. Le Danemark maintient donc sa réserve sur l'accord conclu au mois de juin 1985.

Il faut rappeler que le compromis réalisé au sein du Conseil des ministres de l'Environnement au mois de juin dernier n'a pas encore pu se concrétiser à cause de la réserve du Danemark. Il n'est pas possible d'être à la fois membre de la CEE, et donc profiter des avantages que cette appartenance peut procurer, et souscrire à l'extérieur à des déclarations prônant des politiques différentes.

L'accord réalisé au mois de juin 1985 doit être préservé. L'appartenance à la CEE donne certes des droits mais aussi des devoirs.

- L'instauration de normes d'émissions et d'incitations fiscales propres à l'Allemagne

Les normes suivantes ont été établies en RFA :

#### Normes d'émissions établies en RFA

Désignation	Catégories de cylindrées	gaz nocifs en g/essai		
		CO	HC + NOx	NOx
Voitures peu polluantes	plus de 2 l	25	6,5 dont 3,5 max.NO	3,5
	de 1,4 à 2 l	30	8	-
Voitures relativement peu polluantes	<u>de niveau C</u> moins de 1,4 l	38,25	12,75 dont 6 max.NO	6
	<u>de niveau A</u> toutes cylindrées poids :			
	inf. à 1250 kg	*	12,75	6
	sup. à 1250 kg	*	15	6
	<u>de niveau B</u> toutes cylindrées	*	*	-30% par rapport à *

\* = normes CEE

Le dispositif allemand d'incitations fiscales est entré en application le 1er juillet 1985.

Il avantage les voitures dépolluées, c'est-à-dire plus dépolluées que ne l'exige la réglementation actuelle et désavantage relativement celles qui ne devancent pas le calendrier communautaire.

Deux moyens coexistent : les taux de l'impôt sur les véhicules et les déductions fiscales.

#### . les taux de l'impôt sur les véhicules.

Le taux actuel unique de l'impôt de 14,40 DM par 100 cm<sup>3</sup> et par an est remplacé, pour les voitures non dépolluées par deux taux majorés :

- l'un de 18,80 DM pour les voitures mises en circulation avant le 1er janvier 1986 ;

- l'autre de 21,60 DM pour celles qui seront mises en circulation à partir du 1er janvier 1986.

Les voitures dépolluées bénéficient d'un taux minoré de 13,20 DM.

Toutefois, les voitures relativement dépolluées du niveau B, c'est-à-dire le niveau le plus faible, n'en profiteront que pendant trois ans, période à l'issue de laquelle elles se retrouveront en fonction de leur date de première immatriculation imposées à l'un ou à l'autre des deux taux majorés.

#### . Les déductions fiscales

Afin de renforcer encore l'attrait des voitures les moins polluantes selon les normes CEE celles-ci bénéficient en outre d'une exonération fiscale s'élevant à 2200 DM pour les cylindrées supérieures à 1400 cm<sup>3</sup> et à 750 DM pour les cylindrées inférieures à 1400 cm<sup>3</sup>.

Dans la pratique, l'exonération fiscale est réalisée par cumul de l'impôt sur les véhicules au cours des années suivant la date de la classification "peu polluante" de la voiture.

Cette exonération est dégressive : elle est maximum lorsque la mise en circulation a lieu en 1985-1986, réduite de 25 % en 1987 et réduite de 50 % les années suivantes. Elle disparaît aux dates auxquelles la dépollution devient obligatoire dans la Communauté pour la cylindrée en cause.

Incentations fiscales instituées en RFA

Désignation	Catégorie de cylindrée. - o - Technique envisagée	Période de dépollution	Taux de l'impôt en DM/100cm <sup>3</sup> /an	Montant de l'exo- nération
voitures	Plus de 2 litres - o - Catalyseur 3 voies Sonde lambda	avant 1987 en 1987 après 1987	13,20	2200 DM 1650 DM 1100 DM
peu				
polluantes	de 1,4 l. à 2 l. - o - Catalyseur 3 voies Sonde lambda	avant 1987 en 1987 après 1987	13,20	2200 DM 1650 DM 1100 DM
voitures	<u>de NIVEAU C</u> Moins de 1,4 l. - o - Catalyseur à oxydation. Mélange maigre	avant 1987 en 1987 après 1987	13,20	750 DM 560 DM 370 DM
relativement	<u>de NIVEAU A</u> Toutes cylindrées - o - Catalyseur sans sonde	dépollution avant 1986  et	13,20	-
peu				
polluantes	<u>de NIVEAU B</u> Toutes cylindrées - o - Mélange maigre recirculation des gaz d'échappement	immatriculat. avant le 1.10.86	13,20 pendant 3 ans puis : 18,80 si 1ère immatriculat. avant 1986, 21,60 si après 1985	-
voitures non dépolluées carburant	Toutes cylindrées - o - Réglage fin de la carburant	-	18,80 si 1ère immatriculat. avant 1986 21,60 si après 1985	-



. La pratique de ces incitations fiscales

Ainsi qu'on l'a vu le Conseil des Ministres du 21 mars 1985 avait accepté l'institution d'incitations fiscales à condition notamment que celles-ci soient sensiblement inférieures aux coûts supplémentaires qu'implique l'équipement d'une voiture satisfaisant aux normes européennes.

Or il semblerait, à la lecture des dépliants publicitaires de quelques constructeurs et équipementiers allemands, que ces montants aient été très largement calculés et aillent, parfois, bien au-delà de la simple compensation partielle prévue.

Non seulement il semblerait qu'ils couvrent entièrement la dépense entraînée par les dispositifs dépolluants mais qu'ils lui soient supérieurs constituant, de ce fait, une véritable prime à l'achat.

Le cas le plus excessif est celui de la maison HJS proposant avec un catalyseur de sa fabrication au coût de 1100 DM, un "avantage financier" également de 1100 DM.

Les offres des marques AUDI et VOLKSWAGEN mettent simplement en regard, dans les listes de prix, le montant de 2200 DM de la déduction fiscale et les coûts des dispositifs dépolluants qui n'atteignent jamais cette somme, même pour les cylindrées de plus de 2000 cm<sup>3</sup>.

Ces avantages sont de nature à fausser les lois de la libre concurrence .

. L'offre sur le marché allemand de voitures de toutes les catégories équipées de convertisseur catalytique

En juillet 1985, tous les constructeurs allemands se sont engagés devant le gouvernement fédéral à proposer dès cet automne des voitures munies de convertisseur catalytique trois voies dans toutes les catégories de cylindrées c'est-à-dire y compris pour les voitures de moins de 1400 cm<sup>3</sup>.

Cette décision va nettement au-delà des nouvelles normes européennes décidées le 28 juin 1985.

2°-2-8. Le problème de la définition des cycles d'essai

Une norme n'a de raison qu'en fonction de l'essai auquel est soumis le véhicule.

Les normes contenues dans l'actuel projet de directive ont été calculées par référence au cycle d'essai européen qui est actuellement basé sur des simulations de circulation uniquement urbaine et qui n'est plus adapté au problème posé.

Comme nous l'avons vu, la Commission doit faire des propositions pour réviser avant 1987 ce cycle d'essai notamment par l'addition de trajets non urbains.

**Le cycle d'essai doit se rapprocher au plus près des conditions de circulation réelles et comporter pour cela une simulation de parcours routier et autoroutier.** Cependant ce futur cycle d'essai doit prendre en compte les caractéristiques du parc automobile européen qui comprend des véhicules de petite cylindrée n'existant pas ailleurs et notamment aux Etats-Unis, sous peine d'engendrer des mutations trop rapides et déstabilisantes pour les industries automobiles d'un certain nombre de pays européens.

### 3°) Les techniques envisageables pour respecter les normes

#### 3°-1. Un problème en théorie différent selon les catégories de véhicules

Les normes imposées par le projet de directive pourront être atteintes par l'adoption de techniques propres à chaque catégorie de véhicules. Nous n'envisagerons ici que la situation des véhicules à allumage commandé, celle des véhicules à moteur Diesel sera examinée au paragraphe VI de ce chapitre.

#### 3°-1-1. Les véhicules de 2 litres de cylindrée et plus.

Les limites d'émissions prévues pour les véhicules de 2 litres et plus de cylindrée sont comparables à celles qui sont en vigueur aux Etats-Unis et au Japon. Les émissions des principaux polluants HC, CO, NOx doivent dans ce cas être réduites à environ 10 % de ce qu'elles seraient sans traitement anti-pollution du moteur.

Aux Etats-Unis et au Japon de 1970 à 1975 un très grand nombre de recherches ont porté sur les techniques catalytiques pour l'épuration des gaz d'échappement des automobiles à essence. 1000 formules catalytiques différentes ont été étudiées. Ces travaux ont abouti à la mise sur le marché en 1973 d'automobiles à réacteurs catalytiques d'oxydation à base de métaux précieux.

En 1977 sont apparus les catalyseurs pour réduction des NOx et aussitôt après, le système catalytique trois voies a été introduit en petite série par Volvo avec l'aide des firmes Bosch et Engelhard.

Cette technique s'est répandue ensuite rapidement et elle a entraîné un durcissement des normes américaines qui réciproquement l'ont encore confortée en 1980-1981.

Une technique concurrente du catalyseur trois voies est constituée par l'emploi de deux réacteurs catalytiques en fonctionnement consécutif séparé : l'un d'oxydation, l'autre de réduction.

Mais cette technique n'est pratiquement plus utilisée aux Etats-Unis. En effet, outre les risques d'émission de composés tel que l'ammoniac, les raisons techniques sont assez simples : le volume des réacteurs catalytiques suscite des difficultés d'implantation sur le véhicule. Il faut noter que ces difficultés seraient encore plus élevées sur les voitures européennes plus petites que les automobiles américaines. Par ailleurs, les réacteurs catalytiques introduisent une légère perte de charge qui augmente la consommation. Enfin, malgré la présence d'une sonde "lambda" le pot trois voies fabriqué maintenant en grande série est sensiblement moins coûteux.

Le pot catalytique trois voies est donc actuellement la seule technique au point permettant le respect des normes posées par le projet de directive pour les voitures d'une cylindrée de 2 litres et plus.

3°-1-2. Les véhicules dont la cylindrée est comprise entre 1401 cm<sup>3</sup> et 2000 cm<sup>3</sup>.

Compte tenu des niveaux de dépollution intermédiaires pour les cylindrées moyennes de 1400 à 2000 cm<sup>3</sup> (de l'ordre de 80 % pour CO et HC + NOx) le pot catalytique trois voies n'est pas indispensable.

Les voitures de cylindrée moyenne pourront être équipées de catalyseurs d'oxydation pour CO et HC et de recirculation des gaz d'échappement (RGE) pour la réduction des émissions de NOx.

Il semble raisonnable de penser que pour cette catégorie de véhicules, les systèmes permettant de satisfaire aux normes prévues seront, à l'avenir, assez diversifiés.

3°-1-3. Les véhicules d'une cylindrée inférieure à 1400 cm<sup>3</sup>.

Compte tenu des normes imposées à ce type de véhicule, des réglages conventionnels suffiront dans un premier temps.

Quelques uns peuvent être cités :

- accroissement du rapport air/carburant,
- accroissement du retard à l'allumage,
- accroissement du régime,
- accroissement du refroidissement...

Par contre, compte tenu de la perspective de l'adoption pour ce type de véhicules de normes plus sévères vers 1987-1988, les recherches portent principalement sur le moteur à mélange pauvre ; celui-ci pouvant d'ailleurs aussi convenir aux véhicules de cylindrée moyenne.

3°-2. Les différentes techniques autres que le pot catalytique trois voies

3°-2-1. Le catalyseur d'oxydation

Les catalyseurs d'oxydation dont la technologie est déjà ancienne furent installés en série aux Etats-Unis en 1975. Ils n'agissent que sur les polluants réglementés HC et CO qu'ils détruisent par oxydation.

Ils sont constitués d'un boîtier en acier inoxydable à l'intérieur duquel se trouve un bloc en céramique perforé dans sa longueur par un grand nombre de canalisations très étroites laissant le passage aux gaz.

Sur les parois de ces canalisations sont déposés du palladium et du platine. Si ceux-ci sont moins sensibles que le rhodium à la présence de plomb dans le carburant, l'utilisation courante d'essence plombée entraîne cependant la destruction du catalyseur.

Le catalyseur d'oxydation n'exige pas que le rapport air-carburant dans l'alimentation du moteur soit dans le rapport stoechiométrique c'est-à-dire que le rapport quantité d'air/quantité d'air théorique nécessaire soit égal à 1.

Il n'y a pas de ce fait, de modifications des performances ou de la consommation par rapport à un moteur classique. Le léger accroissement de consommation de 2 ou 3 % résulte de la perte de charge à l'échappement et de la nécessité d'injecter de l'air dans l'échappement pour assurer l'oxydation. En pratique cependant la liberté donnée au motoriste qui subit moins de contraintes pour la conception et les réglages du moteur amène une réduction de la consommation.

Afin de limiter les émissions de  $\text{NO}_x$ , il convient aussi d'implanter la recirculation des gaz d'échappement. Ce système développé vers 1973 aux Etats-Unis et au Japon réinjecte à l'admission une part des gaz d'échappement entraînant ainsi une réduction de la teneur en oxygène et de la température des gaz dans la chambre de combustion donc une diminution des émissions de  $\text{NO}_x$ . Un taux de recirculation de 10 % entraîne une diminution des émissions de  $\text{NO}_x$  de l'ordre de 40 %. L'incidence de la R.G.E. sur la consommation est faible, variable, parfois favorable, les éventuels accroissements de consommation ne dépassant pas 2 à 3 %. La régularité du fonctionnement du moteur et ses performances peuvent cependant être légèrement affectées.

Le catalyseur d'oxydation et la recirculation des gaz d'échappement constituent des techniques relativement simples et largement éprouvées aux Etats-Unis et au Japon.

La recirculation des gaz d'échappement est implantée en Europe sur les véhicules de forte cylindrée, en Suisse notamment.

Si l'adaptation aux petites cylindrées pourrait être étudiée sans devoir poser beaucoup de problèmes, il semble cependant que les recherches dans ce domaine ne s'imposent pas pour le court terme alors que récemment encore on travaillait sur des catalyseurs d'oxydation résistant au plomb. La recherche devrait être plutôt orientée vers la mise au point de réacteurs catalytiques n'utilisant pas ou moins de métaux précieux.

### 3°-2-2. Le moteur à charge stratifiée

Le principe du moteur à charge stratifiée consiste à utiliser un mélange riche autour de la bougie et un mélange plus pauvre dans le reste de la chambre de combustion.

Ce système a d'abord été étudié parce qu'il permettait une importante économie de carburant, puis à partir de 1970 pour ses réductions d'émissions de polluants.

Ces moteurs sont classés en trois catégories :

- moteur à préchambre ;
- moteur à chambre divisée ;
- moteur à chambre ouverte.

Dans le milieu des années soixante-dix, Honda a commercialisé son modèle "CIVIC" équipé d'un moteur à préchambre dénommé "Compound Vortex Controlled Combustion" (CVCC).

Ce type de moteur a été cependant abandonné car il ne permettait que des réductions d'émissions de polluants comprises entre 30 et 40 %. Il ne pouvait satisfaire une exigence de 90 % de réduction des émissions.

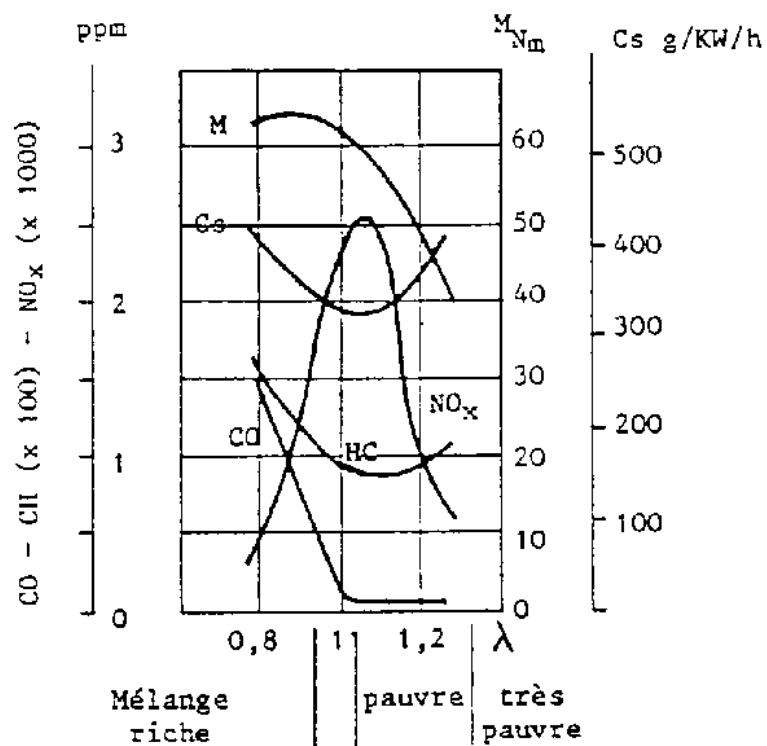
### 3°-2-3. Le moteur à mélange pauvre

Le fonctionnement d'un moteur classique dépend du rapport air-carburant  $\lambda$  alimentant le moteur.

On définit le rapport  $\lambda$  comme étant la quantité d'air admise dans le cylindre sur la quantité d'air théorique nécessaire pour la combustion de la totalité du carburant. Quant  $\lambda$  est égal à 1, le rapport est dit stoechiométrique.

Lorsqu'il y a excès d'air, le mélange est dit "pauvre" et  $\lambda$  est supérieur à 1.

Influence de la composition du mélange air-carburant sur les émissions, le couple (M) et la consommation spécifique (Cs) pour un régime et une charge du moteur constants. (moteur classique)



On voit que la pauvreté avec  $\lambda > 1,1$  entraîne la réduction simultanée des émissions de CO et NOx ainsi que de la consommation. Une pauvreté excessive entraîne une émission croissante de HC mais surtout un mauvais fonctionnement du moteur par défaut d'inflammation du mélange carburé et irrégularité du couple développé. Si  $\lambda > 1,25$  les moteurs classiques ne fonctionnent plus, la consommation remonte.

La pauvreté du mélange ne dépend pas de la nature du carburant utilisé sauf si celui-ci lui assure une meilleure homogénéité.

La mise au point d'un moteur acceptant un mélange de plus en plus pauvre provient :

- de l'amélioration de l'alimentation : bonne caburation ou injection ;
- de l'allumage : plusieurs bougies, étincelles de forte intensité, etc... ;
- de l'enrichissement du mélange dans la zone d'allumage : charge stratifiée ;
- de la position des bougies ;
- de la turbulence dans la chambre de combustion qui dépend de sa forme, des soupapes...

Il n'est pas actuellement possible de prévoir la mise au point d'un moteur à mélange pauvre performant à une échéance précise. Cependant, on peut estimer que vers 1990 des moteurs à mélange très pauvre où  $\lambda$  serait supérieur à 1,25 seront fabriqués ; Ford en annonçant même pour 1987.

Toyota a mis au point un système permettant d'atteindre  $\lambda = 1,30$  avec une réduction importante des émissions de NOx et de la consommation qui pourrait être pour cette dernière de 15 % par rapport à un véhicule conventionnel équipé d'un catalyseur trois voies.

Mais il n'est pas possible de faire constamment marcher ce type de moteur avec un mélange très pauvre car il est nécessaire de redonner de la richesse au mélange pour les phases d'accélération.

Cependant il faut noter que pour les moteurs à mélange très pauvre :

- les émissions d'hydrocarbures imbrûlés semblent devoir rester élevées et rendre obligatoire l'installation de catalyseurs d'oxydation ;
- le confort de conduite risque d'être médiocre ;
- l'économie de carburant risque en pratique d'être réduite pour assurer des accélérations convenables et les exigences de confort de conduite ;
- le moteur comporte certaines complications mal évaluées comme la nécessité du bouclage par une sonde à l'échappement comme les catalyseurs trois voies et de dispositifs mécaniques en amont de la soupape d'admission.

#### 4°) Le convertisseur catalytique trois voies et ses implications

##### 4°-1. Le principe de fonctionnement

###### 4°-1-1. Description

De l'extérieur, un convertisseur catalytique ne diffère pas beaucoup d'un silencieux d'échappement conventionnel.

L'extérieur du convertisseur est constitué d'un boîtier en acier inoxydable souvent muni d'écrans thermiques pour protéger la carrosserie de la voiture de la chaleur produite par les réactions chimiques s'y déroulant.

A l'intérieur, le convertisseur catalytique contient un bloc rond ou ovale en céramique appelé monolithe. Ce bloc a une structure en nid d'abeilles et est perforé dans le sens de sa longueur par un grand nombre de canalisations très étroites permettant le passage des gaz.

Cette structure en nid d'abeilles est imprégnée de métaux précieux : platine, palladium et rhodium. Ce sont des catalyseurs qui ont la propriété d'initier et d'accélérer les réactions chimiques qui, sans eux, ne pourraient se dérouler spontanément, dans la mesure où les températures dans un système d'échappement conventionnel sont trop basses.

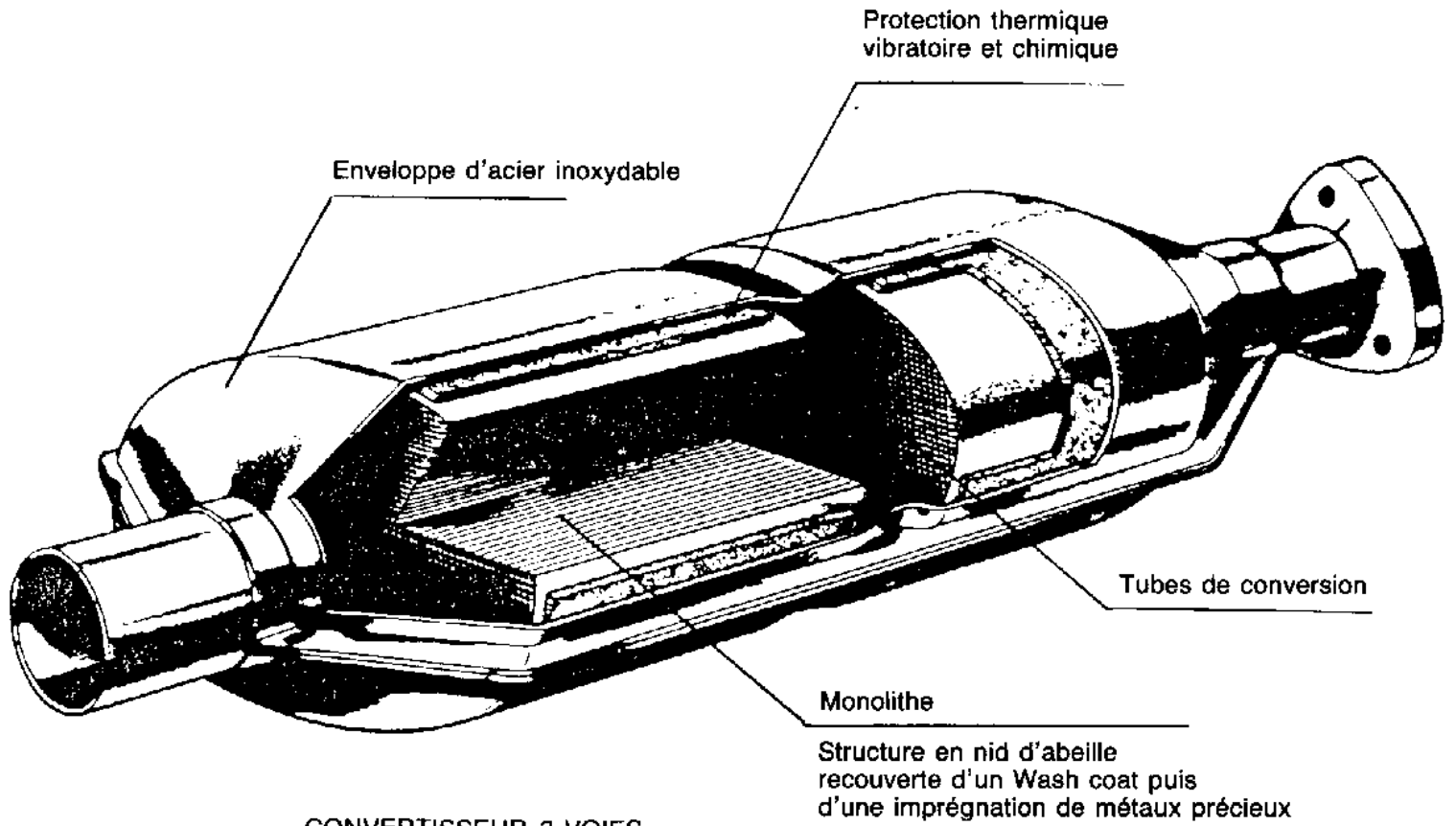
Il faut noter que le monolithe peut être remplacé par des billes poreuses d'alumine d'un diamètre compris entre 2 et 4 millimètres imprégnées des mêmes métaux.

##### **Avantages et inconvénients respectifs des billes et du monolithe.**

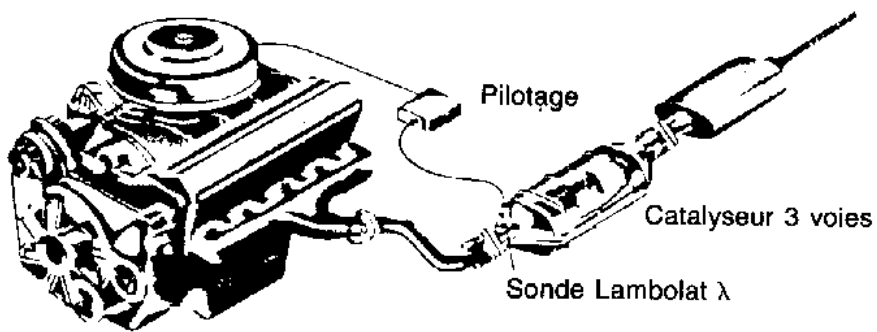
<b>BILLES</b>	<b>MONOLITHE</b>
<u>Avantages</u>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- bon marché</li><li>- remplissage facile</li><li>- possibilité de remplacement par vidange du pot.</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- taille réduite</li><li>- forme adaptable (section ronde ou ovale)</li><li>- coefficient de dilatation très faible</li></ul>
<u>Inconvénients</u>	
<ul style="list-style-type: none"><li>- pot encombrant (surface importante)</li><li>- destruction possible par attrition</li><li>- risque de bouchage des grilles de sortie</li></ul>	<ul style="list-style-type: none"><li>- prix élevé</li><li>- pas de réparation possible</li></ul>

Le monolithe de céramique est de conception plus récente que les billes d'alumine mais il s'est imposé sur le marché mondial.

-Schéma d'un convertisseur catalytique trois voies à monolithe (d'après un document Walker)



La disposition du convertisseur catalytique est la suivante (d'après un document Degussa) :



Doc Degussa



#### 4°-1-2. Le mode de fonctionnement

Le convertisseur trois voies provoque par successions pulsées sur un même lit catalytique l'oxydation du monoxyde de carbone et des hydrocarbures puis la réduction des oxydes d'azote ; la pulsation étant définie par la fluctuation de la richesse du mélange autour de la valeur stoechiométrique.

A basse température l'oxyde de carbone est absorbé par les surfaces d'oxyde d'aluminium recouvertes par les métaux précieux, les réactions chimiques sont bloquées. Lorsque la température s'élève, la désorption de CO permet un démarrage rapide, celle-ci passant de 200° à 600° en 6 secondes environ. L'efficacité du convertisseur croît fortement à partir d'environ 200° dans une plage de température d'environ 50° de large pour atteindre un maximum à des températures comprises entre 300 et 700° selon les catalyseurs.

Les températures normales de fonctionnement sont atteintes après des parcours de longueur et de durée très variables en fonction de la charge du moteur, de la richesse du mélange, etc...

Pour le cycle d'essai et les voitures américains, il faut presque deux minutes et un kilomètre pour "allumer" le catalyseur.

Pour les voitures européennes, en cycle urbain, la durée et la longueur du parcours avant allumage seraient respectivement de 30 secondes et de 500 mètres.

Le bon fonctionnement d'un convertisseur catalytique trois voies impose que le rapport quantité d'air/quantité d'air théorique nécessaire soit stoechiométrique c'est-à-dire strictement égal à 1, les taux de conversion respectifs des trois polluants étant alors maximaux et proches de 100 %.

Cette nécessité impose un dispositif électronique de contrôle et une mesure permanente de la teneur en oxygène des gaz d'échappement. Cette mesure est effectuée par la sonde "lambda" ( $\lambda$ ).

Lorsqu'une petite déviation par rapport au contenu d'oxygène optimal est constaté par l'intermédiaire de la sonde  $\lambda$ , un signal est envoyé au système de pilotage électronique qui fera effectuer au système d'injection une correction sur le mélange air-combustible.

Comme on le voit, le fonctionnement du convertisseur catalytique trois voies implique l'installation d'un équipement électronique.

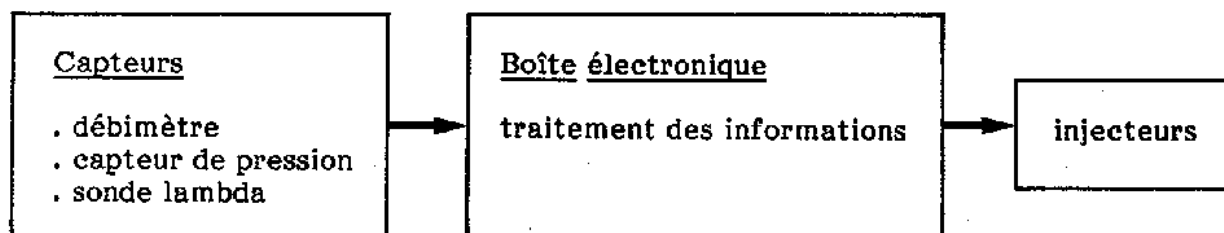
#### 4°-1-3. L'équipement électronique nécessaire

Le respect des proportions stoechiométriques du mélange air-essence, nécessaire au fonctionnement d'un convertisseur catalytique trois voies, impose l'installation d'un dispositif d'injection électronique.

Une injection électronique est un système composé de trois éléments :

- les capteurs permettant de mesurer les variables de fonctionnement du moteur : débit et pression des gaz (débitmètres et capteurs de pression) et teneur en oxygène (sonde  $\lambda$ ) ;
- un calculateur auquel sont transmises les informations collectées par les capteurs ;
- les injecteurs commandés par le calculateur régulant le dosage air-essence.

Le schéma de fonctionnement est donc le suivant :



L'injection électronique peut être :

- monopoint : un seul injecteur pour tous les cylindres ;
- multipoint : un injecteur par cylindre.

Outre sa nécessité pour le fonctionnement d'un convertisseur catalytique trois voies, l'injection électronique améliore le rendement des moteurs par la précision de son alimentation, limite la consommation de carburant et apporte un important confort de conduite. Il semble que, **compte tenu des avantages intrinsèques qu'il présente ce système aurait été de toute façon appelé à se développer même en l'absence du convertisseur catalytique trois voies, ce développement étant simplement accéléré.**

Dans les véhicules qui apparaîtront dans un futur proche, l'injection électronique ne sera plus qu'une des fonctions de la boîte électronique.

En effet l'introduction de l'électronique dans toutes les automobiles est un phénomène inéluctable qui ne cessera de s'étendre.

Elle réglera de plus en plus de fonctions du véhicule : transmission, suspension, freinage, aides diverses à la conduite.

L'injection électronique ne sera donc plus bientôt un équipement réservé aux voitures coûteuses

#### 4°-1-4. Les autres contraintes

Le fonctionnement du convertisseur catalytique trois voies n'implique pas de modifications du moteur si celui-ci est alimenté avec un carburant sans plomb d'indice d'octane suffisant.

Si l'indice d'octane est insuffisant, on peut installer un système anti-cliquetis. Par contre, si l'indice d'octane est très faible, le moteur doit être complètement modifié.

Sur les voitures de dimensions réduites, l'implantation du convertisseur catalytique exige surtout une étude de localisation.

Les contraintes géométriques pour l'implantation du pot catalytique sont très difficiles à résoudre car il faut concilier :

- la proximité du moteur pour assurer une température de fonctionnement minimale,
- la protection thermique du catalyseur,
- la protection thermique du véhicule à l'égard du pot catalytique,
- le maintien de la garde au sol.

Enfin la protection du catalyseur contre des échauffements excessifs peut exiger des systèmes du type mise automatique hors circuit, totale ou partielle, du réacteur catalytique en cas de mauvais fonctionnement du moteur. Ce problème n'est pas encore tout à fait bien cerné pour l'Europe où les risques d'échauffement excessif, par exemple sur autoroute, sont plus élevés qu'aux Etats-Unis où les vitesses sont plus faibles.

#### 4°-1-5. Les précautions d'utilisation

L'installation d'un convertisseur catalytique trois voies impose l'utilisation de carburant sans plomb, car le plomb détruit très rapidement l'action catalytique des métaux nobles.

C'est la raison pour laquelle l'essence sans plomb va être introduite dans la Communauté économique européenne. Il sera nécessaire pendant la période où seront utilisés à la fois du carburant plombé et du carburant sans plomb, de prévoir une distinction très nette au niveau de leur distribution afin de prévenir l'utilisation accidentelle de carburant plombé dans des automobiles équipées d'un convertisseur catalytique trois voies.

#### 4°-2. Les conséquences techniques de l'emploi du convertisseur catalytique trois voies

##### 4°-2-1. Les conséquences sur la puissance des moteurs

L'installation d'un pot catalytique provoque en principe une perte de performances car :

- le monolithe ou les billes introduisent une résistance à l'écoulement des gaz d'échappement et accroissent la perte de charge,
- le bouclage du pot trois voies supprime pour partie l'accord "acoustique" à l'admission qui permet une forme de suralimentation du moteur par la simple utilisation de la propagation des ondes de pression dans la tubulure d'admission.

Inversement, la nécessité d'un mélange plus riche pour le catalyseur trois voies est en principe facteur d'accroissement des performances.

Quantitativement, on doit dire que les pertes de performances sont assez variables car elles dépendent des réglages des moteurs. Dans l'ensemble on peut estimer au plus à 8-10 % la perte de puissance maximum. Cette perte est plus faible si le moteur de référence fonctionne à mélange assez pauvre mais c'est alors la surconsommation qui est plus élevée.

Il semble que la somme des pourcentages de perte de puissance maximum et d'augmentation de la consommation est comprise entre 5 et 12 % ; aux Etats-Unis elle est souvent évaluée à 5 % seulement, mais des voitures plus coûteuses peuvent être mieux optimisées.

Si la modification d'un véhicule à carburateur comporte non seulement l'implantation du réacteur catalytique mais aussi celle de l'injection électronique, la précision et le réglage de celle-ci peuvent presque supprimer les pertes de puissance et d'économie évoquées.

Le couple dépend à puissance donnée du rapport de boîte de vitesse adopté.

Les couples élevés sont intéressants pour obtenir la "souplesse" aux vitesses faibles et moyennes qui ne correspondent pas aux puissances maximum et le moteur peut être étudié en conséquence. C'est ainsi qu'un constructeur tel que BMW a perfectionné sur un modèle à pot catalytique l'accord acoustique dans les tubulures d'admission pour obtenir un couple élevé à basse et moyenne vitesse.

Les capacités d'accélération d'un véhicule à une vitesse donnée sont proportionnelles à la puissance disponible. L'installation d'un ensemble catalytique peut amener ainsi une réduction d'environ 8 % des accélérations maximales. Rappelons qu'une diminution de 10 % de la puissance maximale réduit la vitesse maximale de moins de 4 %.

Pour ramener les performances du modèle aux niveaux atteints en l'absence de pot catalytique, on peut :

- implanter l'injection d'essence sur les modèles qui en étaient dépourvus ;
- adopter la suralimentation ;
- raccourcir les rapports de boîte de vitesse.
- Enfin, des réductions simultanées de 10 % des masses et du coefficient d'aér. dynamisme ( $C_x$ ) du véhicule permettraient de compenser les pertes de puissance et de couple mais cela revient à changer de modèle et de prix.

#### 4°-2-2. Conséquences sur la consommation de carburant

Les surconsommations dues aux dispositifs épurateurs résultent de :

- la perte de charge induite par le pot catalytique,
- la nécessité d'utiliser un mélange riche.

On manque de mesures expérimentales pour évaluer ces surconsommations et le raisonnement intervient le plus souvent sur des bases théoriques, dans la mesure où d'une part les données concernent soit des modèles qui ont beaucoup évolué, soit des cycles différents (européen, japonais, américain) et où d'autre part, il est nécessaire de disposer de véhicules identiques.

Sous ces réserves, les quelques mesures comparant des modèles semblables vendus aux Etats-Unis et en Europe font apparaître que les surconsommations dues au dispositif catalytique sont de l'ordre de 0 à 6 % au maximum.

Pour apprécier correctement cette surconsommation due à la présence d'un convertisseur catalytique trois voies, il faut avoir à l'esprit que des surconsommations bien plus importantes sont observées de façon courante.

Celles-ci sont dues notamment :

- aux départs à froid suivis d'un trajet de moins de 5 km : surconsommation de 20 à 70 %,
- à des styles de conduite non économe : surconsommation de 50 %,
- à un mauvais état du véhicule et au réglage défectueux du moteur : surconsommation de 20 %.

Cependant il faut reconnaître que ces surconsommations sont épisodiques alors que celles qui proviendraient de l'épuration des échappements seraient systématiques.

#### 4°-2-3. Les conséquences liées à l'utilisation de l'essence sans plomb

##### - Les conséquences mécaniques

La suppression du plomb dans l'essence introduit diverses conséquences mécaniques.

En tant que lubrifiant du contact soupapes-sièges le plomb ne pourra pas être remplacé par un adjuvant dans le carburant. Les sièges de soupapes devront donc être composés de matériaux résistant mieux à l'usure tels que l'acier, ou de matériaux frittés. Ces modifications sont mineures et appliquées depuis 1971 aux Etats-Unis.

De récentes études américaines estiment qu'une quantité de plomb minime suffirait à assurer la lubrification des sièges de soupape.

En conséquence, les Etats-Unis ont décidé la suppression de l'essence plombée à partir de 1986, le plomb subsistant comme impureté étant considéré comme suffisant pour les soupapes.

D'après diverses études australiennes, canadiennes et américaines, l'usage d'essence sans plomb permettrait diverses économies d'entretien en diminuant la fréquence de remplacement des bougies, des silencieux et des pièces d'échappement. L'intervalle de remplacement des bougies serait ainsi plus que doublé, les coûts d'entretien de silencieux et d'échappement seraient réduits de plus de moitié. C'est la présence des dépôts de plomb au brome et au chlore dans l'essence plombée qui provoque les érosions des électrodes des bougies, des tubulures d'échappement et des silencieux. L'amélioration de l'état des bougies entraînerait en pratique une économie d'essence de 1 ou 2 % en moyenne nationale.

Un avantage moins bien établi résulterait des diminutions de pollution de l'huile moteur, donc de la fréquence des vidanges d'huile. Sur les derniers modèles de voitures américaines, des intervalles entre vidanges de plus de 15000 km sont fréquents, la suppression de plomb étant un facteur important mais partiel de cette évolution.

Dans l'ensemble, une étude américaine estimait en 1984 à 200 F, l'économie annuelle d'entretien d'une voiture résultant du passage de l'essence plombée à l'essence sans plomb.

### - Les conséquences en matière de consommation

C'est par l'intermédiaire de l'accroissement du taux de compression admissible dans les moteurs que le plomb permet de réduire la consommation d'énergie des moteurs à allumage commandé. Le taux de compression admissible c'est-à-dire non susceptible de déclencher le cliquetis, croît avec l'indice d'octane du carburant.

La suppression du plomb dans l'essence abaissant l'indice d'octane devrait faire augmenter la consommation des moteurs d'environ 1 % par point de baisse de l'indice.

A technologie égale des moteurs et du raffinage, le passage à l'essence sans plomb devrait provoquer pour les véhicules fonctionnant actuellement au super un accroissement de consommation totale de 5 à 6 % pour un indice d'octane final compris entre 91 et 95.

Des études menées sur le continent américain pour comparer en 1980-1981 les consommations de véhicules similaires - au Canada (essence avec plomb) et aux Etats-Unis (essence sans plomb) - ont conclu dans l'ensemble à l'identité de consommation (0,3 à 0,6 % en moins pour les véhicules américains).

Sur une période de 10 ans, compte tenu d'améliorations techniques constantes, la consommation des véhicules a baissé au Japon et aux Etats-Unis après l'introduction d'essence sans plomb mais avec maintien de l'indice d'octane, l'allègement des véhicules ayant aussi joué un rôle aux Etats-Unis.

Les moyens de remédier à la surconsommation induite par la suppression du plomb dépendent donc seulement de l'indice d'octane finalement retenu.

Si on désire maintenir l'indice d'octane, il convient d'utiliser des adjuvants de substitution au plomb.

Si l'indice d'octane n'est abaissé que de 1 à 2 points (98 à 96), les risques accrus d'apparition du cliquetis n'apparaissent pas inacceptables avec les voitures modernes.

Si l'indice d'octane est abaissé de plusieurs points, les systèmes de détection de cliquetis permettent de modifier en temps réel l'avance à l'allumage, et on pourrait conserver les moteurs actuels au prix d'un surcoût de moins de 800 F. Ce surcoût est acceptable sur les automobiles de haut de gamme, mais le système anticliquetis peut cependant diminuer l'agrément de conduite.

Si l'indice d'octane est fortement abaissé, on peut essayer de conserver les taux de compression en réduisant les risques d'apparition du cliquetis par modification des chambres de combustion. Des chambres très compactes de petit volume peuvent être envisagées. Pour garder la puissance, on pourrait multiplier le nombre de cylindres mais cela augmenterait le coût du moteur. On peut aussi améliorer la turbulence dans les chambres ainsi que l'allumage, l'utilisation de deux bougies donnant une énergie plus élevée.

L'action sur les transmissions est une autre méthode pour réduire les risques d'apparition du cliquetis sans changer les taux de compression sur les moteurs classiques.

Le cliquetis apparaissant plutôt aux fortes charges, la limitation d'emploi de ces zones de fonctionnement du moteur exige si l'on veut conserver la "nervosité" de la voiture de raccourcir les rapports de transmission. Le problème des accélérations à très haute vitesse n'est pas résolu pour autant et une très légère augmentation de la consommation (1 % pour 2 points d'abaissement d'indice d'octane) peut apparaître, cette augmentation ne se cumulant pas avec les précédentes puisque le taux de compression est maintenu. Il n'y a pas cumulé de pertes de performances et d'accroissement de la consommation du fait de la diminution de l'indice d'octane.

4°-2-3. Conséquences liées à l'utilisation éventuelle d'adjuvants pour maintenir l'indice d'octane de l'essence sans plomb.

Pour maintenir l'indice d'octane de très nombreux adjuvants peuvent être utilisés.

Cependant, si l'on exclut les organométalliques et les composés nitrogénés dangereux, le choix se limite aux composés oxygénés.

L'arrêté du 4 octobre 1983 a fixé les proportions de ces composés oxygénés pouvant être employés dans le carburant actuel (voir le chapitre consacré au pétrole).

Les proportions fixées pourraient être dépassées pour atteindre un taux total d'oxygénés de 10-12 % en volume.

Il faut rappeler qu'aux Etats-Unis on vend sous le nom de gasohol un carburant contenant 10 % en volume d'éthanol, et des carburants contenant 5 % de méthanol et 2,5 % de MTBE.

Dans ces proportions, limitées pour restreindre les émissions d'aldéhydes et les risques de dégradation des moteurs, les adjuvants ne posent pas de problèmes difficiles pour le fonctionnement et la longévité des moteurs.

. Problèmes mécaniques

Aucune modification n'est prévue à l'heure actuelle sur les véhicules utilisant les carburants autorisés par l'arrêté du 4 octobre 1983.

Cependant si la proportion d'adjuvants atteignait 10 ou 15 % certains éléments en matière plastique ou en caoutchouc notamment pourraient être l'objet de corrosion. Quelques changements de matériaux ou de petits organes comme par exemple les durites d'échappement devraient être effectués.

Les coûts de ces modifications ne sont pas évalués mais les techniques sont disponibles, notamment à partir de l'expérience brésilienne de fonctionnement des véhicules à l'éthanol pur.

Enfin, la chaleur latente de vaporisation élevée de l'éthanol et surtout du méthanol complique le problème du démarrage à froid des véhicules. Des solutions peuvent être trouvées, notamment par changement de carburant pendant les périodes froides. En pratique, compte tenu du pourcentage d'adjuvants prévu, ce problème ne se présentera pas en Europe.

## . Pollution

Sur le plan de la pollution, ce sont les évaporations d'hydrocarbures qui différencient le plus l'essence avec adjuvant de l'essence sans adjuvant.

## . Consommation

Les alcools et les éthers présentent des caractéristiques différentes de celles des carburants pétroliers, le méthanol étant celui qui en diffère le plus.

Certaines de ces caractéristiques ont des conséquences sur la consommation. La réduction du pouvoir calorifique au litre augmente la consommation exprimée en litres aux 100 km. Par contre, l'augmentation de densité du carburant et l'appauvrissement du mélange carburé la diminuent. Au total, il y a une certaine compensation entre les deux effets.

Le calcul de l'effet global effectué dans le cas du mélange méthanol TBA utilisé à la concentration de 5 % ( $M_3TBA_2$ ) et dans celui de l'éthanol (concentration de 7 %) montre que :

- pour le parc actuel, la consommation est pratiquement inchangée avec le mélange  $M_3TBA_2$  ; elle diminue légèrement dans le cas de l'éthanol : -0,8 %

- dans le cas de véhicules récents réglés pauvres, et pour ceux qui seront équipés vers 1990 de systèmes de régulation de la richesse pour les adapter aux pots catalytiques trois voies, la compensation n'existe plus ; la consommation devrait augmenter respectivement de 2,2 % ( $M_3TBA_2$ ) et de 1,75 % (éthanol).

### 4°-3. L'efficacité du convertisseur catalytique trois voies

#### 4°-3-1. Les limites de fonctionnement

Une première limite tient à la nécessité d'une température minimale pour "allumer" le convertisseur catalytique.

Ainsi, des parcours de deux à trois kilomètres qui comporteraient de longues périodes de ralenti ne permettent pas d'atteindre la température normale de fonctionnement.

Cette limite semble d'autant plus importante que la circulation dans les grandes villes, par exemple à Paris, est à certaines heures de la journée très ralentie : pendant ces périodes les convertisseurs catalytiques trois voies ne fonctionneraient pas.

Une autre limite au bon fonctionnement de ces convertisseurs pourrait se trouver en cas de température de fonctionnement très élevée notamment lors des parcours sur autoroute à grande vitesse.

Cette situation est d'autant plus incertaine qu'on ne dispose pas à l'heure actuelle d'expérience permettant d'apprécier le comportement des convertisseurs catalytiques dans cette situation.

En effet, on ne peut se référer à la situation des Etats-Unis dans la mesure où dans ce pays, la vitesse sur autoroute est limitée à 88 Km/h.



Des essais effectués par l'UTAC pour l'Agence pour la qualité de l'air sur une voiture équipée d'un convertisseur catalytique trois voies montrent que :

- le convertisseur catalytique trois voies est une technique efficace de réduction des émissions de NOx ;
- à 160 km/h la température à la sortie de ce convertisseur reste bien en deçà (750-770°C) de la température de fusion du monolithe (1400°C) ;
- en cas de fonctionnement avec l'allumage défaillant (une bougie débranchée) la température s'élève à 900-930°C mais reste inférieure à 1400°C ;
- le catalyseur fonctionne lorsque le véhicule parcourt le cycle d'essai européen bien que la vitesse et la charge (donc la température des gaz) soient relativement faibles ;
- après 40 000 km, le convertisseur fonctionne toujours.

Bien entendu ces résultats ne sont qu'une première approche dans la mesure où ils n'ont été obtenus que sur une seule voiture.

Ces essais doivent donc être poursuivis et étendus.

Un problème très important se pose cependant là car l'augmentation des températures amène un accroissement de la taille des particules de métaux déposés sur le support, la réduction de la surface accessible des métaux catalyseurs entraînant une baisse de l'efficacité du convertisseur.

Ce phénomène apparaît dès 600° mais est relativement lent. Il devient par contre très rapide pour des températures de l'ordre de 900°, 1000° - 1100° et même le support du catalyseur est atteint.

Cette faiblesse du convertisseur catalytique peut être palliée par une conception de l'ensemble moteur-convertisseur qui protège le convertisseur de l'exposition à des températures excessives.

Mais comme nous l'avons vu, il y a une nécessité d'atteindre très rapidement après un départ à froid des températures assez élevées.

Ces deux nécessités rendent la conception de l'ensemble moteur-convertisseur assez délicate bien que dans les conditions de circulation européennes on pourrait protéger le catalyseur par mise hors circuit en cas de température d'échappement excessive.

Trois cas d'échauffement excessifs peuvent être examinés :

- pour les conditions normales de circulation sur autoroute, les expérimentations récentes de la firme Johnson - Mathey en Grande-Bretagne et de Opel en RFA semblent montrer que des formules de convertisseur satisfaisantes existent mais il faut un dosage en métaux précieux assez élevé impliquant donc un coût plus élevé,
- en cas de défaut d'allumage par exemple à cause d'une bougie défaillante, l'arrivée de carburant imbrûlé dans le convertisseur catalytique entraîne l'intensification des réactions d'oxydation et un échauffement. Ce problème ne

semble plus se poser aux Etats-Unis où il est évité par diverses méthodes (allumage électronique et étincelle à haute énergie). L'usage d'essence sans plomb est par ailleurs favorable car l'accroissement de la longévité des bougies et la qualité de l'allumage diminuent fortement l'arrivée d'imbrûlés dans le convertisseur,

- en cas de départ à froid, du carburant se retrouve également directement dans le convertisseur catalytique et risque d'amener également une surchauffe. Les constructeurs américains de véhicules à pot catalytique n'ont pas réussi totalement à se prémunir contre ce danger, des réglages de carburation ou d'injection devant s'efforcer d'éviter les bouffées d'imbrûlés.

La destruction des 9/10 de la surface utile de métaux précieux peut entraîner le doublement ou le triplement des émissions de HC et le quadruplement des émissions de CO. Il y a une certaine homogénéité dans l'affaiblissement d'efficacité pour les divers types de polluants et on peut dire qu'avec un pot catalytique complètement détruit, le véhicule émet exactement comme un véhicule non équipé.

En cas de mauvais fonctionnement le problème est un peu différent. Celui-ci est dû le plus souvent pour le convertisseur trois voies à un dérèglement tendant à provoquer un mélange trop riche. Dans ce cas, l'efficacité est fortement abaissée pour les HC et le CO mais les réductions d'émission de NOx ne sont pas modifiées.

Dans le cas, très rare en pratique, où le mélange serait trop pauvre, on a l'effet inverse et les émissions de NOx sont élevées.

#### 4°-3-2. Des incertitudes

Une incertitude majeure tient au problème du vieillissement.

En effet, le convertisseur catalytique vieillit sous l'effet de la température et par l'action d'empoisonnement de divers éléments chimiques contenus dans le carburant ou les huiles de lubrification.

Le plomb est en principe éliminé mais des traces demeurent et leur élimination progressive constitue un problème bien connu aux Etats-Unis. Le soufre de l'essence et le phosphore de l'huile constituent les deux autres poisons les plus connus et il est très difficile de les éliminer.

Le vieillissement dû à l'ensemble de ces causes est théoriquement faible pour un véhicule utilisé normalement si le dosage en métaux précieux du catalyseur est suffisant.

Les catalyseurs en fonctionnement aux Etats-Unis sont soumis à la règle des 50 000 miles (80.000 km) et 5 ans minimum de "longévité" pendant laquelle les normes d'émissions réglementaires doivent être respectées. Cette limite de 50 000 miles passe à 100 000 miles pour les utilitaires.

Cependant, en Europe, la circulation rapide et prolongée sur autoroute pourra amener un vieillissement excessif des convertisseurs catalytiques.

Actuellement on ne sait pas encore bien quel sera le comportement d'un convertisseur catalytique après un trajet de plusieurs heures sur autoroute à 130 km/h ou parfois plus, comme en RFA où la vitesse sur autoroute n'est pas limitée. L'étude de l'UTAC précédemment citée devra ainsi être étendue pour pouvoir apporter des réponses sûres.

De plus, la "longévité" au sens américain signifie en pratique une efficacité satisfaisante du convertisseur pour une distance au minimum double de 80 000 kilomètres.

D'après un rapport de l'EPA publié à la fin du mois de mai 1985, le pourcentage des voitures dont l'émission respecte les normes fédérales ne serait plus que de 40 % du total de la flotte, alors qu'une étude précédente publiée en 1980, montrait que le pourcentage se situait aux alentours de 65 %.

Cependant, pour apprécier convenablement ces chiffres, il faut sans doute tenir compte de l'amélioration des contrôles, qui font aussi progresser artificiellement le pourcentage de véhicules ne respectant pas les normes d'émission.

#### Distances parcourues en France par an suivant les cylindrées

Cylindrée	% du parc total	distance parcourue par an en km
- 1400 cm <sup>3</sup>	67,2	11 000
1401-2000 cm <sup>3</sup>	29,7	15 000
2001 cm <sup>3</sup> et plus	3,1	20 000

Compte tenu de ces distances parcourues une longévité du convertisseur catalytique de l'ordre de 80 000 km éviterait de remplacer celui-ci avant que les véhicules soient retirés de la circulation.

Mais si la longévité devait dans les conditions de fonctionnement européennes être beaucoup plus courte elle exigerait la mise en place d'un contrôle périodique des véhicules pour assurer le remplacement des convertisseurs catalytiques usés.

Enfin, une autre incertitude tient à la possibilité ou non de récupérer le platine des convertisseurs remplacés.

La récupération du platine et des métaux platinoïdes (rhodium, palladium) semble, d'après des informations recueillies aux Etats-Unis, techniquement possible.

Cependant cette récupération ne serait pas faite actuellement aux Etats-Unis compte tenu du prix de revient de la collecte.

Au Japon, par contre, une entreprise aurait mis en oeuvre une activité de récupération.

Il nous semble que cette récupération devrait pouvoir être envisagée en France par l'intermédiaire des garages comme cela est actuellement pratiqué pour l'huile usagée.

#### 4°-3-3. - Le contrôle du bon fonctionnement

##### - L'organisation du contrôle

Les systèmes d'inspection périodique ne contrôlent que les émissions de CO et de HC pour le véhicule au sol et au ralenti. Dans le cas des systèmes catalytiques trois voies bouclé, la mesure de l'émission de CO au ralenti suffit à détecter une défaillance du bouclage ou du catalyseur donc aussi un excès d'émission de NOx.

Des mesures systématiques des émissions de NOx seraient plus longues et plus coûteuses car elles exigent l'expérimentation sous charge sur un banc à rouleaux.

Lorsqu'il y a dépollution sans pot catalytique, la mesure des émissions de CO au ralenti donne des indications convenables pour les émissions de HC et CO, mais elle n'est guère utile pour le contrôle des NOx. Remarquons cependant que le contrôle des HC qui concourent à la formation des oxydants constitue aussi une nécessité.

L'inspection visuelle complémentaire aux mesures permet de vérifier la présence et le branchement des réacteurs catalytiques et de la recirculation des gaz d'échappement qui intéresse les NOx. Elle exige un personnel assez entraîné et organisé pour comparer le véhicule avec le descriptif d'origine du modèle.

Les intervalles de contrôle souhaitables, assez difficiles à définir, dépendent des techniques de dépollution, du comportement des usagers et garagistes et de la fiabilité des dispositifs de dépollution.

La dépollution européenne actuelle a une efficacité très dépendante du réglage du moteur, les usagers et garagistes tendent toujours à enrichir le mélange pour que le moteur "tourne rond" et démarre bien, amenant aussi un excès d'émission de CO et HC et non de NOx.

Pour les techniques de dépollution plus sophistiquées utilisant les convertisseurs catalytiques, un problème essentiel est celui de l'introduction d'essence plombée par mégarde ou volonté d'économie si celle-ci est moins chère que l'essence non plombée.

Les systèmes de contrôle devraient être en ce cas spécifiques car trois remplissages du réservoir à l'essence plombée suffisent à détruire le catalyseur.

La période d'immobilisation du véhicule comprendra :

- le temps du trajet,
- l'attente,
- les mesures, l'inspection visuelle, les écritures.

Le temps du trajet dépendra de l'organisation du système. Un système centralisé par exemple au chef-lieu du département dans un garage officiel s'opposera à un système décentralisé où les garages privés sont proches du client. Dans ce dernier cas, il est indispensable de prévoir une homologation complétée par un système d'inspection.

L'attente pourrait être le point critique : si l'année est retenue comme périodicité, il risque d'y avoir un encombrement important à certaines périodes.

On peut estimer le temps nécessaire aux mesures, à l'inspection visuelle et aux écritures à environ 20 minutes.

Enfin se pose le problème du coût et de sa prise en charge : les tarifs seront-ils fixés par la puissance publique ou non, le coût sera-t-il assumé par l'usager ou par la collectivité.

Les installations comprendraient essentiellement un analyseur d'oxyde de carbone prélevant les gaz, dosant le CO et traitant les mesures. Les analyseurs fonctionnent généralement sur le principe de l'absorption par CO d'un rayonnement infrarouge. Les appareils classiques sont susceptibles d'usages fantaisistes et sont assez lents pour l'élaboration écrite des résultats. Il est indispensable d'utiliser des appareils modernes à traitement et stockage informatique de données rendues ainsi vérifiables. Les appareils doivent être officiellement étalonnés et vérifiés périodiquement.

Les constructeurs d'analyseurs sont environ 6 en France et autant aux Etats-Unis où l'europpéen Siemens est déjà bien implanté. Seules deux marques françaises sont placées sur un marché qui pourrait évoluer fortement avec l'extension des contrôles périodiques aux Etats-Unis. Un constructeur américain construit des équipements en France.

Pour un appareil de série moyenne à traitement numérique des mesures physiques l'ordre de grandeur du prix pourrait baisser à environ 10 000 F. Les appareils mesurent en général aussi HC,CO<sub>2</sub> et effectuent un diagnostic très complet du fonctionnement du moteur.

Il nous semble que le contrôle des émissions des automobiles devrait se faire dans le cadre d'un contrôle technique obligatoire des véhicules qui pourrait avoir lieu dans un premier temps, tous les cinq ans puis dans une seconde étape, tous les deux ans.

Les propriétaires des véhicules concernés devraient être obligés, pour obtenir l'autorisation de circuler, de faire effectuer la réparation des pannes et des dysfonctionnements diagnostiqués.

En RFA, depuis le 1er juillet 1985, les voitures en circulation sont soumises à un contrôle annuel obligatoire des gaz d'échappement.

#### - L'organisation des contrôles aux Etats-Unis

Les Etats Unis ne disposaient pas il y a 2 ans de système d'inspection ni pour la sécurité ni pour la dépollution ; la mise en place de système dans les Etats découle des incitations pressantes de l'Agence Fédérale pour l'Environnement (E.P.A.)

L'E.P.A. a défini les procédures générales et les zones dans lesquelles compte tenu de la qualité de l'air, l'inspection doit être mise en place. Actuellement, 22 Etats ont adopté des systèmes d'inspection qui sont très divers.

Le coût de l'inspection à la charge du propriétaire du véhicule varie en général de 0 à 10 \$ sauf en Alaska où il est assez élevé.

Il est difficile aujourd'hui de disposer de la totalité des résultats des contrôles mais des enquêtes préalables détaillées donnent diverses indications pour ce pays :

- la mesure de CO au ralenti est très efficace pour détecter la petite fraction de véhicules défectueux qui émettent à eux seuls jusqu'à 80 % de la totalité des gaz polluants du parc,
- pour les voitures sans convertisseur trois voies, les réparations consécutives aux inspections aboutiraient à des résultats variables et en tout cas souvent médiocres quant la consommation,
- pour les voitures avec convertisseur trois voies, l'I.M. ("Inspection Maintenance") permet de détecter très rapidement les défaillances (sonde abîmée, dérégulation) qui sont coûteuses en carburant ; l'I.M. amènerait dans ce cas pour le parc équipé de convertisseur trois voies une économie de carburant de 3-4 %.
- compte tenu de la longévité des systèmes de dépollution moderne imposée par l'E.P.A., l'I.M. pourrait être moins fréquente ou allégée dans quelques années. La disparition prochaine de l'essence plombée peut accentuer ces tendances.

4°-4. - Les difficultés découlant de l'utilisation du convertisseur catalytique trois voies

4°-4-1. Le problème du coût

- Le coût des matériels

**Prix de vente hors taxes approximatif  
d'un convertisseur trois voies en 1984**

en francs

Catalyseur	=	1500-2000
Protection	=	200
Sonde	=	200
Injection monopoint	=	2000
ou Injection multipoint	=	3000

Sources: OCDE - EPA - Constructeurs américains - Fabricants de convertisseurs catalytiques.

Il faut noter qu'un dispositif de recirculation des gaz d'échappement peut s'imposer en plus, le coût de celui-ci étant d'environ 600 F.

Au total le coût de l'équipement d'un véhicule avec convertisseur catalytique peut donc varier entre 4500 - 6000 F et 3700-4200 F.

Il faut comparer ce coût avec celui d'un ensemble convertisseur d'oxydation plus recirculation des gaz d'échappement qui peut varier entre 4600 - 5000 F et 2600 - 3000 F.

Ces prix résultant de travaux de l'O.C.D.E. et de divers recoupements notamment auprès des fabricants d'équipements épurateurs, correspondent aux surcoûts sur les marchés suisses et allemand des voitures à pots catalytiques présentées en 1985. On peut penser qu'ils sont destinés à baisser par économies d'échelle due à la production en grande série et à la concurrence. Des progrès techniques sur la teneur des catalyseurs en métaux précieux sont attendus.

- Le coût des véhicules équipés

Ces équipements majoreront inévitablement le prix des véhicules. En faisant l'hypothèse que les prix des équipements n'ont pas changé depuis 1984, les majorations de prix seraient environ les suivantes pour un certain nombre de voitures françaises :

**Coût du montage d'un convertisseur catalytique d'oxydation  
+ RGE d'un prix de 2600 F. - 3000 F sur une automobile  
d'une cylindrée de 1,4 l à 2 l avec injection d'origine.**

Marque-type	cylindrée	Prix hors TVA (33,3%)	augmentation du prix en %
CITROEN Visa GTI	1 580	54 163 F	4,80 à 5,53
PEUGEOT 205 GTI	1 580	58 214 F	4,46 à 5,15

**Coût de l'installation d'un convertisseur catalytique d'oxydation  
+ RGE avec ou sans montage d'un système d'injection sur une automobile  
d'une cylindrée de 1,4 l à 2 l sans injection d'origine**

Marque-type	cylindrée en cm <sup>3</sup>	Prix hors TVA (33,3 %)	augmentation du prix en %	
			avec montage d'un système d'injection	sans montage d'un système d'injection
RENAULT R9 GTX	1 700	51 012 F	9,01 à 9,80	5,09 à 5,88
PEUGEOT 305 GTX	1 900	59 864 F	7,68 à 8,35	4,34 à 5,01
RENAULT 18 GTL	1 600	50 187 F	9,16 à 9,96	5,18 à 5,97

**Coût du montage d'un convertisseur catalytique trois voies  
sur une automobile d'une cylindrée de plus de 2 litres  
avec injection d'origine.**

Marque - type	Cylindrée en cm <sup>3</sup>	Prix hors TVA (33,3 %)	avec RGE et bouclage	sans RGE ni bouclage
PEUGEOT 505 GTI 2200	2155	78 394 F	5,74 à 7,65	4,71 à 5,35
CITROEN CX 25 RI	2500	84 021 F	5,35 à 7,14	4,40 à 4,99
RENAULT 25 GTX	2165	82 670 F	5,44 à 7,25	4,47 à 5,08

Les augmentations les plus fortes sont constatées dans le cas du montage d'une injection pour les véhicules de 1,4 l à 2 l de cylindrée.

Mais il faut tenir compte du fait qu'il s'agit dans les exemples ci-dessus d'automobiles non conçues dans la perspective de l'utilisation de dispositifs d'épuration et qu'il s'agit donc de véritables surcoûts.

Il est raisonnable de penser que les véhicules dont la conception intégrera dès l'origine les dispositifs d'épuration seront optimisés en fonction de l'installation de ceux-ci.

Il s'ensuivra très vraisemblablement une diminution du coût réel supplémentaire de ces véhicules.

**4°-4-2. Le problème du parc existant**

Il y a actuellement en France 20,8 millions d'automobiles particulières dont 1,66 million à moteur Diesel qui ne seront pas équipées de dispositifs épurateurs.

Sur l'ensemble des voitures particulières, 54,6 % ont six ans d'âge et moins.

Ces véhicules resteront donc encore un bon moment en circulation. Il semble donc utile de se demander dans quelle mesure il pourrait être remédié aux émissions polluantes de ceux-ci.

Il semble que l'on rencontre beaucoup de difficultés pour envisager le montage de dispositif anti-pollution et notamment de convertisseur catalytique trois voies sur ces véhicules.

Un problème préalable se pose : celui de l'essence sans plomb.



Comme on l'a vu, l'installation d'un convertisseur trois voies sur une automobile suppose l'utilisation d'essence sans plomb.

Comme il n'est pas techniquement possible de modifier le taux de compression du moteur on doit poser au préalable l'hypothèse de la disponibilité d'une essence sans plomb d'indice d'octane satisfaisant pour l'automobile considérée. Les automobiles utilisant l'essence ordinaire pourront accepter des essences sans plomb d'indice d'octane RON supérieur à 90. Rappelons que la proportion d'automobiles roulant à l'essence ordinaire est beaucoup plus faible pour les fabrications françaises que pour les fabrications allemandes ou japonaises : au catalogue 1984, on ne compte sur le marché français que 2 modèles français contre environ 30 modèles allemands.

Dans la mesure où la distribution d'essence sans plomb à un indice d'octane convenable serait assurée, on peut, pour envisager l'implantation d'un système complet de réduction des émissions entre 70 et 80 %, distinguer trois cas :

- le modèle du véhicule n'est plus fabriqué ;
- le modèle est encore fabriqué ;
- le modèle est aussi présenté avec convertisseur trois voies sur les marchés à normes d'émissions contraignantes : Etats-Unis, Suisse, Suède, etc...

Dans les deux premiers cas il ne semble pas réaliste d'envisager l'installation d'un convertisseur trois voies à la fois pour des raisons techniques (contraintes géométriques de l'implantation du pot notamment) et financières dans la mesure où aucune expérience de ce type n'a encore été faite.

Cependant l'observation de la situation en 1985-1986 en RFA pourra être intéressante et il semble qu'il existe, notamment en Autriche et en Suisse, une clientèle spontanée pour anticiper à l'achat d'une nouvelle automobile, la mise en vigueur de nouvelles normes.

Par contre, une installation de ce type peut être mieux envisagée dans le troisième cas dans la mesure où les modèles concernés peuvent être assez nombreux, Renault, par exemple, vendant actuellement en Suisse 6 modèles équipés de catalyseur, de la R5 GTL à la R 25 V6.

Des installations à efficacité réduite pourraient être montées sur des véhicules actuellement en circulation.

On peut réduire les émissions de NOx dans des proportions plus modestes par :

. l'amélioration de l'allumage ; ainsi BMW commercialise pour certains moteurs le "NOx control" qui réduit les émissions de 30 à 40 % ;

. la recirculation des gaz d'échappement ; cependant elle est très difficile à implanter sans étude complète. On risquerait d'accroître les émissions de CO et HC, d'augmenter les consommations de carburant et de diminuer la régularité de fonctionnement du moteur ;

. le montage d'un convertisseur catalytique réduit : des convertisseurs plus petits à teneur en métaux précieux réduite pourraient être installés plus aisément sur les véhicules en circulation. L'efficacité théorique pourrait être réduite à 40-60 % contre 90 % de taux d'épuration pour les convertisseurs de série.

En pratique on craindra fortement que ces convertisseurs soient rendus très rapidement inefficaces. Les risques encourus seraient encore plus élevés que pour les convertisseurs de série car la protection contre les échauffements excessifs sera mal réalisé et les risques d'empoisonnement accidentel ou délibéré par le plomb seront élevés. Il y aura également des risques importants d'empoisonnement par les composés de l'huile de lubrification (phosphore) qui sur les moteurs anciens ou usagés, se retrouveront en quantité importante dans le réacteur catalytique.

Plus que pour les convertisseurs de série, l'adoption de système à efficacité réduite ne peut être effectuée sans mise en place d'un système d'inspection systématique.

Au total, il ne semble pas que l'équipement des véhicules en circulation soit destiné, compte tenu de toutes ces difficultés, à être important.

Cela laissera donc à peu près intactes les capacités de pollution de ces véhicules en circulation et ce, pour une période s'étendant de 10 à 15 ans, qui est la durée pour que s'opère un remplacement intégral du parc automobile.

#### 5°) Une solution pour répondre à l'urgence de la situation : la limitation de vitesse

Les normes imposées par le projet de directive n'entreront, en tout état de cause en vigueur au plus tôt qu'en 1988, pour les nouveaux modèles de véhicules dont la cylindrée est supérieure à 2000 cm<sup>3</sup>.

Les émissions des autres catégories de véhicules ne seront limitées qu'à partir de 1991 ou plus tard.

Ces autres mesures ne commenceront à manifester leurs effets que lentement et peu à peu, pour n'agir de façon déterminante qu'après plusieurs années.

Les mesures de technique automobile n'agissent qu'en fonction du renouvellement du parc des véhicules par des modèles moins polluants. Les normes plus sévères pour les gaz d'échappement ne déploient pleinement leurs effets qu'au bout d'une dizaine ou d'une quinzaine d'années parce qu'elles ne s'appliquent qu'aux véhicules neufs.

Ces effets ne pourront commencer à devenir sensibles que vers les années 1995, à l'époque où le parc actuellement existant aura en grande partie disparu et où les véhicules non polluants commenceront à être en nombre significatif.

Or, la RFA a présenté ce problème de la pollution par les émissions des automobiles comme devant trouver, sous peine des pires catastrophes, des solutions urgentes.

Mais l'obligation d'installer des dispositifs anti-polluants sur les automobiles n'aura pas d'effets immédiats et ne sera donc pas apte à apporter une solution à court terme à ce problème.

Selon les chercheurs de l'"Institut für Energie und Umweltforschung" (IFEU) de Heidelberg, jusqu'à l'horizon 1995, l'efficacité de l'application du projet catalyseurs/essence sans plomb serait moins grande qu'une limitation de vitesse à 100 km/h sur les autoroutes et à 80 km/h sur les autres routes et que ce ne serait qu'entre 1995 et l'an 2000 que la généralisation du catalyseur pourrait donner des résultats analogues.

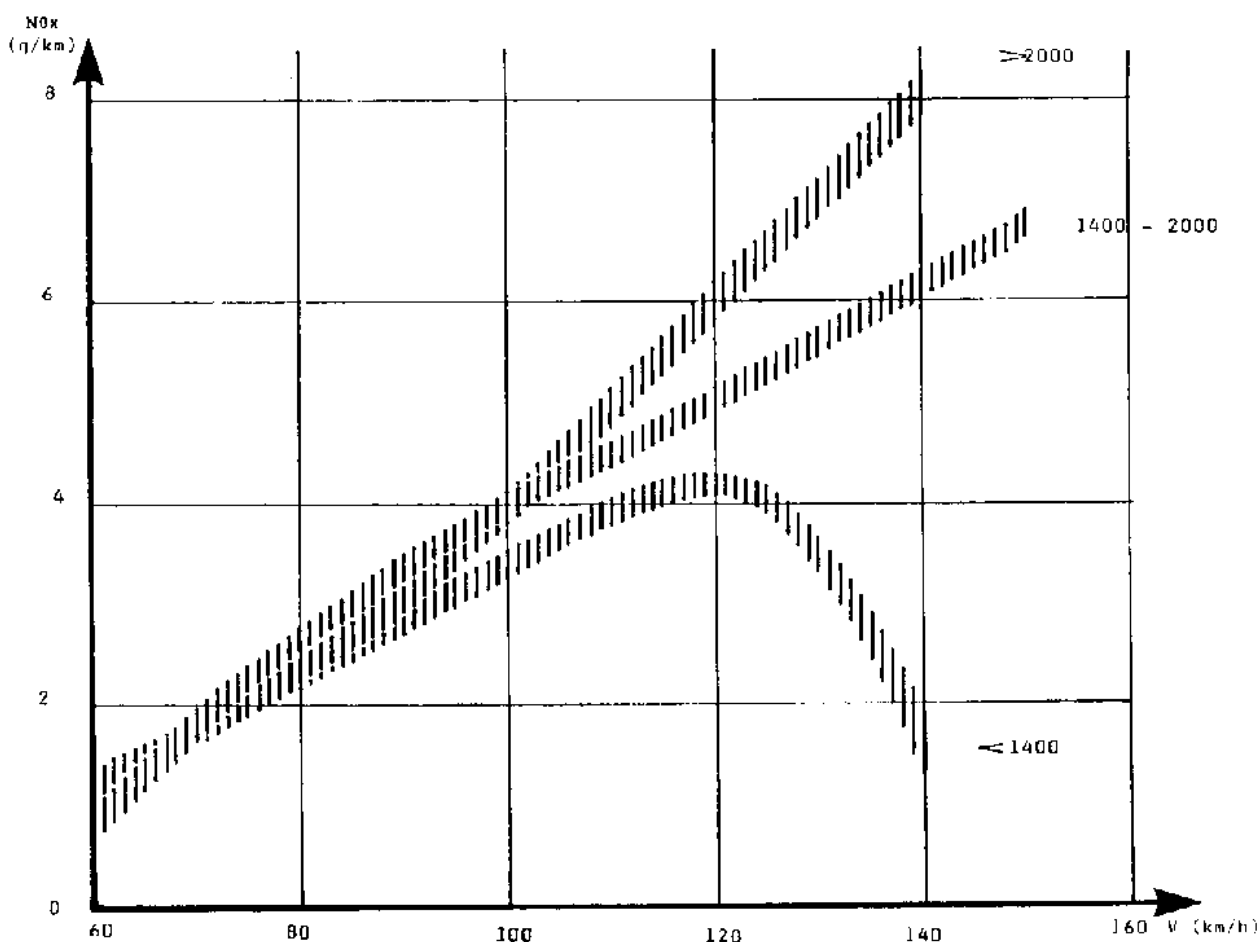
Il nous semble en effet que la limitation de vitesse et que le respect de ces limitations sont des solutions pour répondre à l'urgence de la situation.

### 5°-1. Vitesse et émissions de polluants

Dans un projet de rapport élaboré pour le Ministère de l'Environnement, l'IRT - CERNE rappelait les mesures effectuées par trois organismes européens : le TUV de Rhénanie - Westphalie ; l'Office fédéral pour la protection de l'environnement (OFPE) suisse, le TNO des Pays-Bas sur la relation entre vitesse et émissions de polluants pour les différentes catégories de véhicules.

- Vitesse et émissions de NOx.

#### Influence de la vitesse (stabilisée) sur les émissions de NOx



Ce diagramme illustre très nettement l'augmentation des émissions de NOx en fonction de la vitesse.

Il faut cependant noter une chute très importante de ces émissions pour les véhicules de moins de 1400 cm<sup>3</sup> de cylindrée à partir de 120 km/h, cette chute n'étant pas à l'heure actuelle expliquée techniquement.

L'accroissement très rapide des émissions de NOx avec la vitesse provient de l'élévation des températures de combustion avec la charge du moteur.

Pour des vitesses fluctuantes, les émissions dépendent de la charge du moteur. Elles croissent avec l'accélération des véhicules.

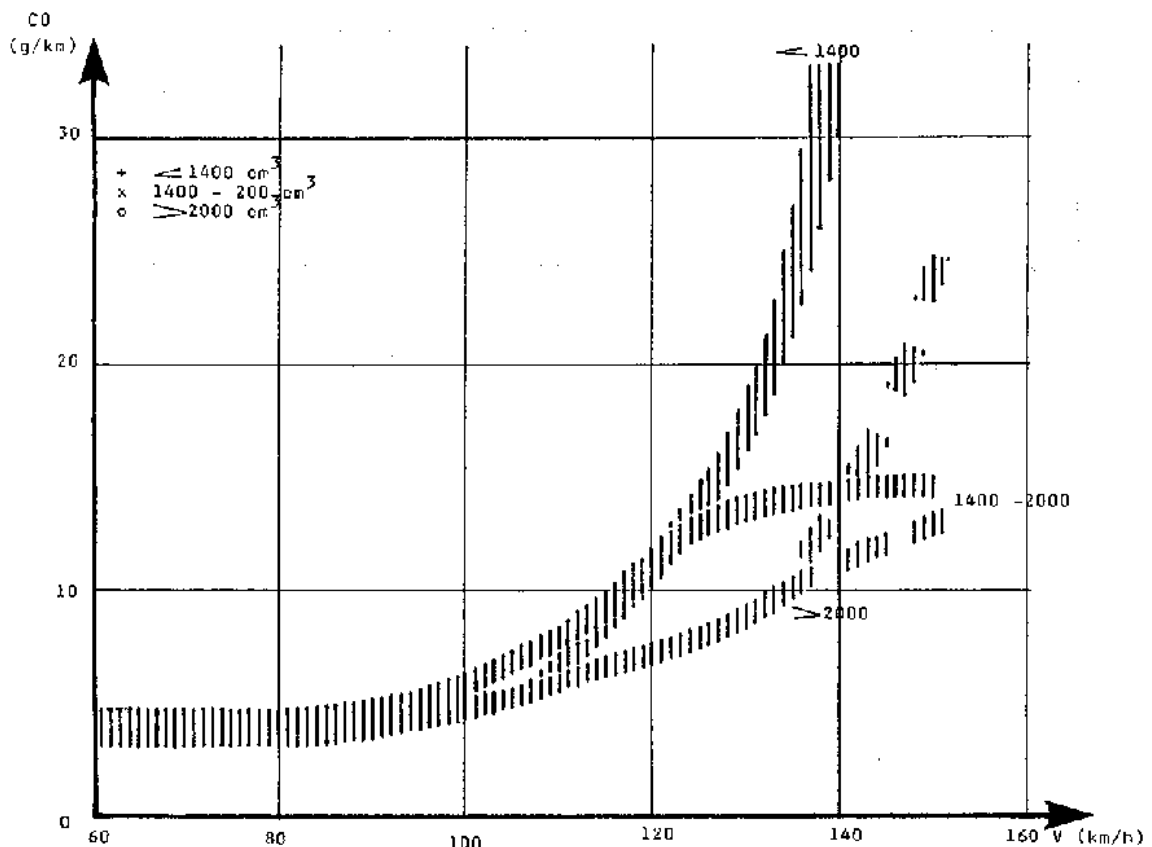
En zone urbaine ou péri-urbaine les émissions de NOx peuvent pour une même vitesse moyenne varier de 15 à 20 % selon le mode de conduite.

En zone urbaine, la régularisation de la vitesse de circulation pourrait amener en même temps que des réductions de consommations des abaissements d'émissions.

#### - Vitesse et émissions de CO.

Le diagramme suivant donne la relation entre les émissions de CO et la vitesse.

**Influence de la vitesse (stabilisée)  
sur les émissions de CO**

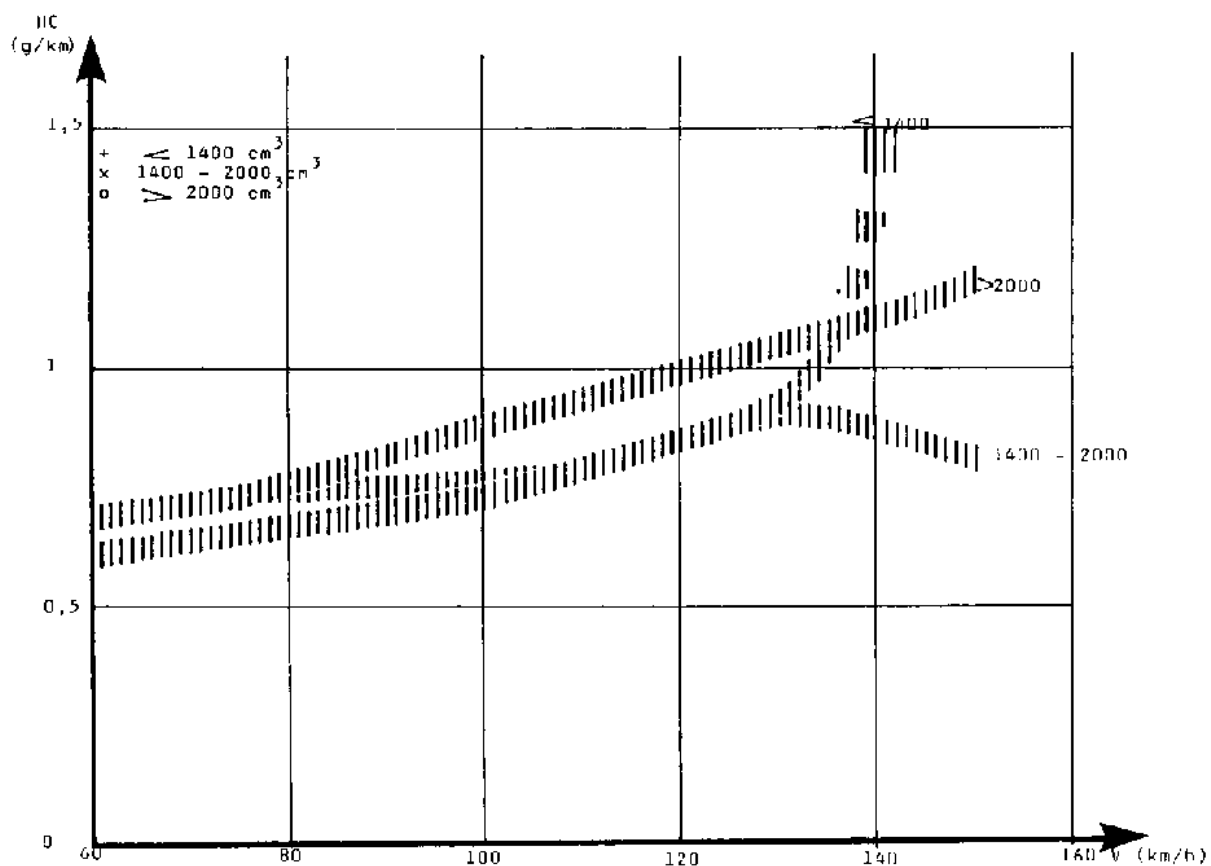


Les émissions de CO croissent de façon générale avec la vitesse et très fortement dans le cas des petites cylindrées.

- Vitesse et émissions de HC.

Ces émissions croissent de la façon suivante :

Influence de la vitesse (stabilisée)  
sur les émissions de HC



Il y a donc également une augmentation des émissions de HC en fonction de la vitesse.

Les données concernant les émissions des trois polluants peuvent être regroupées dans le tableau suivant :

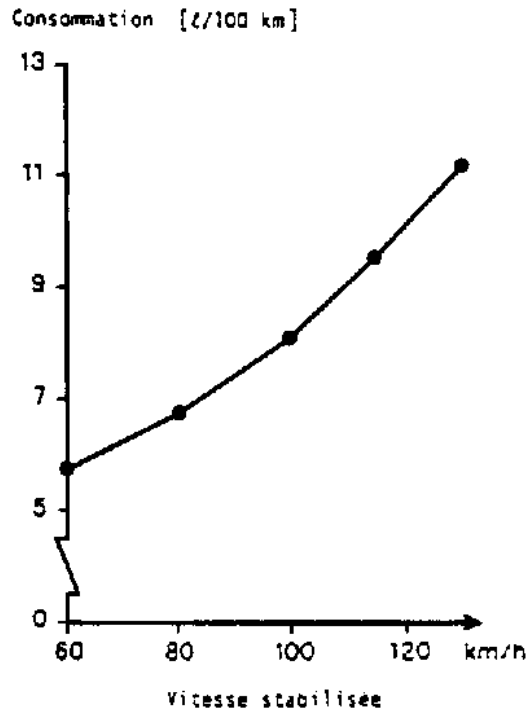
**Moyenne des émissions selon la cylindrée et la vitesse**

			CO	HC	NOx
			---	---	---
classe de cylindrée : - 1400 cm <sup>3</sup>	vit.:	60 km/h;	4,3	0,7	1,3
	vit.:	80 km/h;	5,4	0,7	2,2
	vit.:	90 km/h;	4,5	0,8	2,9
	vit.:	100 km/h;	5,7	0,8	3,3
	vit.:	115 km/h;	11,5	0,8	3,7
	vit.:	120 km/h;	10,6	0,9	4,3
	vit.:	130 km/h;	17,5	0,9	3,6
	vit.:	140 km/h;	71,9	1,5	1,8
	vit.:	150 km/h;	-	-	-
classe de cylindrée : 1401- 2000 cm <sup>3</sup>	vit.:	60 km/h;	3,6	0,6	1,0
	vit.:	80 km/h;	4,0	0,7	2,6
	vit.:	90 km/h;	3,8	0,7	3,5
	vit.:	100 km/h;	4,5	0,7	3,8
	vit.:	115 km/h;	8,6	0,8	4,5
	vit.:	120 km/h;	12,9	1,0	5,0
	vit.:	130 km/h;	13,0	0,9	4,8
	vit.:	140 km/h;	16,8	0,8	6,4
	vit.:	150 km/h;	14,2	0,8	6,6
classe de cylindrée : + de 2000 cm <sup>3</sup>	vit.:	60 km/h;	4,4	0,7	0,9
	vit.:	80 km/h;	3,7	0,7	2,2
	vit.:	90 km/h;	4,7	0,9	3,3
	vit.:	100 km/h;	4,9	0,8	3,8
	vit.:	115 km/h;	6,7	0,9	5,3
	vit.:	120 km/h;	7,9	1,1	6,3
	vit.:	130 km/h;	8,3	0,9	6,2
	vit.:	140 km/h;	-	-	-
	vit.:	150 km/h;	24,4	1,3	10,0

Source : D'après IRT - CERNE reprenant TUV, OFPE et TNO

**5°-2. Vitesse et consommation de carburant**

Selon une étude de l'OPPE, portant sur 52 voitures de cylindrées différentes, la consommation de carburant croît en moyenne de la façon suivante :



**Evolution des émissions nationales des véhicules légers en cas de changement des vitesses limites**

	vitesse limite	CO	HC	NOx
route	100	+ 1,3%	0 %	+ 2,8%
	80	- 1,1%	+ 1,1%	- 4,9%
autoroute	sans	+15,2%	0%	+13,7%
	120	- 2,3%	- 0,9%	- 1,1%
	100	- 9,2%	- 0,9%	-10,3%

Source : IRT-CERNE

Il apparaît donc que la réduction de vitesse a une incidence en général favorable sur les émissions de polluants: NOx, CO, HC ainsi que sur la consommation de carburant, sous réserve du phénomène de la diminution des émissions de NOx à grande vitesse pour les petites cylindrées.

Il nous paraît donc que compte tenu de ces données, la limitation de vitesse soit une solution à court terme très efficace pour lutter contre les émissions de polluants par l'automobile.

6°) Les risques liés à l'extension de l'usage du moteur Diesel

6°-1. La situation

Les moteurs Diesel sont des moteurs alternatifs à combustion interne dans lequel l'allumage du mélange s'effectue par simple compression. Le carburant employé est du gazole provenant principalement de la distillation atmosphérique du pétrole brut mais pouvant contenir également des produits dérivés de la distillation sous vide du résidu atmosphérique et des produits dérivés du craquage de fractions plus lourdes.

6°-1-1. L'évolution du parc des voitures particulières à moteur Diesel.

Le nombre des véhicules à moteur Diesel augmente régulièrement en France et en RFA.

**Evolution du parc de véhicules Diesel  
en service depuis 1973 en France**

en millions

année	1973	1979	1982	1985
nombre d'automobiles à moteur Diesel	0,2	0,61	1,07	1,66
% du parc en service	1,4	3,44	5,5	7,98

Source : Chambre syndicale de la construction automobile

**Evolution du parc de véhicules Diesel  
en service depuis 1973 en RFA**

en millions

année	1973	1979	1982	1984
nombre d'automobiles à moteur diesel	0,55	0,99	1,6	2,03
% du parc en service	3,28	4,40	6,71	8,06



## 6°-1-2. Les raisons de cette évolution

Les avantages techniques du moteur Diesel par rapport au moteur à allumage commandé résident essentiellement dans une longévité supérieure et une consommation de carburant légèrement inférieure.

Ses inconvénients résident dans des performances inférieures et un coût d'achat plus élevé.

En France, ce succès est sans doute dû pour une large part au coût du gazole qui, supportant des taxes inférieures, a un prix de vente inférieur à celui de l'essence et du supercarburant.

Mais il faut noter que cet avantage n'existe pratiquement pas en Allemagne où le Diesel pour véhicules particuliers connaît également un succès certain.

En France, les modèles à moteur Diesel sont vendus en moyenne environ 9000 F de plus que les mêmes modèles à moteur à allumage commandé. Nous avons vu que le coût d'un convertisseur catalytique trois voies, avec l'injection multipoint et la recirculation des gaz d'échappement pouvait atteindre environ 4500 F- 6000 F.

La différence entre le coût d'un véhicule à moteur Diesel et le surcoût d'un véhicule à allumage commandé équipé d'un convertisseur catalytique trois voies de l'ordre de 3000 F - 4500 F peut inciter à un report d'achat de véhicules sur les modèles à moteur Diesel la différence pouvant facilement s'amortir en France avec le gain réalisé sur l'achat du carburant.

Il faut ajouter à ces véhicules particuliers 1,36 million de véhicules utilitaires à moteur Diesel (camions), ce qui donne un total en France de 2,92 millions de véhicules à moteur Diesel.

Il nous semble que la croissance du nombre de véhicules Diesel n'est pas souhaitable compte tenu des problèmes liés à l'utilisation de ces moteurs.

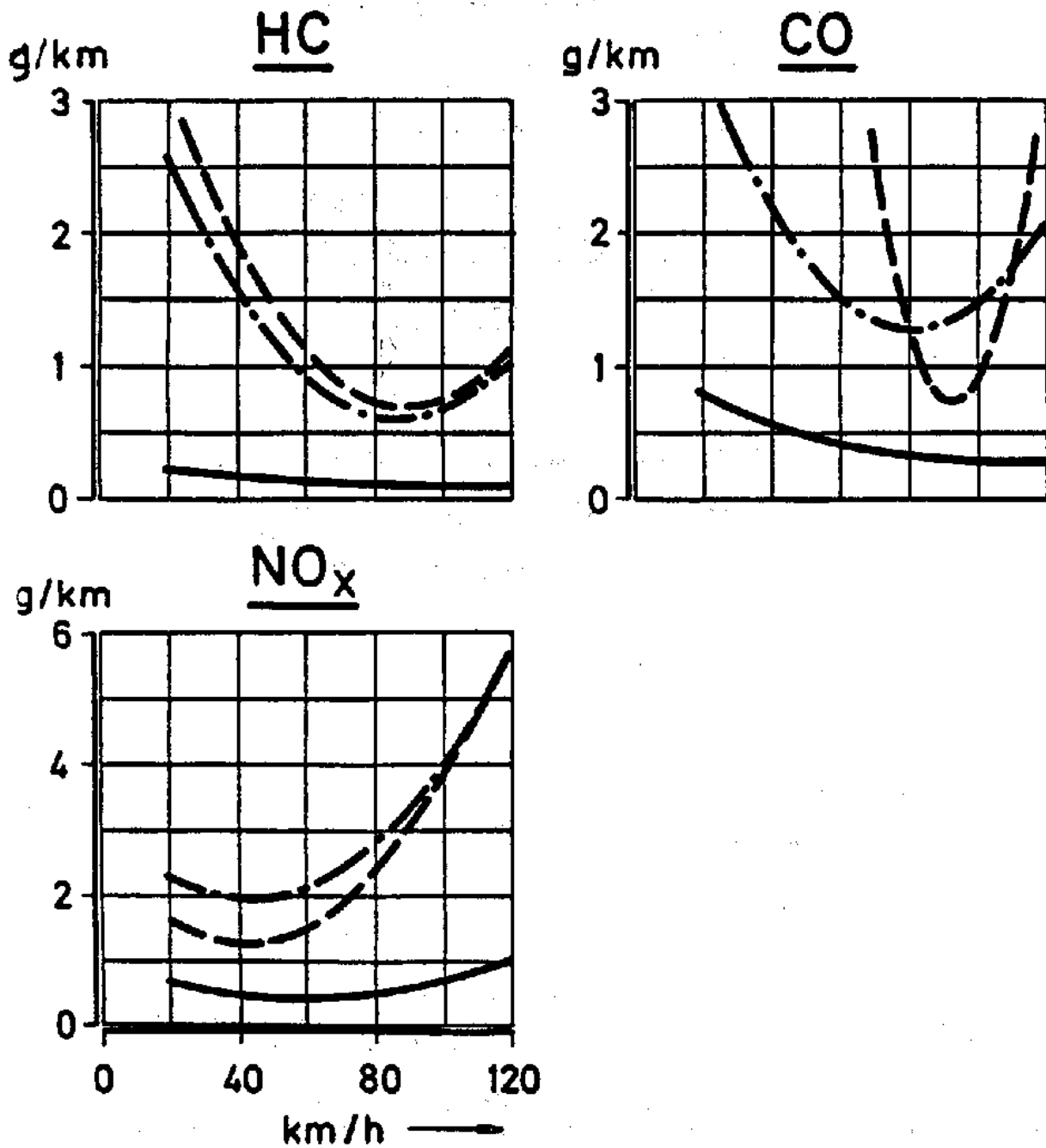
## 6°-2. Les problèmes liés à l'utilisation des moteurs Diesel

### 6°-2--1. Les émissions de polluants réglementés

Ainsi que nous l'avons vu, les moteurs Diesel émettent par rapport aux moteurs à allumage commandé :

- de l'oxyde de carbone en quantité presque négligeable ;
- des hydrocarbures imbrûlés en quantité plus faible ;
- des oxydes d'azote en quantité comparable.

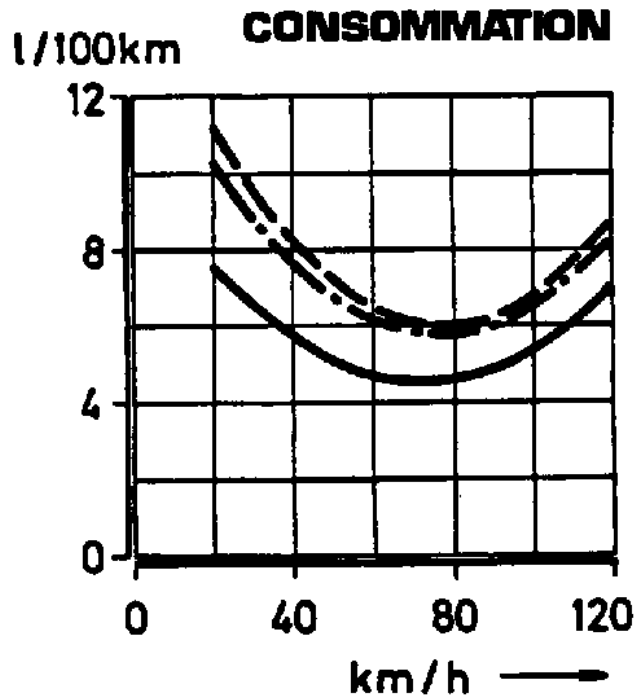
Evolution des émissions de polluants en fonction de la vitesse des véhicules à moteur Diesel (à préchambre) par rapport aux moteurs à allumage commandé



Source : IRT-CERNE

Légende : — · — · — : moteur à essence à injection.  
- - - - - : moteur à essence à carburateur  
————— : moteur Diesel à préchambre  
(poids 1250 kg - Cylindrée : 2 litres)

**Evolution de la consommation de carburant en fonction de la vitesse des moteurs Diesel (à préchambre) par rapport aux moteurs à allumage commandé.**



Source: IRT-CERNE  
Légende : voir tableau page précédente

Les véhicules particuliers à moteur Diesel sont, selon l'IRT - CERNE, responsables de 8 % des émissions de NOx et les véhicules utilitaires à moteur Diesel de 31 %, soit 39 % des émissions totales de NOx pour les deux catégories.

Les émissions de polluants (CO, HC et NOx) des véhicules à moteur Diesel dont le poids est inférieur à 3,5 tonnes sont réglementées par la directive n° 83-351 du 16 juin 1983.

Ces véhicules sont également concernés par le projet de directive non encore adopté.

Par contre ni cette directive ni le projet de directive ne s'appliquent actuellement aux véhicules à moteur Diesel dont le poids est supérieur à 3,5 tonnes, c'est-à-dire, aux camions.

La Commission européenne doit présenter avant la fin de l'année 1985 des propositions appropriées concernant les émissions des véhicules de plus de 3,5 tonnes. Des propositions seront également faites concernant un problème préoccupant : les émissions de particules de ces moteurs Diesel.

#### 6°-2-2. Les émissions de particules

Les moteurs à combustion interne émettent tous des particules mais les émissions des moteurs Diesel sont 30 à 50 fois supérieures à celles des moteurs à allumage commandé.

Ces particules sont constituées par du carbone élémentaire et des substances organiques.

Vues au microscope électronique immédiatement après leur émission, elles se présentent sous la forme d'amas de petites unités arrondies de 0,2 à 0,3 micron de diamètre.

Le noyau est constitué de carbone. En surface sont adsorbés, en quantité variable des hydrocarbures de différents poids moléculaires : aliphatiques et aromatiques polycycliques dont plus de quarante composés ont déjà été identifiés en laboratoire.

Dans un rapport remis en juillet 1983 au Ministre de l'Environnement, le professeur Roussel avait souligné les risques présentés par ces particules pour la santé dans la mesure où elles ont des dimensions qui les rendent respirables.

Leur pénétration et rétention dans le poumon profond ont déjà été démontrées chez l'animal après inhalation de fumées de moteurs Diesel.

Des études expérimentales chez les petits rongeurs ont montré que l'inhalation de ces polluants entraînait des modifications morphologiques et biochimiques du poumon avec altération du tissu conjonctif pulmonaire.

Des études de cancérogénèse à long terme sont actuellement en cours.

Bien que les études épidémiologiques chez l'homme sont encore peu nombreuses, des études in-vitro effectuées ces dernières années ont apporté des informations nouvelles sur la cytotoxicité et la génotoxicité des particules émises par les moteurs Diesel.

La cytotoxicité a été étudiée sur des cellules de mammifères. On y constate une inhibition de croissance sous l'action de ces particules.

Plusieurs études de génotoxicité ont été réalisées à la fois sur des bactéries (test de Ames), sur des cellules végétales, sur des insectes et sur des cellules de mammifères en culture : les fractions particulières des émissions Diesel sont mutagènes et on a également constaté des aberrations chromosomiques avec différents types cellulaires.

S'il n'y a pas d'évidence épidémiologique suffisante pour incriminer les particules Diesel dans la genèse de maladies respiratoires ou cancéreuses chez l'homme, les résultats des tests in vitro à court terme font penser que la fraction particulaire de ces émissions est à la fois mutagène et cancérogène.

Compte tenu de ces présomptions, les Etats-Unis ont édicté une réglementation sur l'émission de ces particules, alors qu'il n'en existe pas encore à l'intérieur de la CEE.

Les émissions ont été fixées à 0,60 g par mile en 1982. En 1987, elles devront avoir diminué à 0,20 g par mile, soit 0,12 g par kilomètre.

Enfin, les moteurs Diesel émettent d'autres polluants : des fumées mesurables et réglementées, des odeurs non mesurées sur lesquelles les recherches se poursuivent et des composants irritants pour les muqueuses.

### 6°-3. Les améliorations du moteur Diesel.

Les améliorations de détail du moteur Diesel peuvent porter comme pour le moteur à essence sur de nombreux paramètres, l'implantation d'un allumage de soutien étant notamment envisagée dans le futur. Actuellement on améliore surtout l'injection quant à la forme des jets et à la commande électronique des délais et des débits. Les ordres de grandeur des réductions à espérer à la suite de ces modifications sont relativement modestes, de l'ordre de 20 %, si on ne veut pas perdre les avantages de consommation du moteur Diesel.

La recirculation classique des gaz d'échappement réduit l'émission de NOx par abaissement des températures et de la teneur en oxygène dans les chambres de combustion. La RGE de première génération avec recyclage constant ne permet pas d'atteindre des taux de réduction élevés car elle entraîne l'accroissement des émissions de particules, des progrès pouvant cependant être accomplis par pilotage du taux de RGE selon les conditions de fonctionnement du moteur.

Pour séparer le problème des particules de celui des NOx, et pour atteindre les normes américaines relatives aux particules, les constructeurs et notamment Mercedes - Benz en RFA et les équipementiers étudient activement des pièges à régénération où, après avoir été bloquées, les particules sont brûlées. Les principes des pièges des différents types sont maintenant bien connus mais on éprouve encore des difficultés pour la régénération.

Les pots catalytiques actuels réducteurs de NOx ne fonctionnent pas avec le moteur Diesel car les températures du gaz d'échappement sont trop faibles. Inférieures de 100 à 150° à celles des moteurs à allumage commandé, ces températures peuvent descendre à 100° au ralenti. De plus les gaz émis par les Diesel comportent un excès d'oxygène qui empêche la réduction. Il faut donc prévoir encore des recherches et des mises au point technologiques pour aboutir avec les Diesel à des réductions d'émission comparables à celles attendues des moteurs à essence, ceci surtout si on suit un jour les Etats-Unis où les émissions de particules seront limitées en 1987 à la valeur très faible de 0,2g par mile.

Les voies de recherche doivent porter notamment sur la régulation électronique de l'injection et de la RGE, l'assistance d'un allumage électronique. Des travaux importants sont poursuivis dans divers pays sur le fonctionnement de Diesel au méthanol, (par exemple pour les autobus américains) celui-ci permettant d'éviter l'émission de particules. L'activité de recherche dans ces domaines s'impose d'autant plus que l'économie de consommation du Diesel à injection directe peut en amener l'extension même pour les automobiles de gamme moyenne ou basse, ceci au détriment du moteur à préchambre ; or les Diesel à injection directe émettent jusqu'à 100% de plus de NOx que les Diesel à injection indirecte (dits à préchambre).

## CONCLUSION

Etant donné le rôle que la majorité des experts attribuent aux oxydes d'azote et aux hydrocarbures dans la formation de la pollution à longue distance il était urgent et nécessaire de prendre des mesures pour limiter les émissions de polluants par les véhicules automobiles.

Il faut cependant ne pas oublier que certains pays, comme les Etats-Unis et le Japon n'avaient pas attendu les alertes sur l'environnement pour lutter efficacement contre la pollution automobile, la protection de la santé humaine leur avait semblé une raison suffisante pour réglementer sévèrement la teneur en polluants des gaz d'échappement.

En Europe, compte tenu des contraintes géographiques et industrielles les moyens de cette lutte devaient être à la fois européens et diversifiés.

Européens tout d'abord car la prise de décisions unilatérales en ce domaine par un des Etats conduirait à établir des entraves à la circulation des biens mais aussi des personnes totalement incompatibles avec le Traité de Rome.

Le projet de Directive est un bon compromis car il devrait permettre de réduire de façon significative la pollution sans déstabiliser l'industrie automobile dans l'un des Etats. Une certaine progressivité dans l'application des normes était nécessaire, mais il fallait aussi tenir compte de l'existence en Europe de nombreux modèles de voiture de faible cylindrée qui polluent beaucoup moins que les grosses et pour lequel l'installation d'un catalyseur aurait représenté une part trop importante du prix total.

L'adoption probable de cette Directive ne devrait cependant pas conduire à figer la situation et à empêcher toute diversification des moyens techniques. Les recherches sur les techniques alternatives au convertisseur catalytique trois voies doivent être poursuivies et encouragées car rien ne dit qu'on ne trouvera pas dans quelque temps une autre solution moins compliquée et surtout moins coûteuse.

L'application de la Directive étant progressive, il faudra attendre encore quelques années pour enregistrer des résultats appréciables. Dans ces conditions, il conviendrait de compléter les dispositions en cours d'adoption par des mesures qui seraient susceptibles d'avoir des effets quasi-immédiats.

La limitation de vitesse constituerait à cet égard un des moyens les plus simples et les moins coûteux pour réduire de façon sensible les émissions de polluants. Si la RFA estime que ses forêts sont véritablement menacées elle doit accepter de prendre la mesure de bon sens qui consiste à limiter la vitesse sur les autoroutes, nul ne pouvant nier en effet que les émissions de polluants par les automobiles sont fonction de la vitesse à laquelle elles circulent. Les limitations de vitesse applicables en France paraissent être à un niveau convenable tenant compte des différents impératifs en cause ; il ne paraît pas utile de les modifier, mais il conviendrait de les faire respecter.

La récente décision du gouvernement allemand du 19 novembre 1985 de ne pas limiter la vitesse sur les autoroutes va à l'encontre de la volonté souvent exprimée par ce pays, de lutter de manière efficace contre la pollution d'origine automobile.

Un deuxième moyen pour limiter rapidement les effets de la pollution consisterait à rendre obligatoire un certain nombre de dispositifs techniques destinés à limiter les évaporations d'hydrocarbures. Ces dispositifs existent, ils sont d'ores et déjà mis en place notamment aux Etats-Unis ; compte tenu de l'importance donnée aux hydrocarbures dans la formation des polluants secondaires, de telles mesures auraient certainement une efficacité certaine pour un coût minime.

Dans le même sens il conviendrait de ne pas encourager le développement de l'usage du moteur Diesel pour les véhicules particuliers tant que l'on n'aura pas mis au point de dispositif efficace pour épurer les gaz d'échappement provenant de ces moteurs. Il ne servirait à rien de réglementer les véhicules à essence si toute une partie des conducteurs s'orientait vers les véhicules à moteur Diesel, tendance qui semble se manifester très nettement à l'heure actuelle.

Enfin, une réflexion sur le problème des contrôles périodiques des véhicules doit être engagée très rapidement. Il ne servirait à rien en effet d'exiger la mise en place de dispositif de dépollution si l'on n'est pas en mesure d'en contrôler l'efficacité.

La France a accepté d'entrer dans la voie de la lutte contre les pollutions automobiles. Cette décision aura à coup sûr des conséquences sur toute une partie de son industrie. Il convient donc de prévoir dès maintenant les mesures d'accompagnement qui permettront de passer ce cap difficile puis de développer une industrie nationale des équipements de dépollution et notamment dans les pièges à particules pour moteur Diesel, domaine dans lequel nous avons pour le moment un retard certain par rapport à quelques uns de nos concurrents.



### III LES CONSEQUENCES DE L'INTRODUCTION DE L'ESSENCE SANS PLOMB POUR LES ACTIVITES PETROLIERES

L'apparition du catalyseur tri-fonctionnel et éventuellement du catalyseur d'oxydation dans l'équipement des automobiles va exiger la distribution de carburants sans plomb ainsi que cela a été précisé dans la précédente partie du présent rapport. Si à l'origine la recherche d'une diminution de la teneur en plomb des carburants avait une autre motivation (effets directs sur la santé humaine) (1), maintenant, en Europe, c'est dans la perspective des exigences technologiques que cette évolution doit être envisagée.

Les enseignements que l'on peut tirer des expériences californienne, japonaise et américaine (2) dans son ensemble ne sont pas, entièrement transposables en Europe et encore moins en France.

On sait en effet que les automobiles américaines et les moteurs en particulier répondent à des conceptions assez différentes des nôtres qu'il s'agisse des taux de compression (beaucoup plus faibles) des exigences de conduite, (vitesse limitée partout à 65 miles/heure maximum puis maintenant à 50, moindre exigence de nervosité), du poids du véhicule, de l'absence de recherche d'économie d'énergie, du type de carburant (à l'origine l'ordinaire dominait largement mais à des taux d'octane (recherche) d'environ 92).

On retrouve au Japon une partie de ces traits spécifiques ; en outre on sait la difficulté extrême pour les constructeurs étrangers de pénétrer sur ce marché qui de plus, compte tenu de l'insularité du pays, est ce que les spécialistes appellent un "marché captif", tout comme le Brésil, où se développe le recours à l'éthanol, et dans une certaine mesure la Californie qui fut la première aux Etats-Unis à imposer l'essence sans plomb et des normes d'émission sévères.

Ici, contrairement à ce qui se passe pour l'automobile elle-même, on dispose d'un texte adopté : la directive du 20 mars 1985 (85/210/CEE).

On présentera rapidement ce texte et son économie, le compromis qu'il réalise, sans entrer dans le détail des dispositions qui l'ont précédé.

En second lieu, on comparera la situation des Etats membres face aux implications de la directive.

En troisième lieu, seront précisés les différents moyens de maintenir une qualité de carburant satisfaisante.

En quatrième lieu on abordera les effets des substituts au plomb sur l'environnement.

En cinquième lieu, on analysera les modifications de raffinage qu'entraînera la nouvelle situation, ainsi que leurs coûts.

En sixième lieu, les conséquences pour la distribution seront présentées ainsi que les choix récurrents qu'elles peuvent entraîner pour la structure de production elle-même.

Enfin, une condition préalable au succès de l'introduction des carburants sans plomb fera l'objet d'une analyse : l'incitation par le prix pour le consommateur.

---

(1) Au Japon et aux Etats-Unis, c'est principalement sous cet angle que l'élimination du plomb a été envisagée.

(2) Qui nous ont précédé de plus de 10 ans dans cette voie.

## 1°) La directive du 20 mars 1985

La perspective d'introduction sur le marché d'un carburant sans plomb alors que quelques années auparavant la diminution progressive de la teneur en plomb était seule véritablement prise en compte, a modifié les données du problème et explique en partie le compromis que constitue la Directive du 20 mars 1985.

### 1°-1- Les points de vue en présence

Les intérêts économiques que les décideurs devaient prendre en compte étaient tout à fait contradictoires, étant donné la baisse d'indice d'octane qu'implique nécessairement la suppression du recours au plomb.

L'industrie pétrolière, qui ne souhaitait évidemment pas modifier les conditions de raffinage en les sévérant, a proposé, lorsqu'elle a été saisie en 1983, que l'on introduise un carburant (sans plomb) unique ayant un indice d'octane recherche de 92. A l'appui de cela, elle invoquait les précédents des autres pays ayant procédé à cette opération Etats-Unis, Japon.

Il convient de rappeler que la suppression du plomb dans les carburants a des incidences économiques parfois contradictoires, selon les différents acteurs concernés :

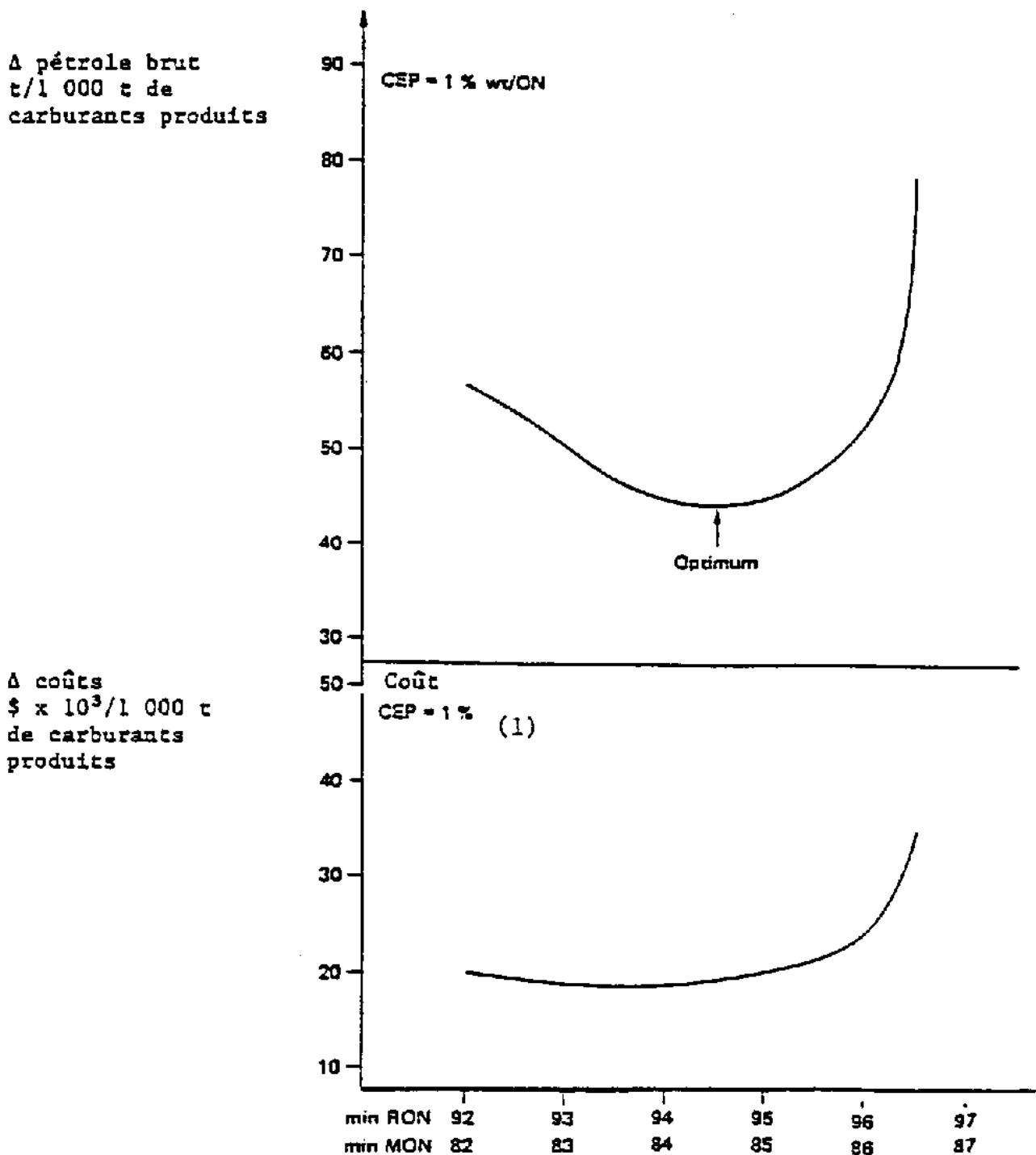
- outre la sophistication des méthodes de raffinage, l'augmentation de l'indice d'octane du carburant clair implique une surconsommation de pétrole brut pour l'industrie pétrolière et donc pour la collectivité nationale ;
- par ailleurs, la diminution de l'indice d'octane entraîne une surconsommation par kilomètre parcouru.

A cet effet, un groupe de travail a été chargé, par la Commission du marché commun à Bruxelles, de trouver le meilleur compromis en matière d'indice d'octane des carburants. Les résultats de cette recherche sont contenus dans le rapport ERGA (Evolution of Regulations - Global Approach) dont le principal enseignement est la détermination de l'indice d'octane optimum du pool de carburants :

- l'optimum énergétique, correspondant à l'indice d'octane qui minimise la consommation totale de pétrole brut se situe à 94,5. Il tient compte à la fois de la consommation énergétique des raffineries et des véhicules. La surconsommation minimale de pétrole brut pour produire 1000 tonnes de carburants est de 44 tonnes. Cette surconsommation a été définie par rapport à la production de carburants contenant 0,40 g/l de plomb, prise comme situation de référence ;

- l'optimum économique correspondant à l'indice qui minimise le surcoût total (surcoût de raffinage, surcoût pour le consommateur), se situe à 93,5. Ce surcoût par rapport à la situation de référence précédemment décrite, s'établit à 19000 \$/1000 tonnes de carburants produits. Néanmoins, comme le montre le graphique reliant le surcoût à l'indice d'octane, l'optimum économique n'est pas aussi marqué que l'optimum énergétique. En effet, les indices compris entre 92 et 95 conduisent à un surcoût sensiblement égal à 20 000\$.

### Optimum : utilisation du pétrole brut - Coût de l'essence sans plomb



Source : Rapport ERGA II

(1) Le CEP (car efficiency parameter), défini comme la surconsommation de carburant en pourcentage induite par la baisse d'un point de l'indice d'octane, a été une valeur centrale pour le calcul de cet optimum. Le CEP correspondant aux indices d'octane étudiés est voisin de 1 %.

On observe donc une augmentation des coûts après 94 et une impossibilité technique vers 97 (sans additif de substitution).

Une partie des pétroliers au niveau européen, compte-tenu des données nouvelles ainsi recueillies, a préconisé la solution monocarburant sans plomb à 94 d'indice d'octane recherche. Si les positions de la profession dans chacun des pays ont parfois évolué sur le problème du monocarburant, il reste que les propositions sur le niveau d'indice d'octane du super étaient le plus souvent, y compris en France, en faveur de 94.

Les constructeurs automobiles, de leur côté étaient tout à fait hostiles à la solution monocarburant à 94 d'indice (recherche) car la plupart des automobiles européennes, et françaises en particulier, ont des taux de compression élevés, qui exigent un haut indice d'octane ; une baisse de 3,5 points d'indice par rapport à la situation actuelle risquait d'exiger une modification de la conception des moteurs ; en outre, il y a lieu de noter, au regard des économies d'énergie, qu'elle rend nettement plus difficile l'objectif que constituait la voiture consommant 3 litres aux 100 km.

#### 1°-2- Le dispositif de la Directive (1)

- La disposition essentielle est l'obligation d'assurer à partir du 1er octobre 1989 "la disponibilité et la répartition équilibrée" sur le territoire des états membres de super sans plomb (1)

Ce super doit répondre aux spécifications suivantes pour ce qui concerne les indices d'octane (en minimum)

95 en indice recherche  
85 en indice moteur

Il y a lieu de noter que cette fixation des deux indices d'octane est une nouveauté pour la France où seul l'indice recherche faisait l'objet d'une norme imposée ; il est plus difficile d'atteindre l'indice d'octane moteur de 85 que l'indice de recherche de 95 (2). Sur ce point on a donc renoncé à l'obligation de diminuer la teneur en plomb pour les carburants plombés, obligation qui avait été précédemment sérieusement envisagée.

- Pour l'essence ordinaire sans plomb aucune obligation de distribution n'est prévue mais la possibilité de la distribuer est souhaitée ; aucune spécification d'indice n'est définie.

---

(1) Date d'entrée en vigueur : 1er janvier 86 les DOM sont exclus du champ d'application.

(2) Ces notions techniques sont explicitées plus loin (3°-1-1. Apport en octane).

- Diverses dispositions prévoient des possibilités de dérogations temporaires en cas de circonstances exceptionnelles dues à des changements soudains de l'approvisionnement pétrolier.

- La diminution, la suppression du plomb dans l'essence ne doit pas avoir pour effet d'entraîner une augmentation significative des polluants. Cela vise vraisemblablement les additifs de substitution au plomb.

- Les art. 13 et 14 prévoient respectivement que des mesures sont prises pour que l'essence plombée ne soit pas utilisée dans les véhicules conçus pour fonctionner au carburant sans plomb et que l'on promeut l'utilisation la plus large du carburant sans plomb. On verra que ces dispositions ont leur importance si l'on veut asseoir une fiscalité et une réglementation efficaces pour éviter le mésusage des autos munies de catalyseurs.

- Enfin, à partir du 1er octobre 1989, la teneur en benzène de tous les carburants visés par la directive (avec ou sans plomb, gazole exclu) ne devra pas excéder 5 % en volume.

La directive, comme c'est l'usage en pareil cas, prévoit des procédures d'adaptation au progrès technique.

### 1°-3- Les implications immédiates du compromis pour la France

Le renoncement à l'obligation de diminuer de 0,4 g/l à 0,15 g/l la teneur en plomb de l'essence plombée est une décision tout à fait positive. Cette obligation n'aurait pu se concevoir qu'en l'absence de mise sur le marché d'essence sans plomb ultérieurement.

Dans la situation qui sera effectivement la nôtre, elle aurait exigé des investissements dans le secteur pétrolier qui n'auraient été utilisables que pendant une période transitoire. Il est donc à exclure que la France introduise un carburant à teneur réduite en plomb.

L'indice d'octane pour le super ne saurait être plus élevé que 95 en raison des implications économiques signalées plus haut.

Compte tenu des spécifications posées par la directive, il convient maintenant d'examiner ses conséquences pour les états membres en général et la France en particulier.

## 2°) Situation comparée des différents états membres face aux implications de la directive

La suppression du plomb dans les carburants a pour conséquence une diminution de l'indice d'octane, qui est fonction de la quantité de plomb initialement présente, ainsi que de la composition des carburants.

Il doit être rappelé que certains composés organo-métalliques présentent le grand intérêt d'augmenter l'indice d'octane des carburants de plusieurs points à très faible concentration et pour un coût très bas. Malgré le nombre très important de corps étudiés, seuls se sont imposés les alkyles de plomb : plomb tétraéthyle depuis 1921 et plomb tétraméthyle depuis 1960. Ainsi, les carburants français actuels contiennent sous cette forme 0,4 g de plomb par litre de carburant, ce qui leur apporte 6 points d'octane recherche, et les carburants allemands 0,15 g/l soit un gain de 3 points d'octane.

Pour remonter l'indice d'octane il sera nécessaire de faire appel à deux catégories de mesures : la production de carburants "clairs" (c'est-à-dire sans additif plombé ou non) aux indices d'octane naturellement plus élevés qu'auparavant et le recours à des additifs, en l'espèce des composés oxygénés, d'origine industrielle ou bio-agricole. Des carburants clairs à indice d'octane plus élevé peuvent s'obtenir par des traitements complémentaires ou plus sévères des bases. Cette adaptation du raffinage est particulièrement contraignante dans le cas des supercarburants ; elle est également plus difficile à réaliser pour l'indice moteur que pour l'indice recherche.

### 2°-1- Caractéristiques des carburants des différents pays

Les caractéristiques présentées sur le tableau ci-après indiquent que l'Allemagne est dans une situation très favorable par rapport à celle des autres pays :

- ses carburants ne contiennent que 0,15 g/l de plomb contre 0,4 g/l ailleurs ; or le passage de 0,15 g/l à zéro g/l ne fait perdre que de l'ordre de 3 points d'octane contre 6 points environ de 0,40 à 0 g/l(1) ;
- la part de supercarburant dans la consommation totale de carburants est la plus faible en Allemagne : 56 % alors qu'elle est supérieure à 76 % dans les autres pays (86 % en France) ;
- l'indice d'octane moyen des carburants allemands actuels est supérieur à celui des autres pays.

Il en résulte que le supercarburant allemand clair présente déjà le niveau d'octane requis par la CEE, alors qu'il manque un peu plus de 3 points en indice recherche et un peu moins de 3 points en indice moteur dans le cas du supercarburant français.

---

(1) La compensation à effectuer est en réalité inférieure, pour le supercarburant, du fait que l'indice d'octane du supercarburant sans plomb sera moins élevé que celui du supercarburant actuel.

Quant à l'essence ordinaire, dont la spécification n'est pas imposée par la CEE, si l'indice d'octane "clair" est partout inférieur aux valeurs qui seront probablement adoptées, c'est l'Allemagne qui paraît la mieux placée.

La France, la Grande Bretagne et l'Italie sont, en définitive, dans une situation comparable vis-à-vis de l'Allemagne, les Pays-Bas étant dans une situation intermédiaire.

CARACTERISTIQUE DES CARBURANTS

	FRANCE	ALLEMAGNE	GRANDE BRETAGNE	ITALIE	PAYS BAS
TENEUR EN PLOMB (g/l)	0,4	0,15	0,4	0,4	0,4 (passera prochainement à 0,15)
INDICE D'OCTANE MOYEN					
IOR	97,7	99,3	97,5	97,4	98,4
Supercarburant					
IOR	88,1	88,3	88,3	88,1	89,1
Essence ordinaire					
IOR	89(1)	93,6	91,8	86-85*	92,9
IOR	82,7(2)	83,5	84,4	83-82*	84,3

\* Intervalle de variation

(1) chiffre qui correspond à la réalité et qui est le bas de la "fourchette" (89/92) imposée par la norme.

(2) chiffre qui correspond à une moyenne sur des échantillons relevés en 1984 ; la réalité peut être légèrement inférieure.

CONSOMMATION DE CARBURANTS ET STRUCTURE DE LA CONSOMMATION

Mt/an	FRANCE	ALLEMAGNE	GRANDE BRETAGNE	ITALIE	PAYS BAS
super	15,82	13,40	17,55	11,10	2,73
Mt/an Ordinaire	<u>2,54</u>	<u>10,30</u>	<u>2,68</u>	<u>0,61</u>	<u>0,84</u>
Total	18,36	23,70	20,23	11,71	3,57
Super %	86,2	56,5	86,8	94,8	76,5
Ordinaire	13,8	43,5	13,2	5,2	23,5

1 Mt = 1 million de tonnes

2°-2 Situation comparée du raffinage dans les différents pays

La comparaison des capacités relatives aux unités améliorant la qualité ou la production d'essence ci-après met en évidence :

- l'importance du réformage haute sévérité en Allemagne et en Italie par rapport à la situation française notamment ;
- une situation comparable de l'ensemble du craquage catalytique dans les différents pays, mais avec une participation de l'hydrocraquage plus élevée en Allemagne et en Grande Bretagne qu'en France .
- une utilisation faible partout de l'alkylation et de l'isomération, toutefois plus avancée en Grande Bretagne et en Italie.

Pour pouvoir mieux comparer les différents pays, il a été utilisé un ratio dont le numérateur est l'ensemble des capacités de traitement indiquées ci-dessus, pondérées par leur rendement en essences, et le dénominateur la production totale d'essences.

Il faut souligner que ce ratio n'a de valeur qu'illustrative, du fait des approximations utilisées. Il n'est pas tenu compte, notamment, de la "qualité" des diverses unités en ce qui concerne le niveau d'indice d'octane qu'elles permettent d'obtenir.

Par ailleurs, ce ratio pourra varier en fonction de l'évolution du commerce des carburants, (dont dépend la valeur de la production utilisée dans le calcul), et notamment de l'arrivée sur le marché européen de carburants en provenance du Moyen-Orient.



Enfin, certaines des unités considérées (craquage, hydrocraquage) sont destinées surtout à réaliser la conversion des fractions lourdes, l'essence n'étant qu'un des produits désiré.

Dans les conditions de ce calcul, la France apparaît comme le pays le moins bien placé (ratio le plus faible).

CAPACITE DE TRAITEMENT DES RAFFINERIES (Mt/an) (1)

	FRANCE	RFA	GRANDE BRETAGNE	ITALIE	PAYS BAS
Nombre de raffineries	17	25	16	23	7
Distillation atmosphérique	119	108	100	154	75
<u>Réformage catalytique</u> dont réformage haute sévérité (%)	13,5 10	16,8 35	15, 2 6	14,8 27	7,5 16
Réformage catalytique (%)(2)	(11)	(16)	(15)	(18)	(10)
<u>Craquage catalytique</u>	15,6	9,4	18,6	14,6	6,4
<u>Hydrocraquage</u>	0,7	5,5	2,4	-	-
<u>Alkylation</u>	0,35	0,34	1,6	1,2	0,16
<u>Isomérisation</u>	0,16	0,47	1,34	1,56	-
Viscoréduction	7,8	19,3	11,9	18,0	10,2
Cokéfaction	-	4,8	3,5	1,1	-
Ratio	0,95	1,28	1,13	1,51	1,41

N.B. : Les unités soulignées sont celles qui améliorent la production ou la qualité des essences.

(1) Capacités nominales exprimées en millions de tonnes de charge pouvant être traitées par an.

(2) Rapport entre la capacité de réformage catalytique et celle de distillation atmosphérique.

3°) Le recours aux nouveaux additifs, un moyens de maintenir un indice d'octane satisfaisant

Il y a peu d'espoir de substituer au plomb tétraéthyle un composé de même type, étant donné l'échec de très nombreux produits étudiés depuis longtemps, notamment un composé du manganèse apparu en 1958 aux Etats-Unis rapidement abandonné, puis repris en 1974 lors de l'apparition sur ce marché de l'essence sans plomb, puis interdit en 1977.

C'est pourquoi l'attention s'est portée sur les composés oxygénés (alcools, éthers), bien qu'ils soient nettement moins efficaces que le plomb, puisqu'il faut en utiliser de l'ordre de 10 % pour un gain de 2,2 points au mieux en indice recherche et de 1,8 point maximum en indice moteur.

3°-1 les composés oxygénés

Ces composés agissent parce qu'ils ont des indices d'octane moteur et surtout recherche élevés, supérieurs à ceux des bases que peut fournir le raffinage. Mais ils présentent comme inconvénient de différer des carburants habituels par certaines de leurs caractéristiques : du fait de leur pouvoir calorifique plus faible, la consommation des carburants est augmentée ; leur volatilité plus élevée oblige à éliminer partiellement le butane utilisé dans la formulation des carburants. La raffinerie devra d'une part compenser la perte d'octane moteur et recherche qui en résulte et d'autre part en absorber les excédents.

Les composés les plus utilisés sont des alcools : méthanol, éthanol et TBA, ainsi qu'un éther, le MTBE.

Celui qui présente le meilleur compromis entre les avantages et les inconvénients est le MTBE, puis viennent le TBA et l'éthanol, et enfin le méthanol.

Composés oxygénés utilisés comme promoteurs d'octane  
(IOR supérieur à 100)  
(IOM supérieur à 93)

PRODUITS PURS

Famille

Composés

alcools

méthanol (alcool méthylique)  
éthanol (alcool éthylique)  
TBA (alcool butylique tertiaire)  
butanol (alcool butylique)  
isopropanol (alcool isopropylique)

éthers

MTBE (méthyl tertiobutyl éther)  
TAME (méthyl tertioamyl éther)  
ETBE (éthyl tertiobutyl éther)

MELANGES DE PRODUITS

Mélanges d'alcools (méthanol, éthanol, alcools supérieurs)

Mélanges d'éthers (MTBE, TAME, éther supérieurs)

Mélanges de divers composés : exemple ABE (acétone, butanol, éthanol)

### 3°-1-1 Apport en octane

Les indices d'octane recherche et moteur des composés oxygénés sont supérieurs à ceux des hydrocarbures constituant les carburants. Leur apport en octane est toutefois différent selon que l'on considère l'indice d'octane recherche ou moteur, le gain étant inférieur dans le cas de l'indice moteur.

Rappelons que l'indice moteur permet d'apprécier le comportement des carburants vis-à-vis du cliquetis sur route et en accélération à grande vitesse, alors que l'indice recherche correspond davantage aux conditions de circulation urbaine.

La spécification CEE relative à l'indice moteur des carburants sans plomb sera difficile à satisfaire. Il faut tenir compte de cet effet pour apprécier l'intérêt des composés oxygénés pour le raffineur.

Différents facteurs influent sur la valeur de l'apport en octane des composés oxygénés : la nature du composé, sa concentration et la composition de la base à laquelle il est incorporé.

Aux concentrations maximales autorisées en France, le gain d'octane net (1) pourra varier, selon le composé utilisé, de 1 à 2,2 pour l'indice recherche et de 0,3 à 1,8 pour l'indice moteur (valeurs obtenues par calcul).

### 3°-1-2 Législation relative aux composés oxygénés

Les composés oxygénés les plus employés dans le monde sont : le TBA, le MTBE, l'éthanol et le méthanol. Les carburants français actuels n'en contiennent pratiquement pas (ils utilisent la quantité maximale de plomb autorisé, soit 0,4 g/l) ; ce n'est pas le cas lorsque les carburants ont une teneur faible ou nulle en plomb (Allemagne, Etats-Unis).

L'addition de ces composés aux carburants est règlementée par divers pays tels que les Etats-Unis (uniquement dans les carburants sans plomb), la France. Les concentrations maximales autorisées vont de 5 à 10 % selon le composé ; en pratique, les teneurs utilisées sont inférieures à ces limites, sauf dans le cas de l'éthanol dont la consommation est encouragée aux Etats-Unis et au Brésil. (2)

Rappelons qu'en France, l'utilisation des composés oxygénés n'est autorisée que dans les supercarburants et pour des produits agréés. Les produits ayant reçus l'agrément sont des mélanges méthanol-cosolvant (5 % au plus), éthanol - cosolvant (7 %), le TBA (7 %), et le MTBE (10 %).

---

(1) Le gain d'octane net est obtenu par différence entre l'apport d'octane par le composé oxygéné et la perte d'octane liée à l'élimination de butane (perte qui n'existe que pour l'indice moteur).

(2) Au Brésil, est développée à une très large échelle l'utilisation d'éthanol comme carburant de substitution (à 95 %) à côté de l'usage évoqué ici comme additif de substitution (à 22 %).

Cet agrément a été accordé à l'issue d'essais effectués tant en laboratoire que sur une flotte d'un millier de véhicules. Les essais ont montré que les produits cités ci-dessus pouvaient être utilisés sans inconvénient par les voitures existantes ; au-delà des concentrations indiquées, il faudrait adapter les voitures.

**ANNEXE**

**LISTE DE COMPOSÉS OXYGÉNÉS ET DE MÉLANGES DE CES COMPOSÉS  
AUTORISÉS POUR L'ADJONCTION DANS LES SUPERCARBURANTS**

*1° Mélanges à base de méthanol*

NATURE DU COSOLVANT	PROPORTIONS méthanol/cosolvant en volume	POURCENTAGE maximum autorisé dans le supercarburant en volume
Alcool tertiobutylique .....	60 % - 40 % (trois cinquièmes- deux cinquièmes).	5
Mélange acétonobutylique (butanol 65 % ± 5 %, acétone 35 % ± 5 %, éthanol 0 + 5 % (pourcen- tages en volume).	60 % - 40 % (trois cinquièmes - deux cinquièmes).	5

*2° Mélanges à base d'éthanol absolu.*

NATURE DU COSOLVANT	PROPORTIONS méthanol/cosolvant en volume	POURCENTAGE maximum autorisé dans le supercarburant en volume
Alcool tertiobutylique .....	70 % - 30 % (soixante-dix pour cent- trente pour cent).	7
Mélange acétonobutylique (butanol 65 % ± 5 %, acétone 30 % ± 5 %, éthanol 0 + 5 % (pourcen- tages en volume).	70 % - 30 % (soixante-dix pour cent - trente pour cent).	7

*3° Autres composés oxygénés*

a) Méthyl-tertio-butyl éther (M.T.B.E.)

Pourcentage maximum autorisé dans le supercarburant en volume : 10 p. 100.

b) Alcool tertio-butylique (T.B.A.)

Pourcentage maximum autorisé dans le supercarburant en volume : 7 p. 100.

*4° Mélanges de différents composés oxygénés autorisés.*

L'ajout simultané de plusieurs composés ou mélanges autorisés est possible sous réserve que la somme des rapports entre la teneur de chaque produit ou mélange ajouté et son pourcentage maximal autorisé soit inférieure ou égale à l'unité.

En effet, ces additifs présentent des propriétés différentes de celles des hydrocarbures constituant les essences : présence d'oxygène dans la molécule, pouvoir calorifique inférieur, volatilité plus élevée.

Il peut en résulter divers inconvénients si leur utilisation n'est pas contrôlée : dérèglement de la carburation, réduction des performances du moteur et diminution de l'agrément de conduite du véhicule ; ils peuvent également attaquer certains types de matériaux.

### 3°-1-3 Le problème de la démixion

Les mélanges contenant des alcools et principalement ceux contenant du méthanol présentent un phénomène de démixion quand la température est suffisamment basse, phénomène aggravé par la présence de faibles quantités d'eau ; le mélange se sépare en 2 couches, essence d'une part, alcool plus eau d'autre part.

Cet inconvénient peut être pallié par l'addition d'un cosolvant qui est un autre composé oxygéné. Les plus efficaces sont des alcools plus lourds, le TBA étant le plus utilisé.

La disponibilité en cosolvants, et notamment en TBA, étant limitée, des recherches se poursuivent dans plusieurs pays pour produire des cosolvants par des procédés différents. Ces recherches en sont au stade de la démonstration en unité pilote.

L'éthanol est beaucoup moins sensible à la démixion que le méthanol, à condition d'être utilisé anhydre (alcool absolu). Il est d'ailleurs incorporé sans cosolvant aux carburants américains à la teneur de 10 % et aux carburants brésiliens à la teneur de 22 %.

Les autres composés oxygénés ne présentent pas de problèmes de démixion.

La sensibilité des carburants contenant des alcools au phénomène de démixion dépend de la composition des carburants et du climat. Aussi, l'expérience d'un pays ne peut-elle être transposée directement dans un autre pays. Des essais réalisés en Suède à une teneur de 4 % d'éthanol sans cosolvant n'ont pas donné de résultats satisfaisants.

Dans le cas de la France, l'emploi d'éthanol n'est autorisé jusqu'ici qu'en présence de cosolvants.

Les possibilités d'emploi de carburants contenant 5 et 7 % d'éthanol anhydre sans cosolvant sont actuellement à l'étude. Rappelons que les carburants français actuels contiennent moins d'aromatiques que les carburants allemands et américains et sont de ce fait plus sensibles à la démixion.

Il faut souligner enfin que le risque de démixion des mélanges essences-alcool en présence d'eau entraîne certaines contraintes pour le réseau de distribution. Il est nécessaire d'éviter les entrées d'eau dans les bacs, que ce soit en dépôt, au transport ou en station-service.

### 3°-2 Hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques, dont l'indice d'octane est également élevé (il est supérieur à 100), entrent habituellement dans la composition des essences sous forme de coupes pétrolières contenant ces hydrocarbures en mélange. Ces coupes sont fournies essentiellement par les unités de réformage catalytique.

Certains d'entre eux (benzène, toluène, xylènes) sont utilisés à l'état pur par l'industrie chimique. Ils peuvent être employés comme additifs d'octane quand ils ne trouvent pas de débouché dans l'industrie et que leur prix devient suffisamment bas pour qu'ils puissent être incorporés aux carburants.

Il est à signaler que la suppression du plomb dans les carburants en France entraînera une augmentation de l'utilisation des bases pétrolières riches en aromatiques, ce qui pourra faciliter l'incorporation des composés oxygénés.

Alors que la suppression du plomb comme additif a été à l'origine demandée, et obtenue aux Etats-Unis notamment, au nom de la toxicité directe et qu'elle s'envisage maintenant pour satisfaire d'ambitieux objectifs d'environnement que symbolise le pot catalytique trois voies, il n'est pas anormal de s'interroger sur les effets éventuels des nouveaux additifs au regard de la pollution, y compris vis-à-vis de la santé humaine.

#### 4°) Les effets des substituants au plomb sur la pollution

Les polluants soumis à la réglementation sont l'oxyde de carbone CO, les oxydes d'azote NO et NO<sub>2</sub> (confondus sous le terme NO<sub>x</sub>) et les hydrocarbures imbrulés HC. Les polluants non réglementés sont des composés organiques tels qu'aldéhydes, acides, alcools, cétones, des oxydes de soufre, et des particules solides de très petite dimension contenant notamment du plomb et des hydrocarbures aromatiques lourds dénommés HAP (Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques).

Leurs émissions par les moteurs à essence ne sont pas réglementées, soit parce qu'ils sont en concentration très faibles dans l'atmosphère par rapport au seuil de toxicité (composés oxygénés), soit parce que la contribution des moteurs auto est faible (oxyde de soufre), soit enfin parce que c'est leur teneur dans les carburants qui est réglementée (plomb, benzène).

#### 4-1 Les polluants réglementés

L'addition de composés oxygénés aux carburants aura des conséquences nulles ou bénéfiques, selon le type de voiture, sur l'émission des polluants réglementés :

- pour ceux, parmi les véhicules existants, dont le réglage de carburation est riche, il y aura réduction des émissions d'oxyde de carbone (20 à 30 %) ainsi que des émissions d'hydrocarbures, par suite de l'effet d'appauvrissement induit par les composés oxygénés ; l'émission d'oxydes d'azote sera pratiquement inchangée.

- dans le cas des véhicules neufs, qui satisferont les nouvelles normes de pollution, le réglage de la richesse soit à la valeur 1 (voitures à pot catalytique), soit en dessous de 1 (voitures sans pot catalytique), sera tel que les concentrations de CO, HC et NOx ne seront pas modifiées.

#### 4°-2 Les polluants non réglementés

Les émissions de certains polluants non réglementés pourront être augmentées : cela concerne les composés oxygénés et les hydrocarbures aromatiques. Toutefois, pour les véhicules qui seront équipés d'un pot catalytique, le niveau d'émission de ces polluants sera réduit par rapport à celui des véhicules actuels.

##### 4°-2-1 Les composés oxygénés

Ce sont soit des composés oxygénés introduits dans le carburant et non brûlés (alcools par exemple) soit des produits de transformation (aldéhydes, cétones, acides).

Les plus toxiques, à concentration suffisamment élevée, sont les aldéhydes ; leur teneur pourrait augmenter d'un facteur 2. Comme leur concentration dans l'air ambiant est loin d'atteindre les limites de toxicité, ce doublement ne devrait pas changer significativement la situation.

Pour les autres composés oxygénés, l'augmentation des émissions sera moins élevée, sauf pour les cétones (même ordre de grandeur que pour les aldéhydes).

L'utilisation des pots catalytiques réduira dans une grande part l'émission de ces polluants.

##### 4°-2-2 Les hydrocarbures aromatiques

Les hydrocarbures aromatiques légers, tel le benzène, sont émis à l'état gazeux alors que les lourds (HAP) sont dispersés dans l'air ambiant à l'état d'aérosols ou de particules solides de très faibles dimension.

L'automobile contribue pour une grande part à la présence de benzène dans l'atmosphère des villes, mais cette teneur est très faible. L'accroissement des émissions sera inévitable mais se fera dans des proportions très limitées, compte tenu de réglementations existantes et à venir.

Dans le cas des HAP, l'automobile ne représente que l'une des sources d'émission ; ainsi il a été observé une augmentation de l'ordre de 10 de la teneur en HAP de l'air de Paris en hiver, avec le démarrage des chauffages.

Cette catégorie d'hydrocarbures comprend des produits très divers, notamment le benzo pyrène, et d'autres composés à noyau condensé. Ce sont des polluants à effet cancérigène à très faible concentration, mais la teneur atmosphérique est très en-deçà de ces concentrations.

L'influence de la teneur en hydrocarbures aromatiques des carburants sur l'augmentation de l'émission des HAP est controversée. La présence de composés oxygénés aura un effet positif (ou sinon nul) sur la concentration de ces polluants.

D'une façon générale, les hydrocarbures aromatiques seront éliminés en grande partie par l'utilisation de pots catalytiques.

#### 4°-3. Les autres sources de pollution liées à l'automobile

Outre les polluants émis par les moteurs, il existe une autre source de pollution de l'air par l'automobile. Il s'agit des hydrocarbures les plus volatils provenant de l'évaporation des essences.

Ces émissions se produisent lors des opérations de remplissage des cuves et des réservoirs, en dépôt et en station-service, ainsi que sur la voiture même : pertes par évaporation au carburateur et au réservoir (1). C'est une source substantielle de pollution par les hydrocarbures qui est malheureusement négligée en Europe.

L'augmentation de la teneur en aromatiques des carburants ou de celles des produits oxygénés augmentera la concentration de ces produits dans les vapeurs émises, notamment celle du benzène et du méthanol.

#### 4°-4. Les effets des polluants sur la santé

Les concentrations de polluants dans l'air ont diminué depuis 10 à 20 ans, grâce aux mesures prises. Elles sont faibles par rapport aux seuils de toxicité repérés dans une exposition en continu 8 heures par jour. Il faut souligner toutefois que, si les effets sur la santé des composés toxiques sont bien connus dans le cas d'intoxication aiguë causée par des concentrations élevées, il n'en n'est pas de même aux faibles concentrations, où les effets ne sont décelés que tardivement, après un long temps de latence.

Dans ce qui suit, on n'évoquera que le cas des polluants dont la teneur dans l'air ambiant risque d'augmenter avec la suppression du plomb dans les carburants, c'est-à-dire les composés oxygénés et le benzène, qui est le plus toxique des hydrocarbures aromatiques légers. Rappelons en outre que la perspective d'un renforcement du mouvement de diésélisation du parc automobile implique que des moyens effectifs de limitation des émissions de particules soient mis au point puis développés.

Le rapport du Professeur A.ROUSSEL (rédigé à la demande du Ministère de l'Environnement en 1983) donne une analyse détaillée de "l'impact médical des pollutions d'origine automobile" qui envisage notamment les perspectives d'emploi des composés oxygénés mais en tant que carburants de substitution c'est-à-dire en grandes quantités. L'augmentation des émissions de

---

(1) cf supra



produits tels que les aldéhydes par exemple, restera limitée dans les cas envisagés, compte tenu de la faiblesse des concentrations. L'augmentation de la teneur en aromatiques des carburants ou de celle des produits oxygénés augmentera la concentration de ces produits dans les vapeurs émises, notamment celle du benzène et du méthanol.

Les aldéhydes les plus toxiques sont le formaldéhyde (50 % des aldéhydes de l'atmosphère) et l'acroléine (5 %).

Des mesures récentes faites en France montrent que la teneur moyenne de l'air de diverses villes en aldéhydes est de 0,01 ppm. Les valeurs limites admises en milieu de travail sont de 2 ppm pour le formaldéhyde et de 0,1 ppm pour l'acroléine.

- Conclusion du rapport Roussel :

"L'action irritative et toxique des aldéhydes pour l'arbre respiratoire est connue et certains travaux font état d'un risque génotoxique particulièrement en ce qui concerne le formaldéhyde. Toutefois la connaissance exacte de leur action est encore insuffisante et il apparaît indispensable d'augmenter et de renforcer les actions de recherche dans ce domaine. Dans l'état actuel des choses, il n'apparaît donc pas souhaitable de préconiser une introduction massive d'alcool dans les carburants avant d'être en possession des résultats d'études biologiques plus nombreuses qu'aujourd'hui".

- Alcools :

Parmi les alcools susceptibles d'être ajoutés aux carburants, le méthanol est le plus toxique ; son élimination par l'organisme est très lente.

- Conclusion du rapport Roussel :

- sur le méthanol :

"Une valeur moyenne d'exposition de 200 ppm (260 mg/m<sup>3</sup>) a été admise à titre indicatif, dans l'atmosphère des lieux de travail (circulaire du 19 juillet 1982).

On n'a par contre aucune donnée sur les concentrations admissibles en cas d'une exposition en continu à des concentrations rencontrées dans l'environnement.

En l'absence de temps de récupération, "nécessaire à l'élimination, on doit faire preuve de vigilance, quant aux émissions dans l'environnement de cet alcool, afin d'éviter l'accumulation de celui-ci et de ses métabolites toxiques dans l'organisme."

- sur l'éthanol, le propanol, le butanol

"L'éthanol, tout comme le propanol et le butanol, semble donc présenter un moindre risque pour la santé humaine dans le cadre d'une éventuelle pollution atmosphérique résultant de l'utilisation de ces composés comme carburants de substitution".

- Hydrocarbures aromatiques

Le benzène est à priori le composé le plus dangereux des hydrocarbures aromatiques ; c'est le plus volatil (risques hématologiques et génotoxiques).

- Conclusion du rapport Roussel

- sur le benzène (conclusion sur les données biologiques et épidémiologiques)

"les effets relatifs aux expositions de longue durée à faibles doses, dont celles observées dans l'environnement urbain, ne sont pas concluants".

- sur les hydrocarbures

"Compte tenu des risques neurobiologiques provoqués par l'évaporation de l'ensemble des hydrocarbures et des risques hématologique et génotoxique dus au benzène,

Compte tenu des risques mutagènes et/ou cancérogènes présentés par les HAP émis à l'échappement, il est nécessaire de limiter l'évaporation, de mieux connaître la composition des hydrocarbures émis en les mesurant au moins par famille tant à l'émission que dans l'environnement et d'envisager des limites réglementaires différentes selon leur toxicité plutôt que de considérer une seule valeur pour les hydrocarbures totaux".

5° Les modifications du raffinage et leurs coûts

Avec le recours aux additifs de substitution au plomb, en fait les composés oxygénés, les modifications apportées aux opérations de raffinage constituent l'autre moyen de compensation des effets de la suppression du plomb.

Il faut bien avoir conscience que la description des opérations et des coûts correspond, sauf spécification contraire, à la situation finale, lorsque le carburant plombé ne représentera qu'un pourcentage insignifiant ou, éventuellement, aura disparu. (1)

La pénétration de l'essence sans plomb devrait en effet se réaliser très progressivement. Pendant plusieurs années cette essence sera essentiellement utilisée par les véhicules neufs immatriculés après 1989 (date obligatoire de la distribution), et par certains modèles seulement (ceux équipés de pots catalytiques) (1). Le parc de véhicules anciens exigeant un supercarburant d'indice d'octane élevé ne s'éteindra que progressivement, la durée de vie pouvant atteindre au moins 15 ans ; en outre il faut garder à l'esprit l'hypothèse où les petites cylindrées seraient alimentées en super sans plomb.

Il en résulte que l'outil de raffinage, considéré globalement, devrait pendant un certain temps pouvoir faire face sans investissements nouveaux à la production de carburants sans plomb.

Cela n'exclut pas toutefois que certaines raffineries, moins bien équipées que d'autres soient amenées à investir plus vite.

---

(1) L'existence d'un pourcentage important de véhicules n'exigeant pas d'essence sans plomb, en cas de succès de la technologie du mélange pauvre (lean burn) permettrait d'envisager le maintien sur une plus longue période d'un carburant plombé.

La détermination des transformations, leur ampleur, la connaissance de leurs coûts, compte tenu notamment du niveau de recours aux additifs de substitution, impliquent une modélisation du raffinage sur la méthodologie et la portée de laquelle des précisions doivent être apportées.

#### 5°-1 La modélisation du raffinage

Le but de la modélisation est de montrer l'effet de la suppression du plomb sur le raffinage - nouveaux investissements à réaliser, consommation de brut supplémentaire - et l'intérêt d'introduire des composés oxygénés dans le carburant sans plomb. Pour ce faire, on établit un modèle qui simule la situation actuelle du raffinage, ce qui donne une base de référence. Ensuite, on analyse les modifications apportées à cette base de référence.

De nombreux paramètres peuvent influencer sur cette analyse, dont les plus importants sont la qualité de l'approvisionnement en brut (densité, teneur en soufre..) et la structure de la demande en produits pétroliers (qualité et quantité). Des variations sensibles de l'un ou l'autre de ces facteurs peuvent impliquer des perturbations très importantes mais qui ne peuvent être étudiées ici.

On a supposé que le raffinage français actuel est raisonnablement adapté à la satisfaction de la demande, compte tenu de l'approvisionnement disponible, ce qui entraîne les choix suivants :

- le modèle considère l'ensemble des raffineries françaises comme une seule raffinerie traitant un approvisionnement moyen et fournissant l'ensemble du marché ce qui suppose une parfaite fluidité de celui-ci. Toute augmentation des capacités maximales existantes est due aux modifications envisagées et se traduit par un investissement.
- l'approvisionnement est simulé par trois pétroles bruts en proportions définies et constantes, dont le mélange est équivalent à l'approvisionnement total moyen de la France en 1984.
- la structure de la demande en produits pétroliers est celle de la consommation intérieure en 1984 (1) sauf pour l'un d'entre eux, le fioul lourd (pour éviter d'intégrer les effets dus à des tensions sur les fiouls lourds).

Ces choix conduisent évidemment à une schématisation un peu théorique des problèmes de raffinage et aboutissent en particulier à gommer les différences entre les diverses raffineries, dont certaines peuvent être encore mal adaptées (quoique la structure de chaque raffinerie tende de plus

---

(1) qui se décompose ainsi (en millions de tonnes/an) :

- gaz de pétrole liquéfiés : 2,9 - essence ordinaire 2,5
- supercarburant 15,8 - matières premières pour pétrochimie : 6,5
- carburacteur : 2,4 - gazole : 10,6
- fioul domestique : 21 - fioul lourd : 17,4 - Bitumes : 2

plus vers la structure moyenne après la fermeture de la plupart des raffineries non équipées d'unités de conversion). Cela rend l'adaptation du raffinage à l'élimination du plomb plus aisée qu'elle ne pourrait l'être en pratique.

Par contre, certaines souplesses sont interdites comme le recours momentané à un approvisionnement plus spécifique, souplesse rendue possible par l'offre actuelle sur le marché international.

Il en découle que les résultats de la modélisation sont à considérer comme une limite inférieure en ce qui concerne les consommations de pétrole brut, les investissements et les coûts, et que ceux-ci pourront être localement plus élevés. C'est la raison pour laquelle les chiffres fournis par l'addition des besoins de l'ensemble de la profession pétrolière dépassent les valeurs calculées par le modèle de simulation. L'outil de modélisation mis en oeuvre est la programmation linéaire et l'approche des coûts a été réalisée à partir du "coût minimum de traitement".

Dans tous les cas étudiés, la demande est satisfaite sans production excédentaire autre que celle destinée à couvrir les besoins internes de la raffinerie.

Les hypothèses suivantes ont été retenues :

- consommation de carburant sans plomb égale à la consommation de carburants plombés (corrigée pour tenir compte de la variation des indices d'octane). Toutefois une étude de sensibilité a été faite à partir d'un accroissement de 10 % de consommation soit pour le supercarburant, soit pour le gazole (diésélisation) ;

- à partir de 1989 il n'est plus distribué que 3 qualités d'essence : super sans plomb, super plombé (0,4 g/l) et ordinaire sans plomb.

- 5 taux de pénétration des carburants sans plomb ont été étudiés : 0 % (situation de référence) - 25 % - 50 % - 75 % et 100 % de la consommation finale. On peut indiquer qu'en partant de 1989 pour le point 0 % ces situations pourraient être obtenues respectivement vers 1995, 2000, 2005 et 2010.

- Pour les carburants contenant des composés oxygénés,

- il est supposé que les composés oxygénés ne sont incorporés que dans le supercarburant sans plomb, et qu'ils sont utilisés à leur concentration maximale. Dans quelques cas, on a examiné l'influence d'une variation de la concentration.

- les caractéristiques de ces composés, et notamment leurs indices d'octane, correspondent à leur utilisation dans des carburants issus du raffinage français.

- la variation de consommation de carburants due à leur emploi est calculée à partir de la variation du pouvoir calorifique, compte tenu de l'élimination de butane (nécessaire pour respecter les spécifications de volatilité). De ce fait, les prix d'intérêt des composés oxygénés sont déterminés à égalité de pouvoir calorifique avec le carburant.

Enfin, deux scénarios ont été étudiés : maintien de la répartition actuelle (à 14 % d'ordinaire et 86 % de super), et accroissement progressif de la part d'ordinaire jusqu'à 40 %. Seuls les résultats du premier seront présentés ici étant donné la grande improbabilité du second ; l'évolution actuelle, avec notamment une baisse continue des immatriculations d'autos fonctionnant à l'ordinaire (moins de 8 % actuellement) laisserait au contraire supposer la disparition de ce carburant.

## 5-2. La transformation du raffinage

Tout d'abord, il doit être observé que la pénétration du carburant sans plomb se fera très progressivement. Il en résulte que l'outil de raffinage, considéré globalement, devrait (jusqu'au milieu des années quatre vingt dix) pouvoir faire face sans investissements nouveaux à la production de carburant sans plomb. Ce caractère progressif de l'évolution de la demande et sur une très longue période est incontestablement une facilité pour l'adaptation.

### 5-2-1. Les possibilités et les contraintes techniques

Le carburant est un mélange de diverses bases (butane, essences de distillation directe, essences de craquage et de réformage). Selon la complexité et la sévérité des opérations de raffinage, la composition du mélange entre ces différentes bases (qui ont leur indice d'octane spécifique) varie. Par mélange de différentes bases, on constitue un ensemble ou pool de carburants dont l'indice d'octane moyen clair, c'est-à-dire sans plomb, est d'environ 91 en France.

L'introduction de 0,4 g/l de plomb permet de répondre aux exigences du marché des carburants qui se répartit au plan national à 86 % 14 % entre le super carburant et l'essence ordinaire. Les indices d'octane recherche de ces deux carburants sont (au minimum) respectivement de 97 et 89 actuellement.

Les procédés améliorant la qualité des essences sont le réformage catalytique, l'isomérisation et l'alkylation.

Actuellement, parmi les unités de traitement seules celles de réformage catalytique peuvent produire en grande quantité un carburant à fort indice d'octane. Le principe est d'accroître au maximum la sévérité des réformeurs existants. Une telle opération a déjà été réalisée par le passé pour baisser progressivement les apports de plomb dans les carburants de 0,67 g/l à 0,4 g/l.

Cet effort de sévérité peut être poursuivi en dessous des 0,40 g/l mais à partir d'un certain point, il devient insuffisant. D'autres techniques nécessitant, elles-aussi, la construction d'unités nouvelles, sont à la disposition des raffineurs :

- l'alkylation : c'est un procédé qui combine l'isobutane et les oléfines légères issues du craquage pour produire des hydrocarbures dont l'indice d'octane varie entre 91 et 95. Cette unité ne peut être installée dans une raffinerie que si les quantités d'oléfines sont suffisantes. Ce principe de fabrication entre en concurrence avec la production d'un composé oxygéné à haut indice d'octane, le MTBE (méthyl-tertio butyl-éther), pouvant se substituer au plomb.

- l'isomérisation : elle traite de l'essence légère directement issue de la distillation atmosphérique, permettant de faire passer son indice d'octane de 70 à 90.

- Les capacités des unités existantes en 1984 sont les suivantes :

	<u>Mt/an</u>
- Distillation sous vide.....	37
- Craquage catalytique.....	15,6
- Viscoréduction.....	7,8
- Hydrodésulfuration gazole...	27
- Hydrocraquage.....	0,7
- Réformage.....	13,5
- Alkylation.....	0,35
- Isomérisation.....	0,16

Compte tenu des inégales répartitions de capacités entre raffineries et des fluctuations saisonnières que le stockage ne peut entièrement éviter, un taux d'utilisation moyen de 85-90 % est normal et les capacités nominales des unités doivent donc être supérieures de 10 à 20 % aux valeurs indiquées par le modèle (qui s'ajuste strictement aux besoins) ; on en a tenu compte dans le calcul des investissements.

#### 5°-2-2. Les effets progressifs de la suppression du plomb : l'évolution des capacités

L'étude a été faite à structure de demande constante, de façon à mettre en évidence uniquement les effets spécifiques de la suppression de plomb. Toutes les unités ne sont donc pas affectées par cette disposition ; ainsi par exemple le craquage catalytique, l'hydrocraquage et la viscoréduction ont pour but de convertir les fractions lourdes excédentaires. On a considéré que leurs capacités sont adaptées à la structure de la demande envisagée (calage du modèle), et elles ont été maintenues à leurs valeurs actuelles.

Le tableau montre l'évolution des capacités utilisées qui sont nécessaires pour faire face à la suppression du plomb au cours de diverses étapes. Elles correspondent à un taux de marche de 100 %. Il faut rappeler que jusqu'à un taux de pénétration de 25 % qui surviendra vers 1995, il n'est pas nécessaire d'effectuer des investissements pour modifier l'appareil de raffinage considéré globalement. C'est entre 35 % et 40 % environ que cette obligation apparaîtrait.

Ce sont l'alkylation et l'isomérisation dont les capacités utilisées augmentent et il faut de plus fractionner 1 Million de T. de réformats vers la fin de la période.

On constate que la variation de capacité est continue, et si l'évolution du pool carburant peut être prévue suffisamment à l'avance, il est possible d'éviter des investissements inutilisés par la suite.

**EVOLUTION DES CAPACITES UTILISEES (Mt/an)**

Taux de pénétration des carburants sans plomb %	Cas de base (1)	50 (en 2000)		75 (2005)		100 (2010)	
		$\Delta$ <sup>(2)</sup>	Total <sup>(3)</sup>	$\Delta$	Total	$\Delta$	Total
	Réformage haute sévérité	1,50	-	1,50	-	1,50	+0,50
Alkylation	0,35	+0,15	0,50	+0,20	0,70	+0,60	1,30
Isomérisation	0,16	-	0,16	+0,14	0,30	-	0,30
Fractionnement de réformat							+1,00

(1) Situation actuelle

(2) Accroissement non cumulé

(3) Accroissement cumulé

N.B : En vue de pouvoir répondre aux fluctuations de la demande, les capacités utilisées représentent environ 85 % des capacités installées (ces dernières étant prises en compte dans le calcul des investissements).

Les solutions indiquées dans ce tableau sont les solutions optimales qui minimisent en particulier la consommation de pétrole brut. Mais d'autres situations ont été analysées, qui ont permis de définir les fourchettes d'investissement et de surconsommation de brut.

En effet, pour un pétrole brut à 1 800 F/t, une économie de consommation de 80 000 t/an (0,1 %) correspond à un gain de 145 millions de francs ; ce dernier peut couvrir les charges de capital et les frais fixes d'un investissement de plus de 700 millions de francs.

Il existe donc des solutions alternatives dont le choix final dépendra, pour chaque raffineur, de son équipement existant et de sa capacité à investir.

5°-2-3. Effet de l'introduction de produits oxygénés

L'utilisation à leur teneur maximum, des produits oxygénés, surtout le MTBE, permet de limiter ou de rendre inutiles certains investissements. Cela suppose que ces produits sont disponibles en quantités suffisantes, donc que leur production éventuelle soit en phase avec celle du carburant sans plomb. Sinon certains investissements risquent de devenir inemployés avant même d'être amortis. Pour cette raison, on examinera seulement l'incidence des composés oxygénés en fin de période (100 % de carburants sans plomb) et en supposant que leur introduction a été bien planifiée.

Le tableau suivant montre que le fractionnement de réformat n'a plus d'utilité. Seul le MTBE permet d'éviter la majeure partie des nouvelles capacités, le  $M_3T_2$  n'ayant que peu d'effets.

**Effet de l'addition des composés oxygénés  
sur les capacités de traitements utilisés (Mt/an)  
(taux de pénétration 100 %)**

	Situ- ation actuelle	Sans produits oxygénés	Avec produits oxygénés			
			MTBE 10 %	Ethanol		M3T2 5 %
				5 %	7 %	
Réformage haute sévérité	1,50	2,0	1,50	1,50	1,50	1,50
Alkylation	0,35	1,30	0,70	0,80	0,70	1,24
Isomérisation	0,16	0,30	-	0,57	0,55	0,40
Fractionnement de réformats	-	1	-	-	-	-

N.B. : Les capacités utilisées représentent environ 85 % des capacités à construire : ce sont ces dernières qui sont prises en compte dans les investissements.

Il est admis que les capacités des autres unités ne varient pas.

Il est supposé que le MTBE est produit hors raffinage.



### 5°-3. L'évaluation des coûts des transformations du raffinage

Le tableau ci-après indique le coût technique de production de bases à haut indice d'octane ;

Technique	Coût (F/point d'octane/ tonne traitée)
Sévérité accrue du réformage	28
Réformage catalytique	38
Alkylation	51
Isomérisation	27
Addition de plomb	6

Source: BIPE

Les évaluations présentées ici sont des ordres de grandeur et ne sont données qu'à cette fin. Elles ne peuvent telles quel servir de bases de calcul. En effet ces coûts augmentent de façon non linéaire avec le nombre de points d'octane gagnés. Ainsi, plus on voudra accroître l'indice d'octane à partir des seules opérations de raffinage plus il faudra investir dans de nouvelles unités et consommer du pétrole dans les raffineries (auto-consommation).

\* La suppression du plomb entraîne globalement deux conséquences pour le raffinage :

- des investissements supplémentaires pour l'augmentation des capacités ou la modernisation des unités existantes et pour l'implantation de nouvelles unités. Ces investissements ont été calculés en tenant compte d'un taux de marche moyen de 85 %.

- une consommation de pétrole brut supplémentaire due, d'une part, à l'augmentation de la quantité de carburant à produire, conséquence de l'abaissement de l'indice d'octane et, d'autre part, à l'évolution des rendements et des besoins en énergie des unités de raffinage.

Pour chacune des étapes du calendrier déjà indiqué, on a analysé l'effort à consentir, par rapport à la situation actuelle considérée comme référence. La simulation a été effectuée en considérant un coût moyen d'approvisionnement de 1 800 F/t de pétrole brut. Comme ce coût varie

constamment, les coûts qui y sont liés évoluent aussi, alors que les quantités de pétrole brut mises en oeuvre sont beaucoup moins affectées, car dépendant fortement des paramètres techniques, de même d'ailleurs que les investissements. Les résultats sont présentés dans le tableau ci-après.

**EFFETS ECONOMIQUES ET ENERGETIQUES DE LA SUPPRESSION DU PLOMB**  
**VALEURS NON CUMULATIVES PAR RAPPORT A LA SITUATION DE REFERENCE**

Super sans plomb IOR 95 IOM 85 - Ordinaire sans plomb IOR 91 - IOM 82,5

Année	Taux de Pénétration des carburants sans plomb %	Δ Consommation des carburants 1000t/an	Δ Consommation de brut 1000t/an	Δ Consommation de brut %	Investissements Millions de francs 1985	Surcoût dû au Brut Millions de francs 1985
1995	25	80	175	0,2	-	315
2000	50	180	330	0,35	140	595
2005	75	280	520 ± 50	0,6	700 (± 100)	935 ± 90
2010	100	420	770 ± 30	0,9	2700 (± 700)	1385 ± 55

N.B. : Coût brut 1 800 F/t en juillet 85

Pour l'ensemble du raffinage français, un taux de pénétration de 25 % ne devrait pas nécessiter d'investissements spécifiques, mais il s'agit d'une situation globale qui n'exclut pas que certaines raffineries aient à procéder à des investissements pour un taux de pénétration moindre.

Les investissements nécessaires deviennent importants à partir de 50 à 75 % de carburant sans plomb. Le niveau des investissements indiqué représente une valeur moyenne entre plusieurs simulations, avec une fourchette de variation assez large correspondant à des cas extrêmes suivant les solutions envisagées (plus ou moins d'alkylation, d'isomérisation ou de fractionnement de réformat). La fourchette de consommation de pétrole brut est plus restreinte.

En raison de la possibilité de choix entre divers types d'unités combinées ou non (alkylation, isomérisation, fractionnement de réformat), les investissements peuvent être réalisés progressivement sans déclassement de ceux qui ont été faits antérieurement.

**\* Sensibilité à l'accroissement de la consommation de carburant**

Pour mettre en évidence les effets spécifiques de la suppression du plomb, la consommation de carburant a été maintenue constante, mais il a paru intéressant de chiffrer l'effet d'une augmentation de cette consommation. En effet, outre un accroissement du parc automobile, on ne peut écarter une légère augmentation de consommation induite par la baisse d'octane pour des véhicules classiques non équipés d'injection électronique ; on ne doit toutefois pas oublier les effets d'une amélioration de la carburation sur la consommation, de meilleurs réglages etc...

Malgré les efforts des constructeurs d'automobiles pour réduire la consommation spécifique des véhicules, l'accroissement du parc auto peut amener à une plus grande consommation de carburant, soit essence, soit gazole.

Une augmentation de 10 % de la consommation de supercarburant sans plomb au terme de la situation envisagée précédemment (point 100 %) aboutit à la situation suivante :

	Consommation* constante	+ 10% ** supercarburant
Δ Consommation des carburants 1000t/an	420	+ 1620 (super)
Δ Consommation de brut 1000t/an	770	+ 1900
Investissements (Milliards de francs 1985)	2,7	+ 0,9

(Δ)\* = augmentation par rapport à la situation de référence

(Δ)\* \* = augmentation supplémentaire due à l'accroissement de consommation de supercarburant

La somme des chiffres des 2 colonnes donne le Δ par rapport à la situation de référence.

Une augmentation équivalente mais due à une diésélisation du parc (accroissement des besoins en gazole) donne les valeurs suivantes :

	Consommation constante	+ 10% supercarburant
Δ Consommation des carburants 1000t/an	420	+ 1620 (gazole)
Δ Consommation de brut 1000t/an	770	+ 1780
Investissements (Millions de francs 1985)	2,7	-0,5 + 0,5

Dans les deux cas, la variation de la consommation de pétrole brut due à l'augmentation de la demande est cohérente avec l'évolution de la consommation de carburant, alors que l'investissement est plus élevé dans le cas où c'est le supercarburant sans plomb qui absorbe les 10 % de consommation supplémentaire.

Cela semble indiquer que la proportion d'essence dans l'ensemble de la demande des produits pétroliers serait actuellement proche de son maximum technique, compte tenu du faible niveau de la demande en fuel lourd, de l'outil de raffinage existant et de l'approvisionnement moyen en pétrole brut importé. Pour faire face à une croissance importante de la consommation de carburant tout en diminuant la proportion relative de combustibles lourds-fuel domestique, fuel lourd - il faudrait investir dans des unités de conversion profonde.

L'importation de bruts légers permettrait de remédier partiellement et temporairement à la situation.

En définitive, les résultats sur l'augmentation des besoins des voitures, soit en supercarburant, soit en gazole, indiquent qu'un niveau de diésélisation plus élevé du parc automobile, faciliterait l'adaptation du raffinage à la production de carburants sans plomb(1). Cette constatation doit être soulignée lorsque l'on sait que la tendance à la diésélisation est déjà marquée et que pour des raisons financières évidentes (cf supra l'automobile) elle a toutes les chances de se renforcer, ainsi que cela est observé en Allemagne (dans des proportions considérables depuis 1985 (2)) depuis l'apparition sur le marché des autos à pot catalytique, les consommateurs ne manquent pas de faire les calculs de coûts habituels.

---

(1) Mais par ailleurs la diésélisation pose de sérieux problèmes dans le domaine de la santé (cf supra)

(2) Alors qu'en outre, contrairement à la situation française, la situation allemande se caractérise par une très faible différence de prix à la pompe entre le super, l'ordinaire d'une part, et le gazole d'autre part.

**5-4. Influence de l'utilisation de composés oxygénés sur les coûts du raffinage.**

Les produits oxygénés augmentent l'indice d'octane à condition d'en incorporer une fraction de plusieurs pourcents aux carburants, ce qui entraîne certaines modifications des caractéristiques de ces derniers. Il faut donc en tenir compte dans la formulation, qui variera selon la nature et la quantité de produit utilisé.

On a simulé l'effet de trois composés oxygénés (séparément) à l'aide du modèle raffinage : le MTBE en proportion de 10 % en poids, l'éthanol à 5 % et 7 % en poids, le mélange M<sub>3</sub>T<sub>2</sub> (méthanol 3 - TBA 2) à 5 % en poids. Ces pourcentages correspondent aux limites supérieures envisagées au niveau européen. Outre le cas de l'éthanol 5 %, on a vérifié ponctuellement qu'une addition en pourcentage inférieur à la limite réglementaire aboutit aux mêmes conclusions.

\* Pour évaluer l'intérêt économique de l'utilisation des composés oxygénés, on a retenu les trois indicateurs suivants :

- l'économie en pétrole brut qu'apporte l'introduction d'une tonne de produit oxygéné ;
- le montant des investissements qui peuvent être soit différés, soit évités, en se limitant au raffinage (non compris ceux relatifs à la production des composés oxygénés),
- le prix de vente en dessous duquel les composés oxygénés apportent une économie au raffinage. Ce prix limite représente la valorisation maximum du composé oxygéné ; il est désigné comme le prix d'intérêt pour le raffineur.

Il n'a de signification que relativement à celui du pétrole brut : il est exprimé par conséquent en valeur relative. Le prix du brut a en effet un poids prépondérant dans le prix de revient des produits pétroliers, et ses fluctuations modifient en conséquence la valorisation des composés oxygénés.

**INTERET ECONOMIQUE DES PRODUITS OXYGENES  
UTILISES DANS LE SUPERCARBURANT SANS PLOMB  
(Taux de pénétration 100 %)**

	MTBE 10%	ETHANOL		M3T2 5%
		5%	7%	
1 Tonne de brut économisée par tonne de produits oxygénés	1,10-1,12	0,97-0,99	0,96-0,99	0,72-0,73
2 Investissements évités (en millions de francs)	2000	1200	1300	400
3 <u>Prix d'intérêt</u> Prix du pétrole brut	1,20	1,07	1,06	0,75

(1) Les indications données par ce tableau (notamment à la ligne 3) peuvent paraître contradictoires avec des éléments faisant appel à d'autres notions (prix de substitution). Outre les différences de méthodologie, il faut préciser que l'I.O.R. est ici de 95 et qu'il suffit de faibles variations de certains paramètres pour modifier substantiellement les résultats.

Il ressort que :

- le MTBE est le composé oxygéné qui présente les meilleurs indicateurs pour le raffinage, suivi par l'éthanol 7 % puis 5 % et enfin par le mélange  $M_3T_2$  5% qui est le moins bien placé techniquement.
- lorsque la concentration des composés oxygénés est inférieure aux précédentes les résultats restent les mêmes, sauf en ce qui concerne l'économie d'investissement qui diminue évidemment. Les résultats particulièrement favorables du MTBE sont imputables, outre ses qualités propres, à la concentration élevée étudiée (10 %). On remarque que les prix d'intérêt des composés oxygénés sont relativement bas, puisqu'ils sont au mieux supérieurs de 20 % seulement au prix de pétrole brut.

Les raisons principales en sont les suivantes : le pouvoir calorifique des additifs oxygénés est plus faible que celui des hydrocarbures, ce qui oblige à produire une quantité de carburant plus élevée. Ainsi, avec un carburant à 5 % de  $M_3T_2$ , la consommation spécifique augmente de 2,2 % ce qui fait qu'au strict plan du bilan matière, le  $M_3T_2$  ne compte que pour 2,8 % au lieu de 5 % (une tonne de  $M_3T_2$  équivaut alors à 0,56 tonne de brut). Mais le gain d'indice d'octane qu'il apporte compense en partie cette perte d'efficacité (1 t de  $M_3T_2$  équivaut en fait à 0,73 t de brut).

Dans le cas d'un carburant IOR 95 - IOM 85, c'est l'indice d'octane moteur qui est la spécification la plus contraignante, alors que les produits oxygénés apporteront le gain le plus élevé en indice d'octane recherche. De ce fait, avec un carburant contenant par exemple 7 % d'éthanol, il faudra produire un carburant d'indice recherche de 96 au lieu de 95 pour atteindre un indice moteur de 85.

#### 6° Les conséquences pour la distribution et les choix qu'elles impliquent

Les conséquences de l'introduction sur le marché d'un (ou deux) carburant sans plomb pourraient être proportionnellement plus importantes pour la distribution que pour le raffinage, bien que, on l'a vu, sur ce dernier point, elles seront loin d'être négligeables. Les choix du nombre de carburants distribués au delà de la période transitoire, mais surtout dès celle-ci peuvent par récurrence, entraîner d'autres choix au stade du raffinage. C'est pourquoi les évaluations des options doivent aussi être envisagées globalement.

\* La directive du 20 mars 1985 a tranché en faveur d'un choix de carburants qui a du tenir compte de positions nationales et surtout professionnelles quelquefois fort éloignées les unes des autres. Ce texte est en définitive plus souple car moins ambitieux que les avant-projets à partir desquels les négociations se sont déroulées.

Les éléments de la directive essentiels au regard de la distribution sont les suivants :

- obligation de distribution dans chaque état membre d'un seul carburant sans plomb (du supercarburant) dont la norme est définie par des indices minima (indice d'octane recherche de 95 et indice d'octane moteur de 85), (à partir du 1er octobre 1989) ;

- absence d'obligation mais possibilité de distribuer une essence ordinaire sans plomb (du supercarburant) dont la spécification n'est pas définie ;
- obligation de continuer à assurer la disponibilité et la répartition d'essence plombée ;
- absence d'obligation (1) d'abaissement des carburants plombés à 0,15 g/l alors que cela avait été envisagé précédemment ;
- enfin possibilité de distribuer sans délai de l'essence sans plomb, ce que la République Fédérale d'Allemagne avait d'ailleurs déjà fait (2)

\* Si le compromis réalisé par la directive ne satisfait pleinement aucun des protagonistes (activités pétrolières et constructeurs automobiles), et il ne pouvait d'ailleurs pas en être autrement, il a le mérite non seulement de n'entraîner aucune conséquence insupportable pour les différents secteurs impliqués mais encore de mettre un terme au prolongement d'une période d'indécision qui est nécessairement dommageable pour des industries obligées de programmer longtemps à l'avance leurs investissements outre, bien entendu, leurs programmes de recherches (installations de raffinage, moteurs d'automobiles). Le caractère équilibré de cette décision de compromis permet aussi d'assurer que celle-ci ne sera pas remise en cause. Tout cela est essentiel car dans ce domaine mieux vaut une décision moyennement satisfaisante mais rapide et pérennisée plutôt qu'une décision excellente (inaccessible en l'espèce) mais tardive ou sujette à une remise en cause. Ces considérations ne valent pas seulement pour le passé mais aussi pour le présent et pour l'avenir ainsi qu'on va le voir.

Si l'on estime qu'à très long terme (au-delà de 2010) les carburants automobiles plombés disparaîtront, il est clair que l'on entrera prochainement dans une période transitoire qui durera plus de 20 ans. Contrairement à ce que l'on observe au stade du raffinage (dès lors que des solutions intermédiaires du type diminution de la teneur en plomb à 0,15 g/l sont écartées), la période transitoire va poser des problèmes très importants à la distribution.

Pour l'anecdote, mais elle n'est pas dépourvue de symbole, cette période transitoire a déjà commencée en France puisque depuis le 1er juillet 1985 la distribution de super sans plomb est assurée dans environ 80 stations services réparties à peu près sur les axes Rhin - Paris - Rhône - Méditerranée. Cette réalité ignorée, et pour cause, par la plupart des français vise évidemment à permettre à nos voisins allemands ayant des autos équipées de pots catalytiques de circuler en France. Il va de soi que la distribution de ce carburant dans les conditions actuelles est économiquement totalement inviable (3)

Les options à prendre en fait de nombre de produits à distribuer devront nécessairement l'être dès le début de la (véritable) période transitoire et ce pour deux raisons. D'une part, la mise au point de modèles d'autos, leur pénétration commerciale sur le marché implique la connaissance des carburants distribués pendant la période transitoire on voit mal comment il pourrait être rétabli après des années de disparition (problèmes posé par l'essence ordinaire).

---

(1) Art. 2 paragraphe 3 : "Les Etats membres réduiront dès qu'ils l'estimeront approprié, la teneur autorisée en composés de plomb, calculée en plomb de l'essence avec plomb, mise sur leur marché à 0,15 g/l".

(2) Les Pays-Bas, la Suisse et l'Autriche distribuent dès maintenant du carburant sans plomb (la liste n'est pas exhaustive).

(3) Du 1er juillet au 1er septembre, 25 000 litres ont été vendus, certaines stations n'ont pas débité 1 litre. Ce prix de vente de 6,60 F. ne correspond pas au prix de revient qui est supérieur de 200 à 300 % au moins.

On a précisé (1) la situation de cinq des états de la Communauté relativement aux carburants actuellement distribués et à leurs spécifications.

Tous les états membres de la Communauté disposent actuellement de deux qualités de carburants (super et ordinaire). Dans certains d'entre eux (Grande Bretagne, Allemagne, Danemark, Pays Bas), les stations services proposent de qualités intermédiaires obtenues par mélange. Ainsi qu'on a pu le noter, on enregistre de grandes variations d'un pays à l'autre non seulement pour la répartition entre les deux carburants mais encore pour le débit moyen de chaque station-service. En outre, il doit être signalé que le nombre de stations-services varie considérablement d'un pays à l'autre : il est ainsi plus du double en France qu'en Allemagne (36 000 et 13 à 15 000 respectivement). En France actuellement ce secteur connaît déjà un mouvement de restructuration vigoureux en raison essentiellement des conséquences de la libération des prix.

D'entrée déjà, il est clair qu'on ne pourra distribuer 4 carburants (2) : ordinaire et super plombés, ordinaire et super sans plomb. Techniquement c'est la suppression de l'ordinaire plombé qui s'impose, les moteurs prévus pour l'ordinaire plombé pouvant évidemment fonctionner sans problème avec du super plombé. On ne distribuera donc que trois carburants. Il est à noter que la différence de prix entre l'ordinaire et le super est aujourd'hui très faible.

Actuellement, seules une petite minorité de stations services (6 000 environ) sont équipées pour pouvoir distribuer trois carburants. La modification des autres sera donc nécessaire. En outre, l'introduction de l'essence sans plomb exige aussi des aménagements des installations de transport, stockage intermédiaire, etc.. D'après les milieux professionnels, il apparaît que 50 % des stations (3) et 20 % des dépôts existants ne peuvent être adaptés à la distribution d'un troisième carburant.

L'estimation couramment donnée par l'industrie pétrolière et généralement acceptée, pour la distribution d'un troisième carburant est de 2,5 milliards de francs (1984) soit un montant de l'ordre de ceux qui sont évalués pour les conséquences sur le raffinage de la production de carburant sans plomb. Il ne s'agit donc pas, contrairement à ce que l'on aurait pu être tenté de croire, d'un problème annexe par rapport au raffinage.

Outre cette estimation, on doit prendre en compte les surcoûts d'exploitation d'un réseau dont le débit sera très faible ; actuellement, en effet, l'ordinaire en France ne représente que 14 % des ventes et la part dans les immatriculations des autos fonctionnant avec ce carburant n'est que de 8 %.

L'abaissement de l'indice d'octane du super dans sa version sans plomb (95 indice recherche contre 97,5 actuellement) fait que la différence avec l'essence ordinaire en qualité diminuera. Cela est d'autant plus vrai que pour le nouvel ordinaire, il est fortement envisagé de l'établir à 91 (indice recherche contre 89 actuellement), ce qui le mettrait ainsi au même niveau que l'ordinaire allemand.

---

(1) cf supra

(2) Le gazole, le GPL et le mélange 2 temps ne sont pas pris en compte ici.

(3) Pourcentage calculé sur 37 000 stations



L'écart en indice moteur (1) ne serait plus alors que de 2,5 points (85 pour le super sans plomb, 82,5 pour l'ordinaire sans plomb). On peut dès lors se poser la question de savoir si le maintien d'un réseau supplémentaire de distribution s'impose pour maintenir la coexistence de deux carburants aussi proches dont l'un sera vendu en très faibles quantités. On s'orienterait alors vers la suppression définitive de la vente, donc de la fabrication d'essence ordinaire.

Cette solution éviterait évidemment des investissements élevés et d'usage temporaire. Rappelons qu'actuellement les constructeurs automobiles français ne proposent que deux modèles fonctionnant à l'ordinaire.

Pour le secteur pétrolier la profession paraît divisé sur ce point. En effet, si la disparition de l'ordinaire permettrait d'économiser de coûteux investissements, elle accroîtrait encore les exigences de sévérité de raffinage et/ou de recours aux composés oxygénés comme additifs. Or ces exigences ont un coût.

Néanmoins, il est apparu à certains qu'il serait compensé et au-delà par les économies sur la distribution. On se retrouverait alors dans une situation très proche d'un des scénarios envisagés par le groupe ERGA, (scénario V B) qui se caractérisait à terme par l'existence d'un seul carburant : (du super à 94,5 d'indice recherche). Il doit être noté que l'évolution la plus récente des rapports de prix en France entre le super et l'ordinaire (plombés) a considérablement diminué l'écart entre les deux produits ; compte tenu des différences de consommation, on peut se demander si cet écart n'est pas, au bout du compte, d'une portée insignifiante.(2)

La solution à 3 carburants ne saurait pour autant être écartée car non seulement elle exige moins de sévérité des opérations de raffinage mais elle évite aussi de faire disparaître de la production automobile les modèles fonctionnant à l'ordinaire, ce qui n'est pas sans importance pour l'exportation.

La question reste donc ouverte sous réserve de deux observations :

- le maintien d'une essence ordinaire (dans sa version sans plomb) ne peut se concevoir que dans une perspective de développement du taux de pénétration de ce produit par rapport à la situation que connaît l'ordinaire actuel. Une concertation effective débouchant sur des engagements précis des constructeurs et des pétroliers s'impose donc. Certes elle est difficile et a échoué jusqu'à présent ; les intérêts sont en effet contradictoires ; en outre, les constructeurs français (et ils ne sont pas les seuls en Europe) n'ont pas été satisfaits de la fixation à 95 de l'indice recherche du super sans plomb. De leur côté, les pétroliers français qui auraient souhaité un carburant unique à 94 (recherche) estiment qu'il n'a pas été tenu compte de leurs intérêts. Une perspective d'un taux de pénétration de 20 % au moins pour l'ordinaire implique donc une action volontariste qui aille au delà de la simple concertation. A défaut, il serait préférable de renoncer à toute mesure ou disposition contraignante pour la distribution d'ordinaire en laissant le jeu de l'offre et de la demande faire l'arbitrage au risque de voir marginaliser ou même disparaître l'essence ordinaire.

---

(1) On a vu que l'indice moteur est le plus difficile à respecter

(2) Cette évaluation, liée à la "guerre des prix" entre distributeurs ne doit rien à la fiscalité mais au moindre effort que font ceux-ci sur l'ordinaire par rapport au super.

- le niveau d'équipement des stations services étant diversifié de même que leur capacité d'adaptation à la situation nouvelle, aucune disposition ne prévoyant d'obligation de distribution de tous les produits, on peut également envisager qu'une partie seulement des stations services proposeront tous les produits. Dans cet esprit, un rapide calcul permet d'entrevoir les perspectives suivantes.

Si l'on veut que la moitié des points de vente soient équipés de "trois pompes" (1), il reste donc à équiper 11 500 stations, soit un investissement global de 2,3 milliards de francs (2). Dans cette hypothèse, la répartition des stations sur le territoire national pourrait être la suivante :

- 50 % : distribution des trois carburants,
- 16,7 % : distribution de super sans plomb et d'ordinaire sans plomb,
- 16,7 % : distribution de super sans plomb et de super plombé,
- 16,7 % : distribution d'ordinaire sans plomb et de super plombé.

C'est la répartition qui optimise au mieux pour un consommateur donné les chances de trouver l'essence dont il a besoin (83 % de chances). Néanmoins, dans le cadre des dispositions pratiques d'application de la réglementation, il sera possible de limiter davantage le nombre de points de vente équipés de trois pompes. Par exemple, pour que le consommateur ait 75 % de chances de trouver de l'essence qui lui convient, il suffirait que 30 % des stations soient équipées de trois pompes. L'investissement serait ainsi ramené à 900 millions de francs.

---

(1) La notion de "troisième pompe" est une image commode. En fait il s'agit de 3 circuits qui peuvent correspondre à un nombre de pompes beaucoup plus élevé.

(2) On estimait à 200 000 F le coût d'implantation de la "troisième pompe" par point de vente et compte tenu de l'existence de 6 000 stations déjà équipées.

7° Une condition préalable pour l'introduction des carburants sans plomb : l'incitation par le prix.

Pour que l'introduction des carburants sans plomb induite par l'arrivée des catalyseurs (trois voies ou même à oxydation) ne soit pas un échec, une condition simple mais tout à fait fondamentale doit être remplie : empêcher la fixation de prix qui étant plus élevés que ceux de l'essence plombée, décourageraient la consommation d'essence sans plomb. Ce risque est loin d'être théorique et l'expérience américaine incite à la vigilance. En effet, aux Etats-Unis, l'essence sans plomb a été (et reste dans une mesure plus faible que maintenant) vendue plus chère que l'essence plombée. La différence de coût de production était en effet répercutée sur le consommateur. Malgré l'existence de dispositifs empêchant physiquement (1) l'alimentation de véhicules à catalyseurs avec de l'essence plombée, un pourcentage important d'automobilistes ont délibérément rempli leur réservoir avec un tel carburant par le moyen d'entonnoirs ou d'adaptateurs qui furent même fabriqués à cette fin.

Outre la différence de prix, des qualités, vraies ou fausses, attribuées à l'essence plombée ont pu inciter certains automobilistes à procéder de la sorte (indice d'octane, nervosité du moteur notamment).

On a donc constaté aux Etats Unis il y a quelques années (1980) que sur le nombre important de pots catalytiques qui étaient détruits, une majorité l'était en raison de cette pratique qualifiée outre atlantique de "misfuelling".

Au début de l'élaboration de la directive sur l'essence sans plomb, il avait été envisagé d'introduire dans ce texte une disposition obligeant les Etats-membres à s'assurer que la vente de l'essence sans plomb se faisait à un niveau inférieur à celui de l'essence plombée. En l'absence d'un accord sur ce point et sur d'autres d'ailleurs, l'obligation a été remplacée par une simple recommandation dont la portée n'est pas négligeable ainsi qu'on va le voir.

Sans procéder ici à une analyse détaillée du droit communautaire et du droit français, on doit rappeler que récemment, le régime des prix des produits pétroliers au détail en France a été profondément modifié à la suite d'un arrêt rendu par la CJCE (Cour de Justice des Communautés Européennes) (Arrêt du 29 janvier 1985 Cullet/Centre Leclerc 231/83).

En résumé, la Cour a condamné la réglementation française en vigueur à l'époque sur deux points : le calcul des prix de reprise, lorsqu'ils sont corrigés en hausse par rapport aux coûts de production du raffinage français et le mode de calcul des prix minimaux qui sont déterminés à partir de la moyenne des barèmes des seules A 10 (2). Ce n'était pas l'existence du prix minimum mais son mode de fixation qui était condamnable. L'interprétation donnée par la Cour permet ainsi aux Etats membres de fixer des prix maximaux et minimaux, à la production comme à la consommation, si ces prix n'entravent pas les importations.

---

(1) Les embouchures des réservoirs des autos à catalyseur sont d'un diamètre plus petit et ne permettent donc pas l'introduction d'un pistolet distribuant de l'essence plombée.

(2) Autorisations de 10 ans accordées aux raffineurs et limitant la quantité d'huile brute qu'il leur est permis de traiter annuellement.

L'arrêté paru le 30 janvier 1985 et fixant le nouveau régime des prix de vente des carburants en France est allé au-delà de ces exigences en établissant ce qu'il est convenu d'appeler la liberté des prix. Il y a lieu de noter toutefois que l'art.4 de cet arrêté dispose que les Commissaires de la République ont le pouvoir de fixer "à titre exceptionnel et pour une durée limitée", les prix limites de vente au détail des carburants en vue d'interdire toute pratique locale de prix abusif.

Le meilleur moyen technique permettant d'obtenir un prix de vente du carburant sans plomb inférieur ou au maximum égal à celui du carburant plombé est le recours à la fiscalité. (taxe intérieure sur les produits pétroliers). Une taxation différentielle permettrait de compenser au niveau fiscal le surcoût de production et de distribution du carburant sans plomb. Le carburant plombé serait donc davantage taxé que le carburant sans plomb pour obtenir à la pompe un prix moins élevé pour ce dernier. L'évolution dans le temps du taux de pénétration des deux produits exigera, si l'on veut que l'opération soit "blanche" pour le Trésor public, la mise au point d'une formule peut-être complexe mais des exemples dans ce domaine montrent qu'il s'agit là de mécanismes réalisables.

La RFA a, pour les mêmes raisons déjà élaboré un tel système. La Commission des Communauté l'a estimé compatible dans les conditions suivantes :

S'il entraîne une modification des courants de la demande de ces deux types de carburants, il ne doit pas aboutir à faire disparaître le marché de l'essence plombée, le maintien de la disponibilité de ce carburant étant imposé par la directive. S'il n'en est pas ainsi en Allemagne, il apparaîtrait que l'adoption d'un système comparable par les Pays-Bas comporte, en raison de leur système de distribution, un risque de cette nature.

Le barème fiscal différentiel étant acquis ou concrétisé au départ des raffineries, la différence de prix ou l'égalité ainsi déterminée doit se retrouver à la pompe. La possibilité de recours à la notion de prix abusif, évoquée ci-dessus avec l'art.4 de l'arrêté du 30 janvier dernier devrait permettre d'atteindre cet objectif d'autant que l'exposé des motifs (1) et les dispositions explicites des art.13 et 14 de la directive (2) constituent une base juridique indiscutable pour la mise en oeuvre des mesures indiquées.

---

(1) " (...) considérant qu'une certaine partie du parc automobile existant pourrait utiliser de l'essence sans plomb et que, de ce fait, les Etats membres devraient être invités à prendre toutes les mesures appropriées compatibles avec le traité en vue de promouvoir l'utilisation la plus large possible de l'essence sans plomb ;"

(2) Art.13 : Les Etats membres prennent les mesures appropriées pour s'assurer autant que possible que l'essence avec plomb n'est pas utilisée sur les véhicules à moteur conçus pour brûler de l'essence sans plomb.

Art.14 : Les Etats membres sont invités à promouvoir, aux fins de l'application de l'article 3, l'utilisation la plus large possible de l'essence sans plomb sur tous les véhicules pouvant consommer ce type d'essence. A cet effet, ils sont invités à prendre toutes les mesures compatibles avec le traité qu'ils estiment appropriées.

Enfin, s'agissant du tarif, il est clair qu'en aucun cas, l'essence sans plomb ne saurait être plus chère, même de quelques centimes, que l'essence plombée ; il serait bien préférable que, sous réserve des impératifs juridiques signalés ci-dessus, elles soit sensiblement moins chère. La nécessité de l'introduction des pots catalytiques passe par la réalisation de cette condition. On comprendrait mal qu'une opération aussi importante par ses répercussions industrielles soit un échec quant aux bénéfices que l'on peut en attendre, en raison de l'absence de ces précautions fiscales et juridiques désormais évidentes.

L'exemple allemand confirme la valeur de cette exigence. Alors que l'imposition jusqu'à maintenant est majorée de 2 pfennigs pour le carburant plombé et diminuée de la même somme pour le carburant sans plomb, des dispositions sont actuellement en cours d'examen au Parlement pour accroître cette différence (équivalente à 12 centimes) qu'on ne retrouvait pas à la pompe, le sans plomb étant généralement plus cher de 2 pfennigs. L'accentuation de l'écart fiscal devrait permettre d'établir à la pompe la différence dans le bon sens.

\*

\*        \*

En conclusion, les conséquences pour les activités pétrolières des dispositions européennes apparaissent importantes par leur ampleur mais plus aisées à préciser que celles relatives aux grandes installations de combustion ou même à l'automobile ; ici aussi, on enregistre des disparités substantielles entre les situations des différents états-membres même si elles sont loin d'avoir la portée de ce que l'on risque de connaître pour celles-là et que l'on connaîtra sans aucun doute pour celle-ci.

Les moyens techniques pour faire face aux nouvelles exigences existent et les coûts ne sont pas prohibitifs, d'autant qu'ils peuvent être largement étalés dans le temps.

Plus inquiétants sont pour le secteur pétrolier la conjonction de ces implications de l'introduction du carburant sans plomb avec les problèmes graves posés par l'exigence d'installations nouvelles de conversion profonde (débouché des produits les plus lourds) sur un fond de crise grave depuis plusieurs années, avec la concurrence croissante des pays producteurs de pétrole sur le marché des produits raffinés. Celà sera évoqué dans la troisième partie du présent rapport.

Le recours aux additifs de substitution peut ouvrir des perspectives intéressantes. Celà concerne le secteur pétrolier et le secteur bio-énergétique. Ce problème spécifique sort du cadre de la présente étude, c'est pourquoi il n'y a pas fait l'objet de développement. On voudrait simplement remarquer ici que les débouchés éventuels que constitue le recours aux composés oxygénés du type de l'éthanol comme substitués au plomb dans les proportions envisagées (et qui sont limitées par des considérations techniques), ne sont pas à la mesure de la résorption des excédents agricoles structurels. En outre, si l'on ne s'en tenait qu'à la loi du marché, l'éthanol d'origine agricole serait en position moins favorable par rapport à d'autres additifs. Des indications d'ordre économique sont fournies à ce sujet dans la troisième partie du présent rapport.

Pour que l'opération de passage partiel ou total au carburant sans plomb soit un succès effectif, il importe que soient impérativement prises plusieurs mesures simples dans le domaine de la distribution :

- fiscalité différentielle au profit du carburant sans plomb pour que celui-ci soit au moins au même prix à la pompe que le plombé, mais de préférence moins cher,
- réglementation permettant de faire respecter jusqu'à la pompe ce rapport de prix établi à la sortie des raffineries,
- mesures matérielles empêchant l'alimentation de véhicules conçus pour fonctionner à l'essence sans plomb avec de l'essence plombée.

## CONCLUSION :

## **RAISON GARDER**

Alors que les nombreuses et efficaces actions entreprises contre la pollution atmosphérique en général depuis plus d'une quinzaine d'années ont pu être mises en oeuvre sans soulever de problèmes importants, il n'en est plus de même avec des programmes globaux, finalisés, qui, visant un phénomène transfrontière, doivent eux-mêmes être fixés au niveau international.

Si la réalisation d'objectifs généraux arrêtés dans le cadre de la convention de Genève ne recèle pas de difficultés pour la France, les mesures communautaires, en cours d'adoption ou projetées, peuvent en comporter quant à elles, cela n'est d'ailleurs pas une particularité de notre pays.

Ces mesures ont des implications multiples aux différents niveaux des activités concernées. Aussi leurs conséquences sont-elles nombreuses et considérables. Elles comportent en outre des aléas éventuellement inquiétants pour certaines activités.

### . La justification de l'action

Si l'axe des programmes d'action est constitué par la lutte contre la pollution à longue distance, on note que la plupart des mesures visent à une diminution des agents polluants tant de proximité qu'à longue distance. Elles sont le plus souvent le prolongement d'actions engagées depuis longtemps (SO<sub>2</sub>, poussières, CO) dans la plupart des pays d'Europe (France notamment) et des pays extra européens (Etats-Unis, Japon). Elles correspondent, pour l'essentiel et dans certains pays à l'accentuation d'actions en cours ou à un lancement des mêmes actions pour les autres pays qui accusaient ou accusent encore un retard.

La difficulté de faire la distinction entre la pollution à longue distance et celle de proximité, constatée pour mesurer l'impact des retombées, se retrouve au plan de la limitation des émissions.

De ce point de vue, et quels que soient les résultats des recherches en cours sur l'origine du dépérissement des forêts, le principe même de ces programmes d'ensemble est fondé.

### . Les rapports coût - efficacité - délais

L'exigence du recours dans certains cas à des procédés nouveaux ou à des filières nouvelles implique souvent des efforts coûteux et longs pour des résultats à échéance lointaine voire extrêmement lointaine. Ainsi en est-il du pot catalytique tri-fonctionnel et d'une manière générale des normes d'émissions automobiles en raison de la durée de renouvellement du parc, de la réduction des NO<sub>x</sub> dans les grandes installations de combustion bien plus encore pour le moteur diesel où le filtre à particules ou l'équivalent du pot d'échappement catalytique font seulement l'objet de recherches ; il est vrai que sur ce dernier point, aucun texte n'a encore été élaboré.

Il importe donc que parallèlement à la mise en oeuvre de ces mesures, toutes les actions d'effet immédiat ou rapide soient engagées aux niveaux communautaire comme national, qu'il s'agisse :

- de la limitation de vitesse pour les automobiles, notamment sur les autoroutes où les émissions de NOx aux allures très élevées sont considérables,
- de la renonciation à la pérennisation de l'usage courant de combustibles très polluants, de la réduction des émissions d'hydrocarbures par évaporation, tant dans les industries (pétrolières, solvants) que dans l'automobile en vue de laquelle il n'y a pas de disposition communautaire ; la liste n'est d'ailleurs pas limitative.

#### Fondements et valeur de l'action communautaire

La non exhaustivité des mesures communautaires vient d'être évoquée à l'occasion de quelques exemples. Mais l'arbre ne saurait cacher la forêt. Au sein de la C.E.E., l'essentiel relève des programmes d'actions, des dispositions communautaires.

Le recours à ce cadre est fondé non seulement par le caractère transfrontière des phénomènes de pollution visés mais encore par la nécessité de ne pas porter atteinte aux conditions de concurrence entre états membres par les mesures de lutte. Les directives (ou les propositions) rappellent d'ailleurs cette considération et les pays les plus favorables à cette lutte également.

Il a été remarqué que la fixation d'objectifs précis et contraignants est assortie d'une souplesse volontaire dans les moyens à mettre en oeuvre ; cette situation "idéale" n'est pas toujours réalisée, tout du moins pour ce qui concerne le texte le moins avancé (grandes installations) mais elle devrait se retrouver néanmoins dans la grande majorité des cas : cela est d'autant plus important que, comme on a pu le constater, les situations des états membres sont fort diverses et pour tout dire inégales face aux dispositions prises ou projetées. En outre, les conséquences de certaines mesures n'ont pas toujours été bien évaluées. On a souligné à cet égard l'étrange méthodologie qui consiste à fixer des objectifs ambitieux ou des procédures excessivement complexes et à s'inquiéter ensuite de leur faisabilité ou de leur validité (1).

Ces remarques et d'autres ne sauraient constituer une contestation du fondement de l'action communautaire, tout au contraire. Beaucoup a été fait, beaucoup est en cours et si beaucoup reste à faire les perspectives permettent d'être optimiste. Sans la communauté européenne et les initiatives de ses instances, on voit mal comment un ensemble d'actions aussi global et aussi ambitieux, mais fondé sur des mesures concrètes, aurait pu être décidé et engagé. Les accords au niveau du Conseil se révèlent souvent laborieux à établir mais l'expérience montre, dans le domaine de l'environnement tout au moins, qu'une fois acquis ils permettent des progrès effectifs et finalement profitables à terme pour tous.

---

(1) Lorsque l'ordre logique des opérations est respecté la qualité des résultats constitue un révélateur : la comparaison entre les directives "essence sans plomb" et la proposition portant sur les "grandes installations de combustion" fournit une comparaison éloquente.



C'est la raison pour laquelle la perennité d'un accord ne saurait être remise en cause. Ainsi, on peut constater avec regret le retard apporté par l'un des pays membres à la signature de l'accord laborieusement acquis le 28 juin dernier sur l'automobile. Il apparaît en effet, que le Danemark, puisque c'est de lui qu'il s'agit, invoque l'existence d'un accord qu'il a passé au début du mois de juillet 1985 à Stockholm avec des pays extérieurs à la Communauté (1) en vue de l'adoption pure et simple des normes américaines, pour retarder l'adoption officielle de la proposition de Directive. L'appartenance à la Communauté a ses exigences et l'on voit mal comment un de ses membres pourrait tirer argument d'un accord international concurrent à un projet communautaire adopté dans son principe et bloquer ainsi la décision tant attendue et en tout cas, en retarder la mise en oeuvre.

Le caractère global de la politique engagée par la Communauté face aux polluants impliqués dans la pollution atmosphérique à longue distance est illustré par l'existence de directives ou de propositions de directives dans les quatre principaux aspects des activités humaines les plus directement mises en cause par ce phénomène (automobile, carburants, combustibles, installations de grande combustion) ainsi que par des engagements sur l'élaboration avant la fin de la présente année de dispositions précises et concrètes sur la limitation de vitesse des automobiles (sur autoroute en particulier) et sur les émissions des moteurs diesels. On peut donc espérer là encore que cette politique communautaire évitera des mesures unilatérales qui comportent souvent des inconvénients tant pour les usagers que pour les industries.

#### - Raison garder

En l'absence d'une causalité scientifiquement établie et quantitativement mesurée entre les agents polluants incriminés et le phénomène du dépérissement forestier, il apparaîtrait déraisonnable que soient imposées des normes et/ou des procédés d'une sévérité telle qu'ils auraient les plus graves conséquences qui seraient les suivantes :

##### - Des coûts excessifs

Ce serait le cas pour les installations de combustion - avec une limitation maximale des émissions de NOx, qui exigerait des dispositifs de dénitrification en nombre important, - avec une obligation de mesure en continu des polluants - avec des normes d'émissions identiques pour toutes les centrales quelque soit le nombre d'heures de fonctionnement annuel (500 heures ou 7500 heures). Cela aurait été également le cas pour les petites cylindrées si l'exigence d'un pot catalytique pour toutes les voitures avait été concrétisée sur les véhicules tels qu'ils sont actuellement conçus.

- Une vulnérabilité, voire une perte d'autonomie pour des activités économiques essentielles avec l'automobile (injection, approvisionnement en platine), avec, dans une moindre mesure, l'énergie (pétroles peu soufrés) ;

L'acceptation de ces risques serait d'autant moins envisageable que certains de ces procédés ou normes sont discutables au regard de l'efficacité de la lutte contre la pollution (handicap excessif dont sont chargés certains combustibles moins polluants) et peuvent avoir des effets indirects indésirables

---

(1) Accord signé le 5 juillet entre l'Autriche, le Canada, le Danemark, la Finlande, le Liechtenstein, la Norvège, la Suède et la Suisse.

pour l'environnement ; on peut citer à cet égard les effets sur la santé d'une diésélisation accrue du parc automobile en l'absence de progrès technologique sur ce moteur et la production de quantités considérables de déchets (gypse etc..) par les installations de désulfuration des fumées.

**Il convient donc dans tous les cas de relier chaque mesure à l'impact que l'on en attend sur la pollution en valeur absolue et surtout en pourcentage, compte tenu de ses coûts et aussi de sa faisabilité.** Si cette considération de gros bon sens peut sembler naïve, les développements qui précèdent ont montré qu'elle n'est sans doute pas inopportune, compte tenu de certains acharnements manifestés en faveur de dispositions d'un faible bénéfice pour l'environnement à terme et encore plus dans l'immédiat.

Ainsi que cela a souvent été observé, il n'existe dans ce domaine aucune solution économiquement envisageable permettant la suppression à 100 % des émissions polluantes. Certains l'ont d'ailleurs involontairement montré en proposant tout récemment, "pour sauver les forêts", de porter le prix du super à 16 F et de fermer 75 % des établissements industriels(2)... Ici comme ailleurs, malgré les phantasmes et les peurs, il convient de garder raison.

---

(1) Cité par le Monde Mardi 17 Septembre 1985

## TROISIEME PARTIE

### COUTS ET AVANTAGES DE LA LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE A LONGUE DISTANCE

La pollution atmosphérique n'est pas un mal inéluctable, et elle n'est pas comme on l'a trop souvent admis par facilité la contrepartie obligatoire de l'industrialisation. La pollution peut et doit être combattue.

D'ores et déjà dans les pays occidentaux, les problèmes d'environnement relevant de sources localisées de polluants conventionnels (fumées, particules, oxydes d'azote et de soufre, hydrocarbures, etc.) sont pratiquement résolus. Certes, des accidents peuvent se produire dont les conséquences peuvent être graves, mais cela relève du domaine du risque.

Si les pollutions chroniques classiques ont été à peu près enrayerées, on assiste par contre à l'émergence d'une pollution qui se répartit à l'état de traces persistantes et cumulatives qui se déplacent sur de longues distances dans l'atmosphère.

Ces pollutions nouvelles semblaient avoir été masquées jusqu'à présent par le flux quantitativement beaucoup plus important des pollutions conventionnelles. Leur caractère agressif paraît en être renforcé.

La relation de causes à effets entre la pollution atmosphérique et l'état du patrimoine naturel ou culturel n'est pas clairement établie; et lorsqu'elle l'est, elle n'a pas la même qualité selon les situations géographiques et les éléments étudiés (forêts, cultures, lacs et cours d'eau, bâtiments et monuments historiques). Si les dommages sont envisagés selon les différents éléments cités précédemment, il est utile de prendre en compte leur degré de certitude :

- dommages certains, parce qu'ils sont déjà observés et que le lien avec la pollution atmosphérique n'est pas douteux ;
- dommages probables, des indicateurs précurseurs permettant de pronostiquer une évolution quasi-inéluctable à terme vers une situation dégradée.
- dommages possibles, les plus importants sans doute par leur volume, mais également les plus incertains, soit parce qu'ils supposent une évolution qui n'est pas acquise, soit encore parce que le lien avec la pollution atmosphérique n'est que partiel (rôle aggravant de la pollution atmosphérique face aux aléas climatiques notamment : sécheresse, froid,...).

Les incertitudes scientifiques, la diversité des dommages et leur évolution à des échéances plus ou moins rapprochées, les diverses politiques de l'environnement envisageables, conduisent à formuler plusieurs scénarios afin d'apprécier les enjeux liés à la réduction de la pollution atmosphérique diffuse. Ces scénarios tiendront compte des atteintes aux différents éléments du patrimoine et de la sévérité des normes restituées dans leur contexte géopolitique.

Si la mise en application des normes va entraîner des surcoûts pour la production d'énergie et la construction automobile, dans le même temps vont

se présenter des opportunités nouvelles pour certaines industries situées à l'amont : fournisseurs d'équipements et fabricants de pots catalytiques en particulier. Une démarche par filière permettra de restituer une vision globale des impacts économiques et d'apprécier ainsi les modifications de rapports de force entre les différents acteurs des filières induites par la mise en application des normes.

Le facteur temps apparaît comme étant essentiel dans cette analyse des dommages, et des impacts des normes sur les différentes filières. Pour l'industrie automobile, les impacts des normes se manifesteront à moyen et probablement plus encore à court terme. L'industrie du raffinage dispose de plus en plus de temps pour s'adapter. Les grandes installations de combustion se trouvent dans une situation intermédiaire entre l'automobile et le raffinage. Enfin, les dommages causés aux forêts sont par excellence le domaine du long terme.

Malgré les incertitudes qui subsistent il paraît quand même possible de commencer à évaluer le coût des dommages causés à l'environnement par la pollution atmosphérique. L'évaluation des conséquences financières qui découleront, pour les différents secteurs concernés, de la mise en place des mesures de lutte contre la pollution peut par contre se faire d'ores et déjà avec une plus grande précision. Il aurait été intéressant, en conclusion, de dépasser ces évaluations sectorielles, pour examiner les conséquences sur l'ensemble de l'économie et en particulier sur l'emploi du renforcement de la lutte contre la pollution atmosphérique, mais dans l'état actuel des connaissances, une telle étude ne peut que se limiter qu'à des réflexions générales et à des approches méthodologiques du problème.

## I - LES DOMMAGES CONSTATES ET POTENTIELS.

La comptabilisation des dommages subis par l'environnement est une donnée relativement récente. Pendant longtemps le patrimoine naturel a été en effet considéré comme inépuisable et donc en dehors de toute évaluation comptable.

Il faudra, en France, attendre l'année 1968 pour qu'un groupe d'experts auxquels s'était joint M. Bertrand de Jouvenel s'interroge sur la prise en compte des nuisances et des prélèvements sur le patrimoine naturel.

Des progrès notables ont été faits depuis et des dispositions ont été prises pour que soient établis, à côté de la comptabilité économique traditionnelle, des comptes du patrimoine naturel français.

Malgré ces progrès, l'évaluation des dommages subis par les éléments du patrimoine naturel reste très difficile, faute de connaissances suffisantes sur tous les éléments qui composent notre environnement. En effet si certains éléments "marchands", la valeur d'une forêt par exemple, peuvent être facilement chiffrés, qui serait capable d'évaluer l'agrément que peut apporter cette forêt à ceux qui vivent à proximité ou même à ceux qui la visitent de façon occasionnelle ?

Malgré ces difficultés, il faut persévérer et encourager les travaux qui pourraient permettre, à terme, de mieux prendre en considération les prélèvements et les dommages subis par le patrimoine naturel du fait des activités humaines. Cette meilleure connaissance de la valeur des dommages pourrait en effet permettre d'évaluer ensuite à leur juste prix les efforts faits pour sauvegarder ou remettre en état la Nature.

### 1° Les dommages aux forêts

A l'heure actuelle plusieurs régions françaises auraient leurs forêts atteintes par un dépérissement et de fortes présomptions conduisent à attribuer à la pollution atmosphérique à longue distance. Néanmoins comme le réseau d'observation actuellement opérationnel ne couvre pratiquement que les Vosges c'est surtout sur les forêts de ce massif que les évaluations des dommages peuvent être tentées.

Il existe une source d'informations sur le développement des arbres, il s'agit des inventaires forestiers réalisés à l'échelon départemental par l'I.F.N. (Inventaire Forestier National, dépendant de la Direction des Forêts). Deux inventaires successifs ont été réalisés en 1965-70 et 1975-80. Ils permettent alors de connaître et comparer les accroissements moyens annuels de la plupart des essences à dix années d'écart. L'accroissement annuel correspond au volume de bois produit par une forêt d'un hectare durant une année. L'analyse des inventaires a été réalisée sur un vaste domaine géographique comprenant les régions : Champagne-Ardenne ; Lorraine ; Alsace ; France-Comté et Bourgogne. (Cet ensemble sera appelé par la suite le Massif de l'Est). Cette seconde approche fournit donc les données complémentaires de celles de l'O.N.F., correspondant en partie à la zone d'extension du réseau.

Le Massif de l'Est est à priori plus sensible que les autres massifs forestiers français de par sa localisation géographique : il est situé à proximité des grands centres industriels français, mais aussi de ceux de nos voisins européens. Il n'est pas éloigné non plus des régions atteintes du Bade-Wurtemberg en Allemagne.

Selon certains experts forestiers, les signes de dépérissement constatés en France actuellement seraient analogues à ceux que l'on observait Outre-Rhin il y a deux ans : la France aurait donc un retard de deux ans dans "l'évolution du dépérissement".

Néanmoins, les situations françaises et allemandes ne sont pas identiques. En particulier, les méthodes de production pratiquées en Allemagne, plus intensives, et faisant appel à une monoculture poussée, rendent les arbres plus fragiles (notamment concernant l'appauvrissement des sols et la dissémination des maladies).

L'Allemagne a un climat océanique moins marqué qu'en France : d'une part, les forêts françaises bénéficient d'un air maritime moins pollué. D'autre part, l'Allemagne reçoit davantage les masses d'air polluées provenant des pays de l'Est (R.D.A. ; Tchécoslovaquie ; Pologne) du fait de son climat plus continental.

Enfin, certains points sont localement aussi atteints qu'en Allemagne (Col du Donon, Ballon d'Alsace), mais ont une étendue limitée. Dans l'ensemble, cette pollution, qui touche un vaste territoire, est diffuse et les dommages qui en résultent sont essentiellement des ralentissements de la croissance des arbres.

1°-1. La mesure du ralentissement de la croissance des arbres, un bon indicateur

Les dommages dus à l'action des divers facteurs de dépérissement des forêts sont de deux types :

- pertes dues aux arbres morts.

Ces pertes concernent les arbres "morts-secs" (selon l'échelle de l'O.N.F.) ayant totalement perdu leurs aiguilles ou feuilles. Il s'agit dans ce cas d'abattages sanitaires (10 % du total des abattages en Allemagne) qui n'ont pas de répercussion sur le marché du bois à ce jour, ni sur le revenu des exploitants forestiers. En France, en 1984, aucune perte de ce type n'a encore été enregistrée.

- pertes dues au ralentissement de la croissance des arbres.

Une telle évolution a été effectivement observée en France depuis le début des années 1970, et fait l'objet de la présente analyse.

La mesure du ralentissement de la croissance des arbres a pu être réalisée à partir de la comparaison des inventaires forestiers réalisés (pour les départements en ayant eu deux) à 10 ans d'intervalle (1974 et 1984). Ce travail a été réalisé avec précision sur les peuplements de résineux et de façon approchée sur les peuplements de feuillus. Les dommages sont considérés comme inexistantes en 1974. En 1974, la croissance des arbres était considérée comme normale (6,6 m<sup>3</sup>/ha/an pour les résineux en Lorraine) ; en 10 ans, elle a diminué de 10 à 25 % selon les régions (5,0 m<sup>3</sup>/ha/an pour les résineux en Lorraine).

Tous les inventaires n'ont pas été faits la même année, des calculs correctifs ont été réalisés afin de permettre des comparaisons aux deux dates retenues. Durant la période 1974-1984, le rythme de diminution des accroissements annuels a été supposé constant.

Régions	Accroissements (m <sup>3</sup> / ha / an) - Résineux -			(1000 x m <sup>3</sup> ) Volume de bois non produit (résineux et feuillus)
	1974	1984	TCAM(%) 1974/1984	
Champagne-Ardenne	3,8	3,5	-1,0	220
Lorraine	6,6	5,0	-2,7	2500
Alsace	5,8	4,2	-3,1	1260
Franche-Comté	7,4	5,6	2,8	2110
Bourgogne	6,0	5,4	-1,0	430
Massif de l'Est	6,2	4,9	-2,4	6520

TCAM : Taux de croissance annuel moyen

Source: BIPE

Le précédent tableau met en évidence que les régions étudiées sont très diversement touchées. Les peuplements de résineux sont plus atteints que ceux des feuillus (d'après les dernières observations). Les régions ayant de grandes surfaces en résineux sont donc plus pénalisées. A cela s'ajoute l'intensité des ralentissements de croissance qui semble plus élevée dans les régions frontalières de l'Allemagne. Ces deux facteurs se conjuguent dans le cas de la Lorraine par exemple.

Le volume de bois non produit sur la période 1974-84 atteint près de 6,5 millions de m<sup>3</sup>. Ce volume correspond au cumul année après année sur 10 ans du bois non produit par les forêts, les arbres "grandissant" moins vite. La Lorraine et la Franche-Comté totalisent plus de 70 % de ce volume.

1°-2. Les pertes de valeur patrimoniale du Massif de l'Est

Le rapprochement des pertes d'accroissement, d'une part, et des surfaces boisées (par département, puis par région) d'autre part, donne le volume de bois non produit par une forêt durant la période 1974-1984. Un prix moyen de 200F/m<sup>3</sup> de bois sur pied a été retenu, et supposé constant sur la période en première hypothèse. Le coût de cette perte cumulée depuis 1974 est actualisé (à 9 %) jusqu'en 1984. Ce dommage doit être considéré comme une perte sur la valeur patrimoniale du massif forestier (approche en termes de bilan).

Régions	Surfaces (en milliers d'hectares)			Perte cumulée de valeur patrimoniale (MF de 1984)
	Total	En résineux	En feuillus	
Champagne-Ardenne	645	102	543	50
Lorraine	838	257	581	600
Alsace	297	132	165	300
Franche-Comté	674	199	475	510
Bourgogne	936	129	810	100
Massif de l'Est	3390	816	2574	1560

Source: BIPE

Ces dommages représentaient en 1984, entre 1,5 et 2 % de la valeur patrimoniale du Massif de l'Est (estimée à 80 milliards de francs). Cette valeur prend en compte l'ensemble des espaces forestiers exploités, exploitables ou inexploitable pour des raisons économiques. Les forêts françaises étant sous-exploitées, l'émergence des effets du "mal des forêts" sur la production de bois est retardée. Néanmoins, la production et le revenu des forestiers pourraient cependant subir, à terme, les répercussions de cette évolution si elle se poursuivait au même rythme qu'actuellement.

Aux Etats-Unis, l'OTA qui avait demandé pour son étude (1) sur les pluies acides une évaluation des dommages potentiels que la pollution à longue distance pourrait entraîner dans les forêts a conclu qu'on ne pouvait pour le moment aborder ce problème que qualitativement. L'OTA a cependant recommandé de continuer les travaux pour être en mesure, le cas échéant de quantifier les éventuels effets de cette forme de pollution sur les arbres si ces effets venaient à être démontrés.

## 2° Les atteintes aux cultures

Comme cela a déjà été indiqué au chapitre 3° de la Première partie du présent rapport, les dommages causés aux productions agricoles par la pollution atmosphérique n'ont pas encore bien été élucidés. La majeure partie des études réalisées à ce jour portent sur les différences existant d'une espèce à l'autre en présence de polluants à de fortes concentrations qui déterminent des effets visibles (dommages aigus). Les efforts menés contre la pollution ont davantage permis de disperser les polluants que de réduire les émissions. L'abaissement du niveau de pollution, dans le voisinage immédiat des cultures et des sources d'émission, à des valeurs situées au-dessous des seuils nécrologiques ont pratiquement fait disparaître les effets aigus. Les recherches s'orientent maintenant vers les atteintes chroniques sur des végétaux éloignés des sources d'émission. Mais les relations causes-effets sont là aussi mal connues.

Les divers polluants ont, bien entendu, des effets toxiques sur les végétaux, mais ils peuvent aussi avoir des effets bénéfiques : certains oxydes d'azote sont des fertilisants ; le dioxyde de soufre peut combler des carences en soufre pour certains sols, ou avoir un rôle en tant qu'agent de lutte contre les parasites.

Les productions agricoles végétales proviennent en grande majorité de plantes cultivées et annuelles, qui sont ainsi moins sensibles aux retombées acides. En effet, leur caractère annuel les rend moins sujettes aux phénomènes d'accumulation de substances toxiques que les forêts. Ce sont des plantes cultivées, leur fertilisation est donc contrôlée : les excès de certains éléments ou leur carence sont alors corrigés. Ainsi, des apports de chaux sont fréquemment employés pour réduire l'acidité naturelle des sols.

Si le système foliaire des végétaux annuels n'a pas le temps d'être attaqué par les retombées acides, il n'en est pas de même pour les sols s'ils ne sont pas surveillés. En effet, leur acidification peut entraîner le lessivage de certains éléments (potassium, magnésium, calcium...) indispensable pour la croissance des plantes.

---

(1) Oak Ridge National Laboratory. An analysis of potential agriculture and forest impacts of long range transport air pollutants in Acid Rain O.T.A. 1984



D'autres facteurs indépendants de la pollution sont susceptibles de provoquer des variations de rendement plus fortes que celles entraînées par les retombées acides. Pour que la pollution entraîne une perte économique réelle, il faut que la quantité de produits agricoles utilisée ou mise sur le marché soit effectivement réduite. Or, les pertes liées aux intempéries, aux maladies, aux pratiques culturales inadaptées sont probablement élevées comparativement à celle attribuée à la pollution. Inversement, les pertes économiques que l'on peut imputer à la pollution pourraient être plus faibles que ne le laisseraient supposer les pertes de rendement (constatées au stade expérimental) qui lui sont dues.

Il n'existe pas pour le moment d'étude fiable permettant d'évaluer les éventuels dommages suivis par les cultures en France.

Cependant une étude (M.C. Jeffree, département de Botanique de l'Université d'Edimbourg), réalisée en 1981 au niveau européen, a permis d'évaluer les dommages annuels causés aux cultures par le dioxyde de soufre. Ces pertes sont estimées en 1976 à 2,1 milliards de francs pour l'Europe occidentale. L'Allemagne représente 39 % de cette perte ; le Royaume-Uni, 17 % : et la France, 14 %, soit près de 300 millions de francs par an. Il ressort de cette étude que, en France, les vignes et ces cultures permanentes représenteraient la moitié des dommages, car les cultures se trouvent surtout dans le midi, alors que la betterave sucrière, qui est principalement cultivée à proximité des centres industriels du Nord du pays subit un pourcentage de perte trois fois plus élevé que celui de l'ensemble des cultures.

Compte tenu des remarques faits précédemment, ce type d'évaluation doit être pris avec la plus grande prudence.

Aux Etats-Unis où les études sur ce sujet sont particulièrement développées grâce en particulier aux travaux du NCLAN des estimations assez précises et inquiétantes ont été avancées, l'OTA pour sa part estime que l'augmentation de l'ozone entraîne à elle seule une diminution de 6 à 7 % de la productivité de l'agriculture américaine.

### 3° L'acidification des lacs et cours d'eau

S'il est permis d'hésiter pour déterminer l'impact réel des "pluies acides" sur la végétation en particulier, et sur les sols dans une moindre mesure, il n'en est plus de même dans le cas de l'environnement aquatique. La plupart des sols reflètent les apports de l'atmosphère et les effets de l'érosion sur des milliers d'années, tandis que l'eau reflète la situation qui a prévalu dans le passé récent.

Les observations sur une longue période des lacs scandinaves, américains et canadiens, ainsi que des rivières à saumons de ce dernier pays, montrent que les "pluies acides" ont abaissé d'une manière importante le pH de milliers de lacs et rivières, attirant les communautés de phytoplancton et de zooplancton dans ces eaux, provoquant également la disparition de nombreux poissons. Les effets de ces destructions sont écologiques mais aussi économiques dans toutes les régions d'Amérique du Nord. En effet, la pêche sportive qui, à elle seule, alimente une industrie touristique évaluée à plusieurs centaines de millions de dollars, est directement menacée par la destruction biologique des eaux. En Scandinavie, le coût de la baisse de productivité des stocks de poissons d'eau douce est estimé à 28 millions de dollars par an en 1984 (O.C.D.E.), soit près de 250 millions de francs.

Pour lutter contre l'acidification des eaux douces, un vaste programme de chaulage a été entrepris en Suède. Depuis 1975, le coût total de cette opération a atteint 270 millions de francs.

La France semblait épargnée bien que les premiers indices d'acidification aient été signalés dans des ruisseaux de montagne dans les Vosges la suite de la fonte des neiges de l'hiver 1985.

Il faut remarquer que les sols développés sur des roches cristallines (grès, granite...) sont fréquemment rencontrés au Canada ou en Scandinavie ; et que par contre, en France, les sols développés sur des bassins sédimentaires (roches calcaires) sont plus abondants. Or, le pouvoir tampon de ces derniers est beaucoup plus fort : leur acidité (mesurée à partir du pH) varie peu lorsqu'un facteur extérieur (puie acide...) tend à la modifier. Ainsi, les éléments acide excédentaires contenus dans les sols cristallins ne sont pas ou peu neutralisés ; et par suite des effets de lessivage et de ruissellements, ils se retrouvent dans les lacs et cours d'eau.

#### 4° La corrosion et l'altération des bâtiments et monuments historiques

L'altération des matériaux, et la corrosion sont connues depuis longtemps sur les bâtiments qui ont toujours subi des phénomènes de vieillissement (remontées capillaires, infiltrations, effets du climat). Mais, brusquement, cete évolutin s'est accélérée. Les facteurs en cause sont, en particulier, l'urbanisation en modifiant l'environnement, mais surtout la pollution atmosphérique. Tous les matériaux de construction sont touchés par ces phénomènes mais de façon plus ou moins aigüe (les matériaux tendres ou riches en calcaire étant les plus sensibles).

De même, les poussières provenant du chauffage domestique, de la circulation automobile ou de certaines industries (cimenteries, usines d'engrais chimiques) contribuent à l'encrassement des façades et à leur altération en retenant l'humidité. Les couches extérieures noirâtres formées par le dépôt des poussières enlaidissent les façades des bâtiments, et constituent un élément étranger destructeur en favorisant les réactions chimiques acides, et les détériorations de nature physique (desquamation et alvéolisation de la pierre).

Les recherches menées actuellement conduisent à distinguer deux types de pollutions, sans que l'on puisse pour l'instant connaître leurs rôles respectifs :

- la pollution de proximité, caractéristique des villes, concentrée autour des sources d'émissions. On assiste à la création de micro-climats urbains pollués ;
- la pollution diffuse, provenant des grands centres industriels, et transportée sur de grandes distances.

L'évaluation des dommages causés aux bâtiments est souvent délicate, en particulier pour les édifices anciens où les matériaux de construction ont souvent été utilisés à des fins de décoration ou d'ornement. Ainsi, outre leur valeur intrinsèque, ces bâtiments ont une valeur culturelle non négligeable vu leur intérêt artistique. Il n'a pas été possible de connaître les coûts des dégâts causés aux monuments historiques ; ces monuments font souvent partie du patrimoine historique dont la valeur est inestimable. Néanmoins, on peut citer trois évaluations issues du rapport "MUNTINGH" sur les "pluies acides" :

- la restauration de la tour Nord-Ouest de la Cathédrale Saint-Paul à Londres : 300.000 livres (3,5 millions de francs) ;
- les dommages causés à la Cathédrale de Cologne coûtent 6 millions de DM/an (18,5 millions de francs/an) ;
- ceux aux Pays-Bas sur les monuments historiques : 30 millions de florins/an (82 millions de francs/an).

Le coût des dommages causés aux bâtiments par le dioxyde de soufre a été évalué pour l'ensemble de la communauté européenne entre 540 et 2.700 millions de dollars/an (entre 4,7 et 23,6 milliards de francs/an).

L'Agence de protection de l'environnement aux Etats-Unis a calculé que les "pluies acides" entraînaient une perte de 5 milliards de dollars par an (plus de 40 milliards de francs par an. Ils ont été appréhendés à partir des dépenses de ravalement engagées.

Une importance toute particulière devrait être donnée à la surveillance des effets de la pollution atmosphérique à longue distance sur les bâtiments. Même si ses effets ne sont pas encore prouvés il ne faut pas oublier qu'ils pourraient éventuellement affecter définitivement des monuments de grande valeur situés en milieu rural.

#### 5° Trois scénarios sur l'évolution des effets de la pollution à longue distance

A la demande de l'Office, le Bureau d'information et de prévision économique a tracé trois scénarios de l'évolution possible des atteintes à l'environnement en fonction des mesures prises mais aussi en fonction des différents hypothèses scientifiques actuellement proposées.

##### a) Le scénario de "déclin"

L'ensemble des polluants acides agissent en synergie, cependant les oxydes d'azote et les photooxydants sont les plus toxiques. La France et l'ensemble des pays européens prennent des mesures anti-pollution indépendamment les uns des autres.

En particulier, la France poursuit les efforts entrepris pour réduire les émissions de dioxyde de soufre dans l'industrie, conjointement au développement de l'utilisation de l'électricité nucléaire, au détriment du pétrole et, dans une moindre mesure, du charbon.

La crise dans l'industrie automobile se développant, ce secteur n'anticipe pas et n'innove pas en matière de pollution sur les véhicules ; seules les premières normes européennes sur les grosses cylindrées sont appliquées. Les voitures de petite cylindrée, qui représentent la grande majorité du parc automobile, ne sont pas ou peu équipées de systèmes antipollution. En conséquence, la pollution par les oxydes d'azote se poursuit, et les dommages s'aggravent, au point d'atteindre le seuil de l'irréversibilité.

Par la suite, le secteur automobile entre dans une crise plus profonde puisque les voitures françaises destinées à l'exportation ne correspondent pas aux normes adoptées dans les pays voisins (Allemagne en particulier). Finalement, cette politique se retourne contre les intérêts que la France comptait sauvegarder.

**b) Le scénario d' "indépendance"**

Les oxydes de soufre ont un rôle prépondérant dans les mécanismes d'acidification de l'atmosphère ; les oxydes d'azote s'avèrent avoir un rôle plus marginal ; ils ne représentent que 30 % des émissions totales de polluants.

Comme précédemment, la France mène une politique indépendante très active de lutte contre les émissions d'oxydes de soufre ; et le secteur automobile est relativement épargné, les mesures communautaires sont appliquées sans les anticiper.

Les dommages dans leur ensemble continuent de s'aggraver, mais cette évolution se ralentit nettement par la suite. La situation est réversible.

Par ailleurs, si le facteur responsable des "pluies acides" est trouvé, ses effets semblent plus limités qu'il ne le laissait prévoir. Les dommages directement liés à la pollution seraient relativement marginaux, par rapport à ceux causés par les divers aléas climatiques de ces dernières années. Les forêts retrouvent leur croissance de 1980 à l'horizon 2000.

**c) Le scénario de "concertation"**

Les oxydes d'azote et de soufre agissent en synergie ; néanmoins, selon les pays européens, l'un ou l'autre de ces polluants tient une place importante dans les émissions totales. Ainsi, la France est plus particulièrement concernée par les émissions d'oxydes d'azote du fait de la place de l'industrie automobile dans l'économie de ce pays ; et l'Allemagne, par les oxydes de soufre, du fait de son industrie lourde.

Les mesures communautaires en faveur de l'environnement sont suivies mais, de plus, des actions concertées sont entreprises de façon à ce que chaque pays agisse sur son point faible en matière de pollution.

Le processus d'aggravation des dommages est maîtrisé ; ceux-ci continuent cependant de s'accroître par suite d'effets d'inertie : la pollution diminue progressivement. Les forêts retrouvent leur croissance normale (niveau de 1970) à l'horizon 2000.

\* \*

\*

Une étude sur les coûts entraînés par la pollution atmosphérique à longue distance ne peut être à l'heure actuelle que très embryonnaire. Les comptes de patrimoine n'en sont en effet qu'à leurs débuts et les hypothèses scientifiques qui devraient permettre de faire la corrélation entre les atteintes à l'environnement et cette forme de pollution sont loin d'être encore toutes vérifiées.

Il ne faudrait cependant pas que cette impossibilité de procéder à une évaluation économique précise des dommages causés par la pollution atmosphérique à longue distance puisse servir d'alibi pour refuser ou retarder les mesures de réduction des émissions de polluants.

Certaines atteintes aux forêts, aux monuments et surtout à la santé humaine ne sont peut-être que potentielles mais elles peuvent être aussi irréversibles et irréparables.

## II - COUTS ET IMPACTS SECTORIELS DES MESURES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE À LONGUE DISTANCE

Face à des dommages encore très largement potentiels ou même incertains il existe déjà toute une série de mesures dont le coût est en revanche inévitable et certain.

Bien entendu une analyse coût/bénéfice comme on en fait dans les autres secteurs n'était pas faisable car rappelons-le, il n'est pas possible en matière d'environnement ou de santé humaine de faire de pari.

Des mesures de limitations de la pollution devraient donc être prises mais il aurait été souhaitable qu'elles soient accompagnées d'études permettant de la préciser :

- quel sera le coût de chacune des mesures,
- qui en supportera la charge,
- quels en seront les effets sur les secteurs économiques concernés.

La valeur d'un élément de l'environnement s'évalue en fait par le prix qu'une société accepte de payer pour le protéger. Encore faut-il qu'elle soit informée de l'effort qui va lui être demandé.

### 1° Les répercussions sur la production électrique et l'industrie

Les éléments de coûts indiqués dans la deuxième partie du présent rapport ont permis d'approcher les conséquences pour les principaux pays de Communauté, la France notamment, des dispositions actuellement en cours d'élaboration. On précisera très brièvement ici les incidences de la directive relative aux grandes installations de combustion sur l'équipement électrique et la compétitivité du charbon.

#### 1°-1. L'équipement électrique

L'appareil de production électrique, entre 1992 et l'an 2000, avec une hypothèse de consommation intérieure d'électricité de 370 TWH en 1990 et 510 TWH en 2000, devrait s'agrandir avec la mise en service de 17 tranches au charbon de 600 MW et 13 tranches nucléaires en l'absence de réglementation.

Si une désulfuration des fumées de 50 % (1) était adoptée (ce qui ne permettrait pas de respecter les normes de la proposition de directive), les perspectives d'investissements seraient alors de 9 tranches du charbon de 600 MW et de 18 tranches nucléaires.

Enfin, si l'on veut rester dans la même enveloppe financière (environ 204 milliards de F pour la totalité des investissements de cette période, tout en respectant les prescriptions contenues dans les normes de la proposition de directive, on constate une répartition toute autre des équipements (2) :

---

(1) Par injection de chaux dans la chaudière du type de celle qui se pratique à Gardanne

(2) Coût d'investissement de 5860 F pour le charbon, 8040 F pour le nucléaire, 2870 F/KW pour les turbines à gaz, et 1190 F/kw pour la désulfuration.

- 2 tranches (600 MW chacune) pour le charbon,
- 18 tranches (1300 MW chacune) pour le nucléaire,
- 24 tranches (100 MW chacune) pour des turbines à gaz (fonctionnant au fioul).

Il doit être rappelé que ces calculs ne prennent en compte que les exigences des normes relatives aux émissions de  $\text{SO}_2$  et non celles des  $\text{NO}_x$ . Si, au delà du recours à des processus permettant la réduction des  $\text{NO}_x$  au stade de la combustion (brûleurs à bas  $\text{NO}_x$  etc.), on devait avoir recours à la dénitrification des fumées, il est clair que cela retarderait, pour le moins, la construction de nouvelles centrales au charbon.

### 1°-2. La compétitivité du charbon

Des considérations d'ordre écologique ont souvent été avancées pour ne pas remplacer le pétrole dans les centrales électriques par le charbon. Plutôt que des considérations d'ordre écologiques, ce sont des raisons économiques qui jouent le plus en faveur de l'utilisation de ce combustible.

Une comparaison entre le charbon, le pétrole et l'énergie nucléaire a été réalisée aux Etats Unis (Environmental Protection Agency) pour la production d'électricité. En conclusion de cette étude, il apparaît que les avantages économiques du charbon devraient, dans la plupart des cas, être plus importants que ceux du pétrole, même si les nouvelles chaudières au charbon doivent être équipées de dispositifs d'épuration des rejets.

Par ailleurs, l'offre mondiale de charbon est généralement excédentaire, mais les réserves de charbon à faible teneur en soufre (inférieure à 0,7 %) ne s'avéreront peut-être pas suffisantes pour satisfaire la demande potentielle. Quand le charbon a une faible teneur en soufre et satisfait aux normes relatives aux émissions, il est généralement la solution la plus avantageuse. Plus généralement, si les coûts de la protection de l'environnement se révèlent plus élevés pour une centrale au charbon que pour une centrale au fioul lourd, le coût global de la production d'électricité apparaît plus faible pour la première que pour la seconde. Aux Etats-Unis, le coût de l'électricité produite dans une centrale neuve au charbon, équipée d'un dispositif de désulfuration des gaz brûlés, atteindrait environ 60 % du prix de celle produite dans une centrale neuve au fioul. Dans ce pays, le charbon garde son caractère compétitif par rapport aux autres combustibles, en tant que matière première pour la production d'électricité ; cette situation est sensiblement différente en France qui doit faire appel à l'étranger pour assurer une partie de ses approvisionnements.

### 1°-3. Les exigences économiques

Les problèmes qui ont été évoqués rappellent, si besoin en était l'insertion des mécanismes de la Directive dans un ensemble de données économiques nombreuses, complexes et fluctuantes. Parmi celles-ci on peut citer encore la nécessité de préserver une autonomie énergétique de chacun des pays et de la Communauté dans son ensemble, donc aussi le maintien dans certains cas d'une diversité des sources. La politique communautaire actuelle d'encouragement à la consommation de charbon est bien entendu concernée.

Le risque d'un accroissement de la demande d'énergie à la fin de la précédente décennie et le retour, au même moment, d'une offre de pétrole plus soufré sont également à prendre en compte.

La production de résidus par les procédés de combustion comprenant l'introduction de substances calcaires doit être sérieusement prise en compte. On remarque que rien n'est prévu dans la directive pour faire face à ce problème dont les dimensions seront considérables. On se trouve là dans une situation classique dans le domaine de l'environnement : la résorption d'une pollution génère une autre forme de nuisance ou de déchet. Or le secteur du plâtre sera bouleversé par la production inévitable de déchets qui risquent d'être de ce fait difficilement valorisables.

Les choix qui peuvent être formulés entre les différentes filières de dépollution ont naturellement des conséquences économiques pour les états membres. Il conviendrait là aussi que ces implications soient prises en compte au niveau européen et qu'une promotion rationnelle de la production communautaire soit recherchée faute de quoi la lutte contre la pollution risquerait d'être à la fois non créatrice d'emplois et lourde pour le commerce extérieur.

## 2° L'impact des normes sur la filière automobile

### 2°-1. L'industrie automobile

- Le développement de nouveaux moteurs après une période de transition.

Le développement de l'utilisation des convertisseurs catalytiques trois voies et l'utilisation de l'essence sans plomb qui y est associée vont nécessiter la mise au point de nouveaux moteurs.

Ces moteurs auront, dans la mesure où l'indice d'octane du carburant ne serait pas relevé par l'utilisation d'adjuvants, des taux de compression plus bas.

Afin d'assurer le maintien des performances des véhicules, on devra, dans de nombreux cas, augmenter la cylindrée de ces moteurs et réajuster la transmission. Une telle refonte des groupes moto-propulseurs ne sera pas réalisée avant 4 à 5 ans, dans le cadre des nouveaux modèles sortant à cette époque-là. Cependant il faut noter que la firme Mercedes-Benz a déjà entrepris cette action sur les moteurs de ses modèles de gamme haute.

D'ici-là, la baisse de l'indice d'octane se traduira sur les voitures neuves, en attendant la sortie des nouveaux modèles, par un réglage du taux de compression et de l'avance à l'allumage. Les performances de ces véhicules seront moins bonnes. Le coût de l'adaptation d'un véhicule à un indice moyen d'octane de 95 a été évalué à 50 F.

Les matériaux nouveaux pour la fabrication des sièges des soupapes ne devraient pas être généralisés avant trois ou quatre ans.

Enfin, il faut noter que l'évolution liée à l'utilisation du convertisseur catalytique trois voies qui induit une certaine surconsommation de carburant va à l'encontre des recherches menées notamment en France sur la réduction de la consommation spécifique des moteurs( programme moteur trois litres) par une évolution de l'aérodynamisme et du poids des matériaux utilisés.



- Les modifications du marché.

L'introduction de l'essence sans plomb conduira probablement à une modification du marché automobile.

- Dès 1988, date de l'application des premières mesures sur les véhicules de plus de 2 litres de cylindrée, on assistera à la fois à un report des achats sur le marché de l'occasion et à un report des achats dans le temps, aboutissant globalement à une baisse du nombre des immatriculations.

- Puis, au fur et à mesure de la mise en application des normes, les achats des voitures neuves traduiront un report intergammes, et une baisse de la demande.

Le BIPE a réalisé dans le cadre des dernières normes adoptées un calcul des reports de la clientèle d'une cylindrée vers une autre à l'horizon 1995.

Cette analyse est fondée sur la comparaison d'une situation de référence en 1995 (poursuite des tendances actuelles en l'absence de toute réglementation), à une situation nouvelle tenant compte des mesures de lutte contre la pollution.

La clientèle des voitures de petite cylindrée (inférieure à 1,4 l) sera globalement peu affectée dans la mesure où les reports de cette catégorie vers le marché de l'occasion seront pratiquement comblés par les reports provenant de la clientèle des voitures de moyenne cylindrée (1,4 à 2 l).

Cette dernière est la plus touchée pour la raison précédemment citée mais aussi du fait des reports vers les voitures Diesel. Ainsi les conséquences sur la déformation de la structure des marchés pourraient se révéler peu préjudiciables aux constructeurs français bien positionnés sur les marchés du Diesel et des moteurs de petite cylindrée.

**Modifications prévisibles du marché automobile**

de la clientèle des cylindrées	Report vers les cylindrées	<1,4l	1,4 à 2 l	<2 l	Diesel	Occasion	Total référence 1995
< 1,4l		49			2	6	57
1,4l à 2l		5	17,5		3,5		26
> 2l			0,5	1	0,5		2
Diesel					15		15
Total		54	18	1	21	6	100

Estimation: BIPE

La baisse de la demande devrait être proche de 6 % par rapport à la situation de référence. Toutefois, la compétitivité des constructeurs français se maintiendra dans la mesure où ils occuperont près de 64 % du marché national.

Le BIPE a réalisé un compte emplois-ressources de l'industrie automobile française tenant compte de ces mouvements de la demande.

**Compte emploi ressources de l'industrie automobile française**

En milliers d'unités

	1984	1990	1995	% 1995/référence
Immatriculation :	1758	2050	2110	-6%
dont :				
- Marques françaises	1127	1290	1340	-6%
- Marques étrangère	631	760	770	-6%
Part du marché national (%)	64	63	64	-
Exportations	1530	1700	1800	-3%
Production	2713	2990	3140	-3%

Source : BIPE

**2°-2. Les conséquences sur la stratégie des constructeurs**

**2°-2-1. Une anticipation progressive pour adapter l'offre**

L'élément déterminant pour chaque constructeur réside dans sa capacité d'anticipation sur cette évolution de la demande, mais aussi dans sa capacité financière et industrielle à lui adapter son offre. Ce qui implique notamment l'accélération du renouvellement des gammes et l'intensification du lancement de nouveaux modèles.

Cette situation va conduire les constructeurs à réaliser de nouveaux investissements qui seront de deux ordres :

- D'une part, ceux liés à la mise en conformité des nouveaux véhicules qui sortiront à partir de 1988 (cylindrées supérieures à 2 l) et de 1991 (cylindrées comprises entre 1,4 et 2 l) en les adaptant aux dispositifs antipollution représenteront pour les deux groupes français un coût de un milliard de francs,

- D'autre part, ceux liés à la conception et à l'industrialisation de nouveaux moteurs optimisant les nouvelles conditions de fonctionnement représenteront un coût de 2,5 milliards de francs par moteur. Etant donné qu'il y a trois familles de moteurs pour chacun des deux constructeurs français, l'investissement nécessaire au renouvellement complet des moteurs sera de 7,5 milliards par groupe. Cependant, la réglementation antipollution accélère le processus de renouvellement des moteurs et, par conséquent ne fait qu'anticiper cet investissement qui ne peut donc lui être totalement imputé.

Divers pays étrangers tels que les Etats-Unis et surtout le Japon ayant adopté plus tôt des normes plus sévères qu'en France seront placés dans une situation compétitive plus favorable. Ayant pris de l'avance en matière de dépollution, ils sont susceptibles d'avoir des surcoûts moins importants.

Ceci est d'autant plus vrai que depuis plus de dix ans, les constructeurs français s'orientent vers la conception de modèles économes en énergie. La nécessité de fonctionner en mélange stoechiométrique induite par le convertisseur catalytique trois voies va à l'encontre de cet atout commercial important.

#### 2°-2-2. La nécessité d'une standardisation progressive de la production

Les critères d'économies d'échelle et de standardisation vont devenir plus que jamais très importants pour la compétitivité de l'industrie automobile.

Les constructeurs s'orientent actuellement vers une différenciation des modèles de plus en plus basée sur la carrosserie et la ligne du véhicule, et de moins en moins sur le moteur.

Une telle évolution pourrait rendre plus rentable la généralisation d'un dispositif de dépollution plus coûteux sur un plus grand nombre de voitures que de travailler au cas par cas en prenant le dispositif minimum.

La réglementation antipollution risque de renforcer ce processus de standardisation dans la mesure où les investissements nécessaires devront être compensés par des économies d'échelle sur le groupe moto-propulseur. Il est probable que ces mesures aboutiront au renforcement des accords industriels qui sont déjà importants entre les constructeurs pour la réalisation des moteurs.

Des investissements supplémentaires liés à l'adaptation de l'appareil de production seront rendus nécessaires par la modification de la structure du marché. Les constructeurs vont mettre en oeuvre une politique destinée à atténuer les reports intergammes. Un système de péréquation des prix des voitures permettrait de réajuster les surcoûts entre les modèles de bas de gamme, les plus pénalisés, et ceux de haut de gamme peu pénalisés.

Cette situation associée à la solution "bicarburant" (commercialisation du super et de l'ordinaire sans plomb) peut permettre le maintien de la compétitivité de l'industrie automobile française. Des véhicules de haut de gamme, très performants et porteurs d'une certaine avance technologique, peuvent alors être commercialisés. Ceux-ci, même peu diffusés, créent un effet d'entraînement sur la vente des autres véhicules de la marque.

**2°-3. Les industries de l'équipement automobile : un risque de dépendance pour la France**

**2°-3-1. Le marché des convertisseurs catalytiques trois voies**

- L'évolution de la demande

Les pays européens sont encore sous-équipés et offrent un marché potentiel important. Les mesures de lutte contre la pollution automobile créeront une forte demande en catalyseurs mais aussi en supports et en pots d'échappement. Cette demande peut être estimée à l'horizon 1990 selon les pays de la façon suivante :

**Marché des pots catalytiques**

En milliers d'unités

Pays	1983	1990	TCAM (1)
R.F.A	240	2000	35 %
Grande-Bretagne	40	400	39 %
Italie	40	250	30 %
France	80	850	40 %
Divers	100	800	35 %
Total Europe	500	4300	36 %

(1) Taux de croissance annuel moyen

**Source : BIPE**

**Marché européen des supports de catalyse en monolithes de céramique**

millions de francs 1984

Pays	1983	1990	TCAM
R.F.A	120	1330	41 %
Grande-Bretagne	20	340	50 %
Italie	20	200	39 %
France	35	520	47 %
Divers	45	550	43 %
Total Europe	240	2940	43 %

Source : BIPE

**Marché européen des supports de catalyse en billes d'alumine**

millions de francs 1984

Pays	1983	1990	TCAM
R.F.A	65	280	23 %
Grande-Bretagne	10	50	26 %
Italie	10	50	26 %
France	30	180	29 %
Divers	40	110	16 %
Total Europe	155	670	23 %

Source : BIPE

- L'offre : l'avance technologique des concurrents étrangers

Dans ce domaine, l'avance technologique des marques étrangères est très importante.

La production de pots catalytiques est assurée par trois types d'entreprises correspondant aux niveaux de la filière : les fabricants, les imprégnateurs de supports et les assembleurs de pots.

#### Les fabricants de supports

Supports	Fabricants
Monolithes de céramique	CORNING (Etats-Unis) NGK (Japon)
Billes d'alumine	RHONE-POULENC (France) WR GRACE (Etats-Unis) TOYOTA (Japon) NIKKI CHEMICALS (Japon - Etats-Unis)

Sur le marché des monolithes de céramique, Corning et NGK détiennent pratiquement la totalité des marchés américains et japonais. La société Corning va développer ses activités vers l'Europe avec l'achèvement, en juin 1989, d'une unité de production de monolithes de céramique en Allemagne Fédérale dont la capacité annuelle de production serait de 3,5 millions de supports. Par ailleurs, la société Hoechst va également intervenir sur ce marché à partir de 1986 par l'intermédiaire de sa filiale Hoechst-Ceramitec (après rachat de la société Rosenthal). La capacité de production de cette nouvelle unité sera de l'ordre de 1,5 millions de supports par an.

Sur le marché des billes d'alumine, les sociétés W.R. Grace et Rhône-Poulenc se partagent respectivement 55 % et 45 % du marché américain. Rhône-Poulenc est aussi présent sur le marché japonais en en détenant 20 %, en concurrence avec Nikki Chemicals (40 %) et Toyota (40 %).

- Les imprégnateurs de supports :

Les plus importantes firmes de commercialisation et de transformation des métaux précieux interviennent dans le domaine de l'imprégnation des supports. Sur le marché européen, Procatalyse (filiale à part égale de Rhône Poulenc qui fournit l'alumine, et de l'Institut Français du Pétrole), déjà spécialisée dans les catalyseurs pour le raffinage et la pétrochimie arrive devant Johnson-Matthey et Engelhard. Procatalyse a équipé 500.000 véhicules aux Etats-Unis. Dès 1986, cette société qui ne produisait que des catalyseurs à billes, va développer des catalyseurs en monolithes céramique. Sur le marché américain, Johnson-Matthey est le plus important.

### Les imprégnateurs de support

Sociétés	Imprégnation	
	De monolithe de céramique	De billes d'alumine
Procatalyse (France)		X
Johnson Matthey (GB)	X	
Engelhard (USA)	X	X
Degussa (RFA)	X	X

#### - Les assembleurs de pots :

L'incorporation des supports imprégnés est faite dans des pots d'échappement spécialement étudiés. Cette opération d'assemblage conduit actuellement au développement de deux stratégies différentes :

- aux Etats-Unis, l'assemblage est intégré dans la fabrication des constructeurs automobiles : General Motors fabrique ses propres pots,
- En Europe, l'assemblage est effectué chez les équipementiers automobiles. La Société des Cycles Peugeot est le premier fabricant européen avec une production de 7,5 millions de pots d'échappement classiques par an.

#### 2°-3-2. L'injection électronique

##### - le marché

Le marché de l'injection électronique est appelé à connaître un développement important dans les prochaines années. Outre les progrès technologiques qu'elle apporte (limitation de la consommation, confort de conduite), elle est rendue obligatoire par l'installation d'un convertisseur catalytique trois voies. La technologie des moteurs à mélange pauvre obligera également d'y avoir recours dans la mesure où leur fonctionnement impose une précision accrue du dosage air/essence.

**Taux d'équipement du marché français de l'automobile en injection électronique**

Classe des cylindrées	1984	1990	1995
> 2 l	50 %	100 %	100 %
1,4 l à 2 l	20 %	40 %	100 %
< 1,4 l	-	25 %	40 %
Total véhicule à essence	7 %	25	60 %

Estimation : BIPE

**Nombre de systèmes d'injection installés sur la production française**

(en milliers de systèmes)

	1984	1990	1995	TCAM (%)	
				1984-90	1990-95
Nombre de systèmes	100	600	1700	35	23

Estimation: BIPE

En 1995, les systèmes d'injection mécaniques, qui représentent près de la moitié du marché actuellement, devraient avoir complètement disparu au profit des systèmes électroniques. De plus, le marché des composants électroniques destinés à l'automobile étant en pleine expansion, le prix de l'injection électronique va donc fortement décroître accélérant ainsi le processus de diffusion.



- L'offre : le retard de la France

Le leader mondial de l'injection électronique est la firme allemande Bosch, qui est la seule avec General Motors à pouvoir fabriquer et commercialiser des systèmes complets (capteurs, calculateurs et injecteurs). L'avance de Bosch dans le domaine de l'injection se situe, d'une part, au niveau technologique et, d'autre part, au niveau industriel, l'injection électronique étant une industrie à haute intensité capitaliste. Les investissements de Bosch dans cette activité sont passés de 830 millions de francs en 1984 à 1,2 milliard de francs en 1985 dont 125 millions en France, la firme allemande se préparant à ouvrir une unité de production de systèmes d'injection en France.

Maitrise industrielle de l'injection

Composants	Sociétés
Capteurs Calculateurs Injecteurs	Bosch General Motors Bosch General Motors -Renix Bosch General Motors
Mise au point / intégration	Bosch General Motors-Solex Renault- PSA

Source : BIPE

Deux firmes françaises, Renix et Solex ont une activité dans ce domaine.

Renix, créé par Renault et Bendix qui possédaient respectivement 51 % et 49 % du capital, est désormais passé sous le contrôle de la société américaine Allied. C'est le seul constructeur sur le territoire national à fabriquer les commandes électroniques d'injection.

Le retrait de Renault a été expliqué par la nécessité d'ouvrir la clientèle de Renix, les autres constructeurs automobiles hésitant, semble-t-il, à travailler avec une société trop intimement liée avec l'un de leurs concurrents.

On peut penser que Renix pourra trouver, dans cette nouvelle situation la clientèle qui lui permettra de se développer face à Bosch.

Solex qui appartient au groupe Matra, est le premier groupe européen de fabrication de carburateurs.

Cette firme a mis sur pied des équipes de mise au point de systèmes d'injection.

On a pu apprécier, lors du dernier salon Equip'auto, les efforts de cette firme pour demeurer dans le peloton de tête des spécialistes de l'alimentation des moteurs.

Solex a présenté en effet un système d'injection monopoint adapté aux moteurs de conception récente et notamment équipé d'un catalyseur trois voies fonctionnant au carburant sans plomb.

Ce système devrait pouvoir équiper des véhicules dès 1987.

Pour les moteurs de petite et moyenne cylindrée, Solex propose une solution sensiblement plus économique autorisant également le montage d'un pot catalytique : un carburateur à pilotage par calculateur électronique en boucle fermée c'est-à-dire avec une sonde "lambda". Ce carburateur devrait coûter environ 30 % plus cher qu'un carburateur classique mais 30 % moins cher que l'injection monopoint.

#### Part du marché national de l'injection électronique et de ses composants

Sociétés	Part du marché national
Bosch	80 %
Renix	15 %
Solex	5 %
Total	100 %

Source : BIPE

Cependant, dans ce domaine de l'injection électronique, la répartition des parts de marché est relativement complexe. En effet, un système d'injection électronique est constitué d'une douzaine de composants électroniques ou mécaniques. Sur le marché mondial seul Bosch intègre la fabrication de l'ensemble de ces éléments ; de plus, cette firme a pratiquement le monopole européen de la fabrication des injecteurs (éléments de micro-mécanique usinés exclusivement dans le Bade-Wurtemberg).

Ce marché, est actuellement très concentré autour de Bosch qui bénéficie de son avance technologique acquise en Allemagne où pratiquement 50 % des véhicules sont munis d'un système d'injection contre 7 % en France. Il faut noter que l'injection électronique équipe surtout les voitures de haut de gamme : 12 % des immatriculations en RFA concernaient en 1983 des véhicules à essence de plus de 2 litres contre 3 % en France.

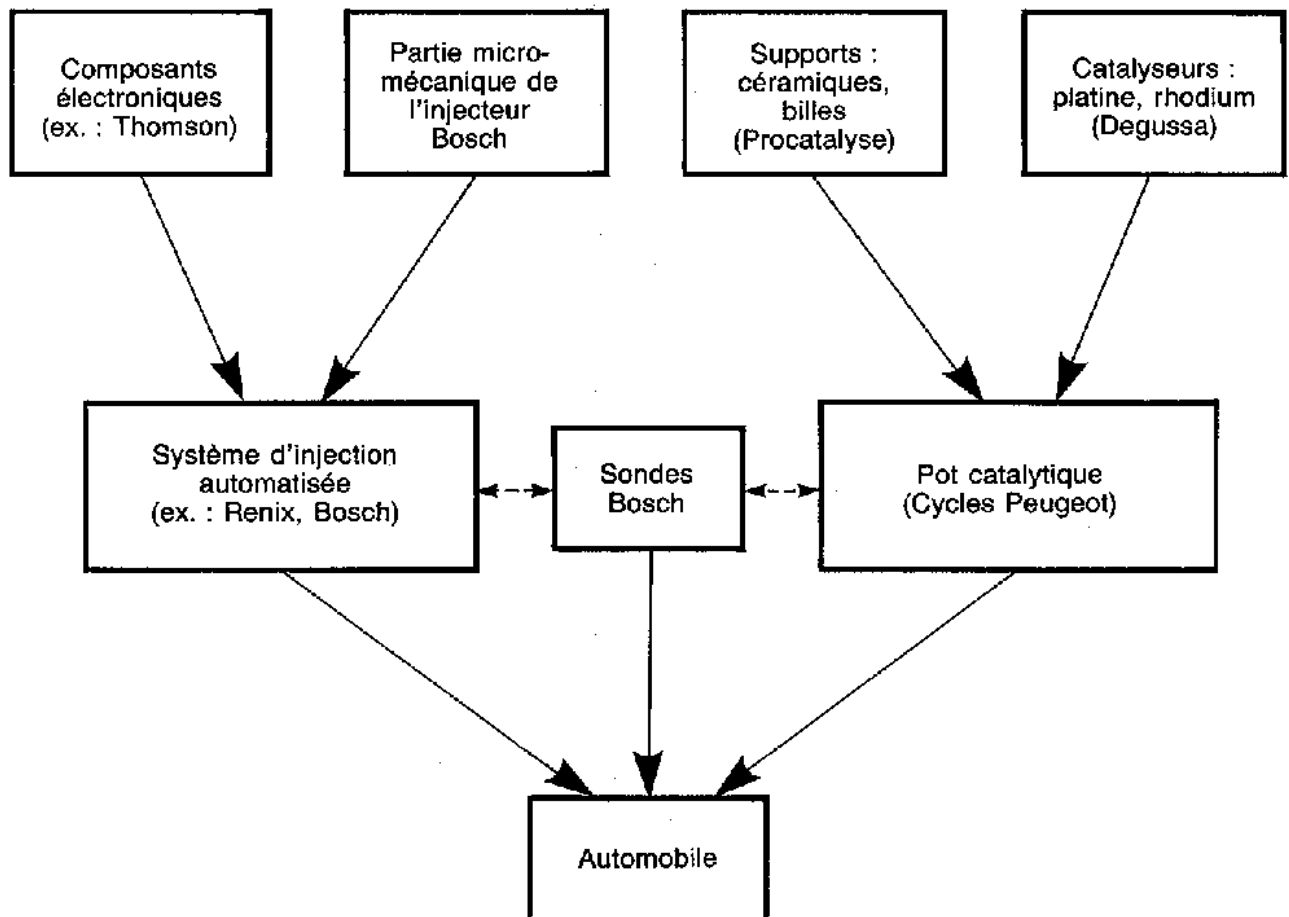
2°-4. La place grandissante des équipementiers dans la filière automobile

L'introduction de l'essence sans plomb constitue un défi supplémentaire pour la construction automobile nationale, actuellement en position difficile.

Ce défi technologique illustre la croissance de la place que vont occuper les équipementiers sur la filière automobile. A terme une part plus importante de la valeur ajoutée ira aux équipementiers spécialisés et aux fournisseurs de composants électroniques.

Il est donc nécessaire que l'industrie nationale investisse assez rapidement dans ce domaine, faute de quoi l'on pourrait assister à une évolution défavorable du commerce extérieur de la filière.

**Organisation de la filière automobile**



source: BIPE

### 3° Impacts sur l'industrie pétrolière

On a examiné, dans la deuxième partie du présent rapport, les conséquences prévisibles de la suppression du plomb pour les activités pétrolières (raffinage et distribution); de même ont été évoqués les effets des mesures visant les grandes installations de combustion par ce qu'elles impliquent comme action le pétrole en tant que combustible industriel.

On se propose ici de donner quelques indications générales sur le "paysage" économique et technique dans lequel les évolutions précitées viendront s'inscrire.

#### 3°-1. Les tendances actuelles de l'évolution de l'industrie pétrolière

##### 3°-1-1. Le déclin de la demande de pétrole

Depuis le premier choc pétrolier, la politique énergétique de la France a été profondément modifiée, aboutissant à une diversification de ses sources d'approvisionnement et à une réorientation vers la production nucléaire. Ce contexte de crise économique a donc pour conséquence un déclin de la demande en pétrole (et plus particulièrement en coupes lourdes), conduisant à une sous-utilisation de la capacité de raffinage. Le taux d'utilisation de la capacité de distillation atmosphérique s'est ainsi établi pour la France à 65 % en 1984, contre 88 % en 1973.

Cette faiblesse de la demande en pétrole est liée d'une part au ralentissement de l'activité économique (croissance très faible), et d'autre part aux économies d'énergie réalisées par l'ensemble des secteurs en lien avec le développement de l'utilisation de l'électricité d'origine nucléaire. Ainsi, l'électricité devrait assurer 37 % de nos besoins en énergie primaire dès 1990, à égalité avec le pétrole. Ceci se traduit par une régression importante de la consommation de fuel lourd (- 10,5 % par an entre 1973 et 1983) et de fuel domestique (- 5,6 % par an sur la même période).

Dans le même temps, les consommations de carburants auto et de gazole ont augmenté respectivement de + 1,8 % par an et de + 4,8 % par an. Non seulement la demande globale diminue, mais elle s'oriente vers les produits légers au détriment des produits lourds. Ainsi, parallèlement à la rationalisation de la capacité de raffinage, la capacité de conversion des produits lourds s'accroît.

#### Capacité mondiale de raffinage

Capacité en fin d'année	1976	1979	1980	1981	1982	1983	1984	TCAM(%) (1)1976/84
Total en Mt/an	3732	3982	4071	4055	3841	3745	3740	003
dont :								
Etats-Unis	788	885	919	883	804	793	770	-030
Afrique	72	83	84	87	111	111	122	+6,8
Europe de l'Ouest	1045	1020	1015	975	867	808	783	-3,50
Japon	295	298	296	278	276	252	241	-2,50
Moyen-Orient	151	169	179	159	183	187	203	+3,80

Source : (1) Taux cumulés annuel moyen

Direction des hydrocarbures - Ministère du Redéploiement et du Commerce Extérieur

### 3°-1-2. Modification de la structure du marché : la conversion des produits lourds

On assiste actuellement au "blanchiment" du baril, c'est-à-dire à un accroissement de la proportion consommée de produits plus légers tels que les carburants et les distillats intermédiaires (kérozène et gazole), au détriment de la demande de produits "noirs" (Fioul lourd). Cela permet de répondre à la demande de produits "noirs" (Fioul lourd). Cela permet de répondre à la demande de certains secteurs tels que les transports où les solutions de substitution au pétrole sont à la fois rarement pratiques et rentables.

Ces procédés de raffinage plus complexes, dits de conversion, permettent au raffineur d'obtenir des produits d'une valeur accrue à partir de chaque baril de brut, et de bénéficier d'une grande flexibilité dans le choix des pétroles à traiter. Cette complexité des opérations de raffinage se traduit par une autoconsommation accrue en rapport de la quantité traitée.

Les procédés les plus couramment utilisés sont :

- le craquage thermique tels que la viscoréduction et le cokage, pour l'élimination du carbone ;
- le craquage catalytique pour accélérer la vitesse d'élimination du carbone ;
- l'hydrocraquage afin d'ajouter de l'hydrogène.

Une reprise insuffisante de la consommation et de la modernisation des raffineries ont abouti, particulièrement en Europe, à une surcapacité en unités de craquage. L'intérêt relatif des raffineurs pour les bruts légers diminue en raison des moindres rendements de ceux-ci en charges de craquage (en produits lourds). L'OPEP qui n'assure plus aujourd'hui que 30 % de la production mondiale de pétrole est principalement touchée par cette évolution, puisque l'organisation exporte surtout des bruts légers. Afin de se placer sur le marché des produits légers, les pays producteurs s'équipent progressivement en unité de conversion : c'est émergence de "raffineries-source".

### 3°-1-3. Les "Raffineries-sources" construites dans les pays producteurs

Après les deux chocs pétroliers de 1973 et 1979, les sociétés pétrolières ont développé leurs activités de raffinage dans les pays consommateurs à la suite de la nationalisation de certaines de leurs installations. Cette tendance s'est à nouveau renversée vers les pays producteurs, notamment au Moyen-Orient et en Afrique du Nord. Contrairement à celles construites précédemment, ces nouvelles raffineries sont généralement complexes (équipées d'unités de conversion). Le développement de ces "raffineries-sources" est plus lent que prévu, et il est actuellement difficile de connaître les effets de cette nouvelle capacité de production sur le marché mondial du pétrole et des produits raffinés.

Cette évolution va permettre aux pays producteurs d'intervenir dans le secteur pétrochimique, bien que le marché des produits raffinés soit actuellement détenu par les pays occidentaux. D'ici à 1990, les pays producteurs pourraient détenir certains atouts dans la répartition du marché de l'essence sans plomb et des additifs à haut indice d'octane.

### 3°-2. Les perspectives entrouvertes par la suppression du plomb

#### 3°-2-1. La modification de procédés de raffinage

Le développement des techniques de production de bases à haut indice d'octane est un des moyens de compenser la baisse d'octane du carburant à la pompe, baisse due à la suppression du plomb.

L'adaptation des raffineries se fera au cas par cas selon leur structure actuelle, mais aussi pour répondre jusqu'en 2010 à la demande en super plombée, date à laquelle le parc automobile fonctionnant à l'essence plombée aura disparu. Il est probable que l'introduction de l'essence sans plomb multipliera les accords entre les compagnies pétrolières. L'arbitrage entre les procédés à la disposition des sociétés de raffinage, permettant d'augmenter l'indice d'octane, ne se fera pas seulement selon des critères d'optimisation des coûts à court terme, mais en fonction des solutions maximisant leur valeur ajoutée. La priorité pourrait donc être donnée aux investissements dans des unités d'isomérisation, d'alkylation et de production de MTBE, plutôt que de recourir systématiquement dans des proportions importantes, aux composés oxygénés.

Au total, ce renforcement des contraintes de l'environnement devrait donc se traduire par un intérêt accru pour les produits de haute qualité, nécessitant des traitements plus complexes.

#### 3°-2-2. Les additifs de substitution à haut indice d'octane

##### . caractéristiques physiques et économiques

Les tableaux ci-après, élaborés par l'IFP fournissent les indications relatives à la production, la disponibilité, la sûreté des approvisionnements et le prix pour les principaux composés oxygénés susceptibles d'être utilisés en France. On peut distinguer trois catégories d'additifs d'octane selon l'importance de leur distribution :

- ceux ayant un grand potentiel de production,
- ceux ayant un potentiel de production limité,
- ceux, non commercialisés, dont le développement en est au stade de l'unité pilote.

COMPOSES OXYGENES POUVANT ETRE PRODUIT EN GRANDE QUANTITE

	METHANOL	ETHANOL AGRICOLE*
<u>Production</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Non limitée par les matières premières qui sont diverses et abondantes : gaz naturel (seul utilisé actuellement), fractions lourdes de pétrole, charbon, bois.</li> <li>- Production de masse : unités de 800 000 t/an.</li> <li>- Etudes en cours dans divers pays pour l'amélioration du procédé : augmentation de la capacité du réacteur, autres types de réacteur.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production non limitée par les ressources agricoles (céréales et betteraves en France), dont il existe des surplus importants.</li> <li>- La plus grande capacité est de 180.000 t/an aux USA.</li> <li>- Etudes en cours pour l'amélioration du procédé (fermentation, économie d'énergie).</li> </ul>
<u>Disponibilités</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production française 150.000 t/an</li> <li>- Capacités mondiales de production surabondantes par rapport aux besoins de l'industrie chimique : 15,5 Mt/an pour une demande actuelle de 12 Mt/an.</li> <li>- Ces capacités augmenteront encore d'ici 1990, mais 2 à 4 Mt/an d'excédents sont prévisibles à cette date, (en tenant compte de la demande pour les carburants sans plomb).</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Production française d'alcool de betterave : 150.000 à 200.000 t/an.</li> <li>- La profession estime techniquement possible de produire à terme 1,6 Mt d'éthanol par an (20 millions d'hectolitres) à partir de betteraves et de céréales.</li> <li>- Ceci correspondrait à l'addition de 10 % d'éthanol dans la totalité du supercarburant français (tonnage actuel).</li> </ul>

\* seul l'éthanol d'origine agricole est envisagé comme carburant, après déshydratation

\*\* 1 Mt/an = 1 million de tonnes par an.

	METHANOL	ETHANOL
<u>Sûreté des approvisionnements</u>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Production française insuffisante pour les usages chimiques, d'où recours aux importations.</li> <li>- production étrangère répartie dans les pays de régime politique et de situation géographique très diverses, mais tendance au déplacement de cette production vers des pays riches en gaz naturel (Canada, Arabie Saoudite, Indonésie), d'où fermeture d'usines chez les anciens producteurs dont les prix ne sont plus compétitifs (Europe, Etats-Unis, Japon). La France vient de fermer une unité de 200.000 t/an.</li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- pas de problème, la matière première étant produite sur le territoire national</li> </ul>
<u>Prix</u>	<p><u>Méthanol seul</u></p> <p>1,05 F:L (1.300 F la tonne) (Prix de marché)</p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- C'est le moins cher des additifs d'octane envisagés pour remplacer le plomb.</li> <li>- Le prix du gaz naturel est prépondérant dans le prix de revient pour les pays non producteurs du gaz naturel</li> </ul>	<p><u>Ethanol seul (anhydre)</u></p> <p>2,50 F:L à 3 F le litre (3.100 F à 3.800 F/t) (prix derevient estimé avec différentes hypothèses)</p> <p>dépend notamment du cours des matières premières agricoles et du niveau de valorisation et des sous-produits utilisés, soit pour animaux (éthanol de céréales), soit comme combustible (éthanol de betterave).</p>

\* Les prix indiqués ne comprennent, ni les frais de distribution, ni les taxes.  
Dans les mêmes conditions, le prix du supercarburant était de 1,80 F/l début 1985.

\*\* 1 Mt/qn = 1 million de tonnes par an



Prix (suite)	METHANOL	ETHANOL
	<ul style="list-style-type: none"> <li>- L'évolution du prix provenait jusqu'à présent de la demande de l'industrie chimique (demande déprimée actuellement).</li> <li>- Le développement du marché des carburants sans plomb pourra provoquer une augmentation du prix, mais cette tendance devra rester limitée, du fait des excédants de méthanol, de l'abondance des ressources en gaz naturel, de la progressivité de la demande et des contraintes d'utilisation du méthanol.</li> <li>- <u>Mélange méthanol/cosolvant</u> F/1               <ul style="list-style-type: none"> <li>60 % méthanol</li> <li>40 % TBA (M<sub>3</sub>TBA<sub>2</sub>) 1,45</li> <li>50 % méthanol</li> <li>50 % éthanol (M<sub>3</sub>E<sub>3</sub>)* 2,02</li> <li>60 % méthanol</li> <li>40 % ABE (M<sub>3</sub>ABE<sub>2</sub>) 2,07</li> </ul> </li> </ul>	<ul style="list-style-type: none"> <li>- Investissements et dépenses énergétiques du procédé très supérieur à ceux des unités de méthanol, mais économie de devises (pétrole, aliments pour animaux).</li> <li>- <u>Mélange éthanol/cosolvant</u> F1/1               <ul style="list-style-type: none"> <li>71 % éthanol</li> <li>29 % TBA (E<sub>5</sub>TBA<sub>2</sub>) 2,37</li> <li>0 2, 72</li> <li>71 % ethanol 2,8</li> <li>20 % ABE (E<sub>5</sub>ABE<sub>2</sub>) à 3,17</li> </ul> </li> </ul>
<p>Il faut ajouter à ces prix 10 centimes / litre pur les Frais de mélange.</p>		

\* mélange non encore soumis à l'agrément en France.

COMPOSES OXYGENES DE DISPONIBILITE MONDIALE LIMITEE A 2-3 Mt/an.

	MTBE	TBA
<u>Production</u>	<p>Limitée par le manque de disponibilité de l'une des matières premières (certaines coupes d'oléfinés issues du raffinage ou de la production d'éthylène), l'autre matière première étant le méthanol.</p> <p>- Possibilité de lever cette limitation par utilisation d'une autre matière première (butanes), mais investissement plus coûteux. Par contre, unités de plus grande capacité (500.000 t/an au lieu de 100.000 t/an). Ce procédé doit être monté en Arabie Saoudite, pour la première fois au monde.</p>	<p>- production limitée par le fait que le TBA est un sous produit de la synthèse de l'oxyde de propylène, dont le marché n'est pas appelé à se développer à l'échelle des besoins en TBA.</p> <p>- Il existe un autre procédé ne souffrant pas de cette limitation, mais qui n'est pas compétitif (aucune installation selon ce procédé n'est prévue).</p> <p>Dans les 2 cas, la matière première n'est pas limitative (isobutane).</p>
<u>Disponibilités</u>	<p>Capacité de production mondiale : 2 Mt/an dont 1/3 en Europe.</p> <p>Excédents de l'ordre de 1Mt/an (le principal des marchés est celui des carburants).</p> <p>- prévision de 3Mt/an au moins de capacité totale en 1990.</p> <p>- pas d'excédents prévisibles, le MTBE étant l'additif le plus rentable pour remplacer le plomb.</p>	<p>-capacité mondiale 1,65 Mt/an dont 0,5 Mt/an en Europe de l'Ouest (Pays Bas). Excédents faibles de l'ordre de 100.000 à 200.000 T/an.</p> <p>- la capacité mondiale ne devra pas dépasser 2 Mt/an dans l'avenir.</p> <p>- pas d'excédents prévisibles.</p>

<u>Disponibilités</u> (suite)	MTBE	TBA
	- pas de production actuelle en France, mais une unité de 40.000 T/an va être construite par ELF. Par ailleurs, la CFP (TOTAL) participe à la réalisation d'une unité de 100.000 T/an en Grande Bretagne.	- projet de construction en France d'une unité de 430.000 T/an par la société américaine détentrice du procédé ; décision prise d'ici la fin de 1985.
<u>Sûreté des approvisionnements</u>	Utilisés exceptionnellement à titre expérimental dans les carburants français actuels.  - l'utilisation de carburants sans plomb devrait développer la production française de MTBE comme l'indique la tendance actuelle.	- un seul producteur mondial a le monopole de production de TBA selon le procédé utilisé actuellement : la Société américaine ARCO.
<u>Prix</u>	Les prix du MTBE et du TBA sont établis par référence aux prix du super carburant ; ils sont plus élevés de façon variable selon la conjoncture :	
	de 10 à 20 %* DE 7 à 15 %  <u>Début 1985</u> 2,10 F / l  (Prix du super carburant = 1,80 F / l)	de 7 à 15 %  2,05 F / l
	* 30% mi 1985	

COMPOSES OXYGENES NON ENCORE COMMERCIALISES

Des solutions sont actuellement étudiées pour pallier le manque de disponibilité en cosolvants, qui est un frein à l'utilisation de méthanol.

Il s'agit, soit de la production simultanée de méthanol et d'alcools supérieurs (procédé alcools lourds), soit de la production d'un mélange de cosolvants à partir de la biomasse (procédé ABE).

Ces procédés en sont au stade de la démonstration en unité pilote.

<u>Production</u>	ALCOOL LOURD (méthanol et alcool supérieur)	ABE (acétone, buthanol et éthanol)
	Pas encore de production commerciale.	
	Toutefois, des alcools lourds sont produits en Italie pour être ajoutés au carburant à titre expérimental. - même matières premières et même type de procédé que pour le méthanol, les conditions opératoires étant différentes.	- les matières premières sont des déchets agricoles (paille, tiges de maïs), transformés ensuite en sucres fermentescibles.
<u>Sûreté des approvisionnements</u>	cf méthanol	cf méthanol
<u>Etats d'avancement</u>	des études sur unité pilote sont en cours ou terminées dans différents pays (France, Allemagne, Etats-Unis, Japon). - Un pilote franco japonais utilisant le procédé IFP a fonctionné au Japon début 1985 ; la réalisation d'un deuxième pilote est en cours d'examen.	- peu étudié dans le monde  - construction en cours en France d'un pilote selon le procédé IFP ; mise en route prévue en 1986.
<u>Prix de revient estimé</u>	1,70 à 2 F/l	3,60 F/l

### 3°-2-3. Le bio-éthanol

Le bio-éthanol s'obtient par fermentation soit directe sur des produits sucrés (betteraves, mélasses...) soit indirecte à partir de matières premières amylacées (blé, maïs, pommes de terre...); d'autres productions végétales plus méridionales et très alcoologènes (chicorée à café, topinambours...) pourraient par la suite prendre le relais des produits précédents avec des rendements améliorés.

La production d'éthanol à partir de produits agricoles est actuellement maîtrisée; le prix de revient serait voisin de 2,50 F le litre, compte tenu de l'état des techniques, du prix des matières premières, et de la taille des unités de production. Cette source alternative d'énergie permettrait de procurer de nouveaux débouchés à des produits structurellement excédentaires au sein de la CEE, et de contribuer à réduire nos achats de pétrole à l'étranger.

Cet alcool est utilisable soit comme additif à raison de 5 % associé à un cosolvant (alcool lourd) tel que l'ABE, soit en tant que cosolvant associé au méthanol, le mélange éthanol-méthanol offrant une meilleure résistance à la démixion que les constituants purs. L'ABE (Acétone, Butanol, Ether) est un alcool lourd concurrent du TBA mais s'appuyant pour sa production sur les mêmes substrats agricoles que l'éthanol. Néanmoins, son prix de revient proche de 3, 60 F le litre le rend peu compétitif.

La France pourrait mobiliser chaque année trois millions de tonnes de céréales et dix millions de tonnes de betteraves permettant de produire 20 millions d'hectolitres d'éthanol. Malgré ce potentiel de production, une proportion de 5 % d'éthanol par litre d'essence entraînerait un surcoût de 7 centimes / litre.

Ainsi, tout programme visant à incorporer du bio-éthanol dans les carburants suppose donc que soit comblé cet écart entre les coûts de production de cet alcool et ceux des produits concurrents. La mise en place d'une filière de production de bio-éthanol dépend, d'une part, de la disponibilité en capacités de transformation et, d'autre part, des mesures réglementaires et incitatives qui représenteront une charge pour le budget communautaire. La mise en oeuvre d'une telle filière impliquerait donc la création d'une structure viable d'entreprises de transformation de taille suffisante pour bénéficier d'économies d'échelle et auxquelles serait assuré l'approvisionnement en matières premières.

Un premier projet de valorisation industrielle à grande échelle des produits agricoles voit le jour en Normandie. La Générale Sucrière (premier producteur français d'alcool agricole) s'est associée aux betteraviers et aux céréaliers de cette région pour trouver des débouchés à une production en forte croissance dans le cadre d'Ethanol Normandie. Cette association a pour but d'étudier et de définir une distillerie de grande capacité (de l'ordre de 1,5 million d'hectolitres par an) produisant de l'éthanol destiné à la carburant, mettant en oeuvre des substrats betteraviers et céréaliers.

Ce projet n'aboutira sur une réalisation concrète que dans la mesure où la filière éthanol sera retenue au niveau national ou communautaire. Il faut noter, en effet, que le volume des produits agricoles pouvant trouver un débouché dans le secteur de la production de bioéthanol serait relativement limité. Il existe d'autres produits concurrents (MTBE, TBA...) permettant de relever l'indice d'octane, qui sont déjà très présents sur le marché des carburants de substitution.

On peut déjà noter que dans leur réunion du 11 Novembre 1985, les Ministres de l'Energie de la Communauté européenne ont autorisé l'utilisation de composés oxygénés à compter du 1er Janvier 1988.

Le marché français des carburants de substitution est évalué à un maximum de 0,6 millions de tonnes en 1995 et de 1,5 million de tonnes en 2000.

### 3°-3. Les perspectives de consommation intérieure de produits pétroliers

#### 3°-3-1. Evolution de la demande

La consommation intérieure de produits pétroliers devrait continuer à fléchir, baissant de 2 % l'an en moyenne sur la période 1984-1990, reflétant ainsi les effets convergents sur la demande des substitutions d'énergie, de la réalisation du programme nucléaire.

Cette baisse s'accompagnera de la poursuite de la déformation de la structure de la consommation par produits :

- la consommation de gazole et de carburants auto continuera à s'accroître - certes moins rapidement que par le passé - ces produits étant difficilement substituables. Ce fléchissement est dû aux économies réalisées sur les nouveaux modèles qui seront mis en circulation d'ici à 1990 et aux perspectives de faible croissance de l'activité des transports. Le développement de l'essence sans plomb devrait rester limité à l'horizon 1990, de sorte que la progression induite de la consommation de carburants restera elle-même faible ;

- le fioul domestique continuera de régresser, passant d'environ 20,9 millions de tonnes en 1984 à 15,0 millions en 1990. Ce résultat tient à un déplacement vers l'utilisation d'autres énergies (électricité, gaz) dont la part s'accroîtra sensiblement dans les années à venir, ainsi qu'à une amélioration de l'état des logements notamment dans le secteur individuel ;

- pour ce qui est du fioul lourd, il est nécessaire de distinguer la demande des centrales électriques de celle de l'industrie. La consommation de fioul lourd par les centrales sera de l'ordre de 0,3 million de tonnes en 1990 contre 11,5 millions de tonnes en 1984, conséquence de la reconversion au charbon des centrales au fioul et surtout de la montée du nucléaire. La consommation de fioul lourd par l'industrie est passée de 17,5 millions de tonnes en 1979 à 9,0 millions de tonnes en 1984, cette évolution résultant du ralentissement de l'activité industrielle et de l'impact des investissements d'utilisation rationnelle de l'énergie. On peut supposer qu'en dépit d'une évolution des prix qui pourrait favoriser le maintien de la situation actuelle, le développement des énergies dont la production est inélastique conduira à un nouveau recul de la consommation de fioul lourd ;

- enfin, tous les autres produits (carburateurs, lubrifiants, gaz de pétrole liquéfiés, bitumes, bases pétrochimiques) sont pour la plupart des entrants dans le processus de production, et leur évolution reflète généralement celle de la production industrielle. Leur consommation stagnera sur la période 1985-1990, alors qu'une baisse de 2,3 % l'an avait été enregistrée sur la période 1979-1984.

Au total, la consommation intérieure de produits pétroliers serait de l'ordre de 67,7 millions de tonnes en 1990, contre 76,8 millions en 1984. La structure de la consommation se modifiera profondément au profit des produits légers dont la part sera de 44 % en 1990 (37,6 % en 1984, 25,4 % en 1979)

### 3°-3-2. Evolution de l'offre

Durant la période de prévision, l'évolution de la demande entraînera la poursuite de l'adaptation de l'appareil de raffinage : fermeture des unités de distillation les moins performantes, accroissement des capacités de conversion, adaptation des raffineries à la fourniture d'essence sans plomb.

Toutefois, la situation financière délicate des entreprises du secteur risque de limiter l'ampleur de l'effort d'investissement nécessaire à l'adaptation de l'appareil de raffinage.

### 3°-3-3. Investissements

Depuis 1976, d'importants investissements ont été réalisés dans le secteur pétrolier. En effet, aux besoins en fioul lourd se sont substitués des besoins en fioul léger : le développement croissant des centrales nucléaires au détriment des centrales thermiques au fioul, dont certaines sont même reconverties en centrales à charbon, et l'effort réalisé par l'industrie en matière d'économie d'énergie l'expliquent. Les entreprises françaises du secteur pétrolier se sont donc engagées dans un processus d'investissement qui consiste, au niveau du raffinage, à construire des unités de conversion (transformation du fioul lourd en produits plus légers par craquage catalytique et visco-réduction).

La forte croissance s'est prolongée jusqu'en 1982 compris. En 1983, une stagnation s'est produite ; non que la construction de ces unités soit achevée (la chute de la consommation de produits pétroliers noirs se poursuit), mais du fait de l'aggravation des difficultés financières des entreprises du secteur. Les projets sont ainsi différés, en particulier pour la période à venir, et ce malgré la forte rentabilité de ce type d'investissements (le temps de retour est de l'ordre de deux à trois ans).

En outre, le problème de la taille optimale de ces unités de conversion est aujourd'hui posé et renforce le report des projets à court terme.

A moyen terme, une progression des investissements devrait de nouveau intervenir, mais s'essouffler ensuite en fin de période, rendant nulle la croissance globale en moyenne entre 1983 et 1990.

## 4° L'accroissement de la demande de métaux platinoïdes

Les catalyseurs trois voies doivent comporter du platine pour oxyder l'oxyde de carbone et les hydrocarbures imbrûlés et du rhodium pour réduire les oxydes d'azote. Or, dans les minerais extraits on trouve généralement une partie de rhodium pour 4 parties de platine et 4 parties de palladium (1).

---

(1) Les autres métaux platinoïdes, que l'on trouve en proportions égales ou inférieures au rhodium sont : l'irradium, le ruthénium et l'osmium

La forte demande en pots catalytiques va induire une consommation accrue de métaux précieux (platine, palladium, rhodium) qui entrent dans la fabrication des catalyseurs. Le prix de ces métaux est élevé et varie entre 46 F le gramme pour le palladium et 315 F le gramme pour le rhodium.

La République Sud-Africaine et l'URSS se partagent pratiquement à égalité la presque totalité de la production mondiale qui atteint 200 tonnes de platinoïdes par an, tous métaux confondus. Les réserves reconnues, qui dépasseraient 150 années de production, se trouvent pour 75 % en RSA et pour 15 % en URSS. Il faut préciser en outre que dans ce dernier pays, le platine est le plus souvent un sous-produit de l'exploitation du nickel.

La demande de platinoïdes ne cesse de croître, dans les branches de l'électronique, de la dentisterie notamment. L'accroissement de celle induite par l'équipement d'une partie du parc automobile européen (dans et hors Communauté) est estimée de 9 à 19 tonnes pour une année, suivant les experts, l'hypothèse haute paraissant plus proche des perspectives les plus récentes (la demande de l'ensemble de l'Europe en 1984 pour les catalyseurs était de 1,1 tonne).

Les experts prévoient pour 1990 une consommation mondiale de 250 tonnes de platinoïdes (soit + 25 % en 6 ans); dans cette hypothèse, l'augmentation de la demande automobile européenne (ensemble du continent) représenterait 19 tonnes sur 50 T d'augmentation mondiale totale.

Le risque de voir apparaître un goulot d'étranglement pour l'accès au rhodium n'est donc pas à écarter. En 1984, si le cours du platine a été stable, on a enregistré une tension sur celui du rhodium. En 1985, l'annonce des décisions prises par la CEE a déjà provoqué un mouvement spéculatif sur le platine qui est passé en un mois de 265 \$ (américain) l'once à 345 \$ aujourd'hui (1). Dans le passé, des hausses des cours avaient été constatées lorsque de nouvelles normes qui impliquaient le recours au pot catalytique, avaient été imposées aux Etats-Unis et au Japon. L'évolution naturelle de l'offre et de la demande pourrait donc amener une forte élévation du cours des platinoïdes (2) outre le problème spécifique du rhodium.

En outre, au-delà des récentes menaces sud-africaines (sur le nickel), les incertitudes sur l'avenir de ce pays conduisent à envisager l'hypothèse d'une pénurie physique. Dans ce cas, il est très vraisemblable que les applications industrielles déjà existantes du platine seraient prioritaires.

En effet, le platine est indispensable dans certaines filières : raffinage pétrolier, pétrochimie, chimie organique, fours et chauffage à catalyse.

Ces perspectives amènent à prendre sérieusement en considération les possibilités de récupération des platinoïdes contenues dans les pots catalytiques. Techniquement, l'opération ne se heurte pas à des obstacles insurmontables. On peut signaler que les métaux platinoïdes utilisés en pétrochimie comme catalyseurs sont déjà récupérés et régénérés à 85 % ; cette activité relève essentiellement des affineurs, les opérations de traitement des catalyseurs usagés étant fort proches de celles des minerais contenant ces métaux.

---

(1) Début novembre 1985

(2) La perspective d'un doublement du prix d'ici 1990 est envisagée



Il n'existe pas pour autant un véritable marché du platine récupéré ; le plus souvent, la récupération est faite par l'utilisateur. Ainsi, les fabricants d'acide nitrique font retraiter leurs filtres en platine en vue de leur réutilisation dans les unités de production.

Actuellement, les renseignements dont on dispose sur la récupération du platine des catalyseurs automobiles sont fragmentaires. Des unités de régénération existent au Japon et aux Etats-Unis. Pour ce dernier pays, certaines informations font état d'un taux de récupération insignifiant ; selon d'autres, au contraire, 25 % des cartouches de catalyseurs seraient récupérées. La valeur de récupération serait de 3 à 5 \$ américains, la matière première neuve s'élevant de son côté à environ 20 \$. Des indications tout à fait convergentes montrent qu'aux Etats-Unis, ce sont de prosaïques problèmes matériels de collecte des pots usagés qui freinent le développement de la récupération du platine, dans un pays où sur un plan général, ce type de pratique est moins courant que dans beaucoup de pays européens.

Il est à signaler qu'une unité de récupération du platine entrera bientôt en service en République Fédérale Allemande.

Compte tenu de l'importance évidente des implications dans ce domaine des dispositions européennes qui, de toutes façons s'inscrivent dans une évolution générale des pays européens extérieurs à la communauté (cf. accord de Stockholm de juillet 1985 sur le pot catalytique), dès l'apparition à une échelle significative des pots catalytiques, les mesures permettant l'organisation de la récupération devront être en place. Il est à souhaiter d'ailleurs que l'évolution des cours n'ait pas rendu superflue cette mise en garde.

Cette conséquence industrielle et "stratégique" de l'introduction du pot catalytique trois voies montre, de ce point de vue également, que la prise en compte de technologies automobiles alternatives est à la fois justifiée et opportune ; elle évite de se soumettre en totalité à la dépendance d'une matière première rare et chère et, de par la situation et la concentration géographique des producteurs, particulièrement "sensible".

### III - APPROCHE MACROECONOMIQUE DES EFFETS DES POLITIQUES DE LUTTE CONTRE LA POLLUTION

Si la lutte contre la pollution atmosphérique entraîne des surcoûts et même des risques pour les secteurs industriels concernés, elle peut être aussi à la base de la création de nouvelles industries et par là même de nouveaux emplois.

Une étude complète des impacts économiques potentiels des industries de l'environnement aurait demandé des délais très longs pour rassembler l'ensemble des informations nécessaires et pour ensuite les traiter dans le cadre d'un modèle économique général.

Les quelques observations qui suivent n'ont pour but que d'attirer l'attention sur les possibles effets bénéfiques à long terme d'un renforcement de la lutte contre la pollution atmosphérique.

Les éco-industries représentaient en 1982 selon le Ministère de l'environnement un chiffre d'affaire de 50 milliards et employaient 290.000 personnes. A l'heure actuelle certaines difficultés apparaissent dans les secteurs traditionnels, l'épuration de l'eau par exemple, du fait de la saturation du marché intérieur et de la concurrence étrangère.

Les nouvelles normes en matière de pollution atmosphérique pourraient créer de nouveaux besoins mais il est difficile de dire aujourd'hui si l'industrie française serait en mesure d'y répondre et de mesurer l'impact global de cette politique sur l'ensemble de l'économie.

#### 1° Les principales conclusions des travaux réalisés au sein de l'O.C.D.E.

Les progrès accomplis depuis une vingtaine d'années dans le domaine de la modélisation et des prévisions macroéconomiques ont permis à un certain nombre de pays d'évaluer les incidences économiques de leurs programmes de lutte contre la pollution. A l'heure actuelle, si les décideurs continuent à s'intéresser aux effets sur les prix et la balance des paiements, ils souhaitent également savoir quelles incidences les dépenses consacrées à l'environnement peuvent avoir sur l'évolution de l'emploi, ainsi que sur la croissance à plus long terme de la productivité et de la production.

Les travaux de modélisation réalisés dans les pays de l'OCDE (1) sont parvenus à des conclusions souvent similaires :

- effets légèrement défavorables en matière d'inflation ;
  - stimulation de l'emploi, mais avec une dégradation implicite de gains de productivité ;
  - incidences initiales plus favorables que les effets à plus long terme (effets macroéconomiques seulement, sans tenir compte des conséquences bénéfiques sur l'environnement) ;
  - conséquences incertaines sur le taux de croissance du PIB.
- 

(1) cf. OCDE - Direction de l'environnement - Environnement et économie. Document de référence - 18-21 juin 1984

La principale conclusion qui s'en dégage est que les effets macroéconomiques des politiques d'environnement semblent relativement faibles.

Trois remarques importantes doivent être par ailleurs mentionnées :

- Il est nécessaire de tenir compte du contexte international dans lequel les programmes sont mis au point. Au-delà des conséquences sur la balance commerciale, il est nécessaire en effet d'examiner les effets sur les prix et la demande intérieure qui peuvent se produire dans un pays ayant pris de l'avance sur ses concurrents dans l'élaboration de programmes de protection de l'environnement. Si une telle avance peut nuire à la balance des paiements, par les surcoûts qu'elle induit, cet inconvénient peut être compensé par les effets favorables sur le développement d'un secteur spécialisé dans la production d'équipements anti-pollution compétitifs.

- Les hypothèses généralement retenues quant à l'ampleur de la répercussion sur les prix du coût de la protection de l'environnement assumé par les entreprises conduisent à des résultats divergents selon que le relèvement des prix reflète intégralement ou non la majoration des coûts. Des méthodes de financement appropriées, des mesures destinées à réduire les effets multiplicateurs de l'accroissement des coûts peuvent atténuer les conséquences sur les exportations, l'investissement et l'activité.

- Il est nécessaire enfin de choisir un horizon temporel étendu pour pouvoir évaluer toutes les implications des programmes car les effets se font sentir en plusieurs étapes successives, et les conséquences du surcroît inflationniste par exemple ne sont sensibles sur l'activité qu'à long terme.

## 2° Orientations et méthodologie pour une analyse de l'impact macroéconomique des mesures de lutte contre la pollution

Les pays européens n'attachent pas assez d'importance à l'économie de l'environnement alors qu'il serait désormais nécessaire de pouvoir mesurer les répercussions économiques de la politique européenne de l'environnement qui se met en place.

Certes on dispose d'études sectorielles qui peuvent donner des estimations utiles des premiers effets ou des effets directs des mesures de lutte contre la pollution sur des variables telles que les coûts, les prix, la demande ou les niveaux d'emploi. Mais elles ne permettent pas de saisir les importants effets multiplicateurs et de rétroaction des programmes d'environnement. Pour saisir ces interactions économiques particulières, et l'ensemble des effets macroéconomiques de la lutte contre la pollution, il ne suffit donc pas d'additionner simplement les résultats des différentes études microéconomiques.

Celles-ci ne peuvent en effet prendre un sens que dans une cohérence globale, assurée par un ensemble d'hypothèses dont les multiples interactions seraient mesurées simultanément.

Dans le cadre limite de l'étude demandée à l'Office il n'a pas été possible de s'engager dans un programme lourd et complexe de prévision. Cependant si une analyse d'ensemble de l'impact macroéconomique de la lutte contre la pollution pouvait être entreprise, elle devrait s'attacher à répondre aux questions suivantes :

a) Incidence sur les prix

Les coûts de la lutte antipollution exercent sur les prix une action très complexe. La possibilité (ou la volonté) qu'ont les entreprises de modifier leurs prix pour refléter l'accroissement de leurs coûts de production est fonction d'une multitude de facteurs, notamment des mesures gouvernementales en vigueur. Il convient donc d'analyser l'éventuelle incidence de ces coûts sur les prix à la lumière d'un certain nombre de contraintes possibles qui influent indirectement sur la rentabilité et les disponibilités en capital des entreprises.

Il faut également tenir compte d'autres facteurs, comme le degré de concurrence des importations ou l'existence de contrôle de prix (qui pourraient obliger à pratiquer une politique de prix spéciale).

b) Rentabilité

L'analyse des conséquences que les coûts de la lutte contre la pollution peuvent avoir sur la rentabilité est étroitement liée à l'examen de leur incidence (éventuelle) sur les prix. La mesure dans laquelle l'industrie peut se procurer les capitaux nécessaires pour assurer sa modernisation et son expansion constitue une question majeure dont doit se préoccuper tout service gouvernemental envisageant d'obliger une industrie à prendre en charge des coûts très importants. Il faudrait alors procéder à une analyse de rentabilité pour estimer si l'industrie est à même de se procurer des recettes suffisantes pour couvrir à la fois ces dépenses d'exploitation et d'investissement.

c) Disponibilité en capital

La mesure dans laquelle l'industrie peut s'endetter et attirer des capitaux soulève des problèmes et cette situation peut s'aggraver si les entreprises sont tenues d'engager des dépenses importantes pour lutter contre la pollution. De telles dépenses seront prélevées sur l'ensemble des capitaux actuellement destinés à être investis dans des installations de production.

d) Conséquences sur la production

L'action que les mesures de lutte contre la pollution exercent sur les coûts pourrait s'étendre à la production pour deux grandes raisons : premièrement, en cas de hausse des prix, la demande peut s'effondrer ou s'adresser à des produits importés. Deuxièmement, la hausse des coûts de production peut contraindre les industriels à fermer certaines capacités marginales de production. Il peut arriver que d'autres usines reprennent la production des établissements fermés en raison des incidences (anticipées) sur leurs coûts de mesures d'épuration auxquelles ils étaient tenus.

#### e) Effets sur l'emploi

Les éventuelles réductions de production, fermetures d'usines et ralentissements du taux de croissance industrielle peuvent avoir des conséquences plus ou moins graves sur le niveau de l'emploi. Quand la production d'une usine passe à une autre usine, c'est essentiellement au niveau local que les incidences sur l'emploi sont ressenties. A l'échelon national, la suppression des postes de travail par suite d'une réorientation de la demande au profit de produits étrangers peut avoir des conséquences négatives sur le niveau de l'emploi (bien que les progrès de la demande de matériel d'épuration puissent avoir une incidence positive sur l'emploi dans ce secteur). A plus long terme cependant, les normes antipollution tendant à s'internationaliser, ce qui est explicitement le cas ici, une avance prise dans ce domaine évite des chocs plus graves sur l'emploi.

#### f) Conséquences à l'échelon local

Il est important de mettre en lumière les incidences d'éventuelles réductions de production et fermetures d'usines sur une collectivité. A cet égard, l'essentiel n'est pas seulement d'identifier les localités qui pourraient être affectées mais aussi d'estimer l'ampleur de ces incidences.

#### g) Conséquences secondaires

Les modifications des prix des produits et du volume de la production résultant des règlements antipollution ne se limitent pas forcément à la seule industrie réglementée. Il est possible d'évaluer à l'aide de modèles d'échanges inter-industriels et d'autres instruments d'analyse, les éventuelles incidences (négatives ou positives) que peuvent avoir sur d'autres secteurs de l'économie les mesures anti-pollution imposées à une industrie. Si les incidences secondaires que cette analyse fait apparaître sont significatives, il est alors justifié d'examiner les conséquences qu'une telle situation peut avoir sur des variables macroéconomiques comme le taux d'inflation et le taux de croissance du PNB.

#### h) Balance des paiements

L'étude des conséquences que les coûts de la lutte contre la pollution peuvent avoir sur les échanges internationaux et, partant, sur la balance des paiements, constitue un élément important de toute analyse d'impact économique. A cet égard, il est important d'examiner jusqu'à quel point la politique commerciale nationale est susceptible d'affecter la mesure dans laquelle les coûts de la lutte anti-pollution sont répercutés sur le consommateur du produit final ou encore pris en charge par l'entreprise.

Bien qu'il existe un certain chevauchement entre quelques-uns des effets énumérés ci-dessus, cette liste identifie les phases analytiques les plus importantes d'une analyse d'impact économique.

### 3° Le problème de la mesure des investissements spécifiques

La plupart des mesures classiques de lutte contre les émissions industrielles se caractérisent par l'importance des dépenses d'investissement qu'elles exigent. Les investissements destinés à réduire les émissions ou les rejets de résidus comprennent toutes les dépenses habituellement consacrées, par exemple, aux R & D, aux études, à l'achat de terrain, d'équipements et de matériaux, à la préparation, aux travaux de construction et d'installation ainsi qu'à toutes les autres dépenses considérées comme indispensables pour mettre en oeuvre la technologie de traitement choisie (notamment les dépenses nécessaires pour assurer l'indispensable évacuation des résidus "secondaires"). Sont également comprises les dépenses d'investissement destinées à financer de futures transformations majeures, autres que les dépenses "normales" de maintenance et de réparation, ainsi que les éventuelles pertes résultant des temps morts (c'est-à-dire des arrêts de production nécessaires pour installer des dispositifs antipollution).

## EXAMEN PAR LA DELEGATION

La Délégation parlementaire a examiné lors de ses réunions du 3 et du 11 Décembre le rapport présenté par M. Georges Le Baill.

M. Josy Moinet sénateur, a fait observer que le problème des pluies acides ne pourrait être résolu que par une démarche cohérente de tous les pays européens et qu'une législation strictement nationale ne serait pas d'un grand secours dans ce cas précis. Il a estimé que le rapport faisait bien le point sur les connaissances scientifiques et techniques mais qu'il n'approfondissait pas suffisamment le problème de l'impact économique des normes qui vont être prises dans le cadre de la lutte contre les pollutions à longue distance.

M. Claude Birraux député, a pour sa part, constaté que le rapport rendait a posteriori justice à la politique d'équipement de la France en centrales nucléaires. Il s'est interrogé sur les raisons qui pouvaient pousser le Danemark à refuser la ratification de la directive sur les émissions de polluants des véhicules automobiles. Il a enfin souhaité que l'on approfondisse le problème du prix de revient de l'éthanol d'origine agricole.

M. Louis Odru député, a estimé que le rapport constituait un travail de documentation important sur les pollutions atmosphériques dont les pluies acides sont une des conséquences.

Ce rapport met en évidence la nécessité de renforcer la lutte contre la pollution mais il permet aussi de constater la faiblesse des études faites sur le dépérissement des forêts en particulier en France. La France se devrait cependant d'agir pour qu'il y ait une véritable coopération internationale en ce domaine. Mais certains ne craindraient-ils pas pour des raisons politico-économiques que les véritables causes du "mal des forêts" soient mises en lumière du fait que combattre la pollution atmosphérique c'est d'abord imposer aux grandes industries des installations supprimant les pollutions ?

N'est-il pas étonnant que même la R.F.A., qui brandit à juste titre la menace de la destruction des forêts, ait refusé le projet de recherche communautaire pourtant modeste puisque ce projet ne demandait que 2 % du budget de recherche de la C.E.E.

En se limitant aux 15 dernières années, c'est 825 Millions de tonnes d'acide sulfurique qui ont été envoyées dans l'atmosphère de l'Europe (non compris l'U.R.S.S.) dont 67 Millions de tonnes pour la France.

Il n'est nul besoin d'une imagination débordante pour pressentir quels effets sur la nature peuvent avoir, en retombant sur le sol, les énormes quantités de dioxyde de soufre envoyées dans l'atmosphère et se transformant ensuite en acide sulfurique ?

Réduire fortement les émissions de SO<sub>2</sub> (dioxyde de soufre) est nécessaire, mais en ce domaine, que fait-on chez nous ?

Une taxe a été instaurée sur les émissions soufrées, une taxe tellement minime qu'elle n'incite nullement à désulfurer mais, au contraire, constitue une autorisation de polluer à bon compte ! On ergote sur la mise en application de la proposition de directive communautaire, concernant les émissions des grandes installations de combustion ; cette proposition permettrait d'espérer une réduction des émissions de SO<sub>2</sub> de 60 % pour la fin du siècle.

Or, c'est au moins de 80 % qu'il faut réduire rapidement les émissions de SO<sub>2</sub> pour les ramener au niveau des émissions de 1960, date à laquelle sont apparus les effets de l'acidification de l'atmosphère sur les lacs de Scandinavie.

Outre les "pluies acides", les réductions des émissions soufrées sont pleinement justifiées par les atteintes causées à la santé (comme les a mises en évidence l'enquête épidémiologique PAARC) (Pollution atmosphérique dans les affections respiratoires chroniques)

Sur la désulfuration des centrales thermiques et des chaudières industrielles (responsables de 80 % des émissions de SO<sub>2</sub>, le rapport constate le retard pris par la France dans le domaine de la désulfuration, par rapport au Japon, aux U.S.A., à la R.F.A., qui ont décidé, plus tôt, de normes contraignantes sur les émissions de SO<sub>2</sub>. Selon le Rapport, la France ne pourrait rattraper ce retard : faut-il baisser les bras ? Du fait de l'absence de réglementation des émissions, la France n'a pas d'industrie de la désulfuration mais elle dispose de grandes possibilités. Ainsi en 1971, le FIANE (Fond Interministériel d'Action pour la Nature et l'Environnement) a subventionné deux sociétés (Institut Français du Pétrole et Alcatel) pour la réalisation de procédés de désulfuration des fumées. Des pilotes industriels ont montré les qualités des procédés réalisés mais aucune installation industrielle n'a pu être faite, faute de moyens.

Or ces procédés sont des procédés d'avenir : les rendements de désulfuration sont les plus élevés (95 % pour IFP, 99 % pour Alcatel). Le Rapport soulève le problème que pose, à terme, l'évacuation des "quantités considérables de déchets" de sulfite et sulfate de calcium polluants et encombrants laissés par les procédés à "rejets" employés actuellement en R.F.A. et, en majorité, aux U.S.A.. Or, les procédés cités sont "à récupération" : soufre pour IFP, acide sulfurique pour Alcatel. La mise en application de ces procédés permettrait à la France, actuellement importatrice, d'être en état d'exporter ces technologies.

Le Rapport prévoit, dans "l'hypothèse la plus ambitieuse" entraînant une dépense de 20 MF par an, le développement d'une technologie française de "lits fluidisés". Cette technique ne s'appliquerait qu'à des chaudières moyennes et conviendrait (compte tenu des normes d'émissions et des rendements de désulfuration) à l'utilisation de charbons à faible teneur en soufre, 1 % au maximum. Rappelons à ce sujet l'intérêt présenté par les charbons du Nord et de Lorraine qui sont les moins soufrés (0,7 %) après les charbons australiens.

Quant aux pollutions produites par les automobiles, les quantités considérables de polluants émis dans les villes et les effets de ces polluants sur la santé justifient que des mesures draconiennes soient prises pour réduire les émissions.

Les normes européennes d'émission, fixées par la C.E.E. (21 mars 1985) sont très insuffisantes surtout pour les petites cylindrées, qui polluent moins que les grosses, sans doute mais sont les plus nombreuses (69 % du parc automobile français).

Le Rapport constate que la France a un retard technologique important sur le plan de l'antipollution vis-à-vis des U.S.A. et du Japon : ceci vient de l'opposition des constructeurs français et de l'absence de normes suffisamment sévères. Il y a "un risque de dépendance pour la France". Ce risque est maintenu par l'insuffisance des normes pour les petites voitures qui sont exclues du champ d'utilisation des pots catalytiques. En effet, comme les petites voitures représentent 69 % du parc, il devient difficile, avec un marché intérieur ainsi restreint, de mettre en place une industrie de fabrication des pots



catalytiques qui puisse être compétitive vis-à-vis de la concurrence étrangère.

L'argument du surcoût (environ 10 % du prix de la voiture) qu'apporterait l'obligation d'équiper les petites voitures de pots catalytiques a été avancé : le surcoût pourrait être atténué par une disposition fiscale particulière qui serait plus justifiée que les dégrèvements fiscaux pratiqués en R.F.A. pour les grosses cylindrées. Il suffirait de réduire la T.V.A., de ne plus considérer les petites voitures comme "des produits de luxe"

Pour la fabrication des pots catalytiques, la France dispose des moyens nécessaires tant dans le domaine des céramiques que des catalyseurs (notamment société Procatalyse). Il convient aussi de développer les recherches sur les pots catalytiques (y compris pour les Diesel) et notamment sur les catalyseurs sans métaux précieux. La France elle aussi dispose de chercheurs compétents, avec l'expérience d'un domaine voisin, celui des piles à combustibles.

La suppression du plomb dans l'essence nécessite, pour maintenir l'indice d'octane à une valeur convenable, de moderniser les raffineries ; les investissements correspondants peuvent être diminués en ajoutant à l'essence des composés oxygénés.

Parmi les additifs proposés, le Rapport mentionne l'éthanol agricole qui serait fabriqué à partir des "surplus" de betterave et de blé - si tant est que l'on puisse parler de "surplus" alimentaire quand la famine atteint des centaines de millions d'individus - L'éthanol n'est pas semble-t-il le plus intéressant, tant sur le plan technique que sur le plan économique. Le MTBE, notamment, qui peut être fabriqué industriellement en France, a un effet plus marqué que l'éthanol sur l'indice d'octane. Contrairement au MTBE, le prix de revient de l'éthanol agricole français est plus élevé que la valeur d'usage.

Face à la concurrence des produits industriels et de l'éthanol agricole en provenance des pays du Tiers Monde, la production d'éthanol agricole français ne pourrait se concevoir que dans le marché protégé de la C.E.E., dont on connaît les difficultés. Nécessairement, il s'établirait pour la betterave et les céréales, des différences de prix en fonction de la destination alimentaire ou industrielle de ces produits.

Pour le marché industriel, les prix s'aligneraient sur ceux des produits concurrents. Ainsi pour un bénéfice espéré très faible pour l'agriculture française - car le marché industriel serait au plus de 5 % de l'ensemble du marché des betteraves et céréales - il y a un risque de désorganisation des prix et marchés agricoles, principalement au détriment des petits producteurs. Si le développement des usages industriels des produits agricoles devait prendre une certaine ampleur, il faudrait alors prendre en compte les répercussions qu'aurait sur l'environnement l'augmentation des cultures intensives : dégradation des sols, pollution nitrée des eaux....

Il est clair que si on décidait d'utiliser l'éthanol comme additif, très rapidement on l'importerait (du Brésil ou des pays du Tiers-Monde) à un prix de revient bien plus bas que celui produit en France. Cela aurait un double effet : en France, les "surplus" agricoles seraient encore plus importants et dans les pays du Tiers-Monde la famine encore plus grande.

Ainsi, des propositions concrètes doivent être faites pour la recherche, pour l'établissement des normes d'émission, pour la fabrication de matériels anti-pollution, pour le choix des additifs à l'essence sans plomb...

Ce rapport devrait avoir une traduction législative car l'expérience montre - que la voie réglementaire est insuffisante pour la protection de l'environnement et qu'elle porte aussi la responsabilité du retard technologique de la France dans la fabrication des équipements anti-pollution.

L'environnement est une donnée fondamentale pour toute évolution positive de la Société. L'environnement conditionne la vie des citoyens ; c'est l'affaire de tous et, celle du Parlement.

La protection de l'environnement devrait être inscrite dans la Constitution, au titre des droits et devoirs des citoyens, des responsables d'entreprises, de pouvoirs publics et, en premier lieu, du Gouvernement.

Mme Bidard-Reydet sénateur, s'est associée aux observations présentées par M. Louis Odru.

M. Robert Pontillon sénateur, a exprimé le souhait que soit organisé le suivi politique de cette affaire et demandé, compte tenu de l'importance des enjeux communautaires, que des exemplaires du rapport soient adressés aux présidents des délégations pour les communautés européennes des deux assemblées.

M. Philippe Bassinet député, président, a indiqué à la Délégation que la Commission des Lois et que la Commission de la Production et des Echanges de l'Assemblée nationale, auteurs des saisines avaient donné un avis favorable à la publication du rapport.

Les députés et les sénateurs membres de la Délégation ont, à l'unanimité, adopté le rapport ainsi que les recommandations du rapporteur et donné un avis favorable à sa publication.

## RECOMMANDATIONS

1°) Le programme DEFORPA doit être érigé en programme national prioritaire, pluriannuel et bénéficier du concours permanent et exclusif d'un nombre suffisant de chercheurs et de techniciens en ménageant à la recherche fondamentale une part significative des moyens.

2°) Les différents programmes européens sur la protection des forêts contre les effets de la pollution atmosphérique devront être coordonnés et harmonisés.

3°) Les éventuels effets de la pollution à longue distance sur la santé humaine doivent faire l'objet de programmes de recherche en liaison avec ceux qui sont d'ores et déjà mis en place dans certains pays étrangers.

4°) Il paraît indispensable que la Communauté européenne adopte la directive sur les grandes installations de combustion dans des délais qui permettent la mise en oeuvre des mesures prévues dès 1986 compte tenu des aménagements suivants :

-4°-1. Fixation pour la réduction globale des émissions de polluants, d'une étape intermédiaire en 1990 avec les objectifs suivants : - 30 % pour le dioxyde de soufre, - 20 % pour les oxydes d'azote, 20 % pour les poussières.

-4°-2. Fixation des valeurs limites d'émission en quantité annuelle de polluant par puissance installée et par an pour tenir compte des installations fonctionnant en pointe ; Sévérisation des normes d'émission de dioxyde de soufre et d'oxydes d'azote de l'ordre de 10 % par rapport aux valeurs obtenues en appliquant les normes 1985 de la proposition de directive ;

-4°-3. Au vu des résultats obtenus en 1990, après examen de la situation à ce moment sévérisation éventuelle au-delà de 1995 des objectifs de réduction des émissions en fonction de l'évolution de la technologie et de celle de l'instrumentation métrologique.

5°) La directive (75/716/CEE) doit être révisée afin d'abaisser à 0,2 % la teneur en soufre du gazole et du fioul.

6°) En ce qui concerne les émissions de polluants par les véhicules, il convient :

-6°-1. De faire adopter la proposition de directive sur laquelle s'est fait l'accord du 28 juin 1985 au sein du Conseil des ministres ; d'en assurer la mise en oeuvre sur la base du cycle européen aménagé pour tenir compte des déplacements autoroutiers ;

-6°-2. D'homogénéiser les limitations de vitesse dans toute la CEE, en particulier sur autoroute - En ce qui concerne la France, faire respecter les limitations actuelles ;

-6°-3. D'instaurer dès 1986 pour tous les véhicules une obligation de contrôle périodique et de remise en état, conditionnant l'autorisation de remise en circulation. Dans un premier temps, ce contrôle pourrait avoir lieu tous les cinq ans puis aboutir rapidement à une périodicité biennale ;

-6°-4. De développer les recherches en vue de la diminution des quantités de métaux platinoïdes utilisées dans le pot catalytique trois voies et d'organiser la récupération de ces métaux ;

-6°-5. De faire adopter une directive européenne sur les émissions des moteurs diesel ;

-6°-6. D'encourager la conception et l'industrialisation de moteurs pour les optimiser en fonction des nouvelles normes.

7°) En ce qui concerne l'introduction de carburants sans plomb :

-7°-1. Dans une première période sera assurée la distribution progressive de trois produits, à savoir outre le super carburant sans plomb et le super plombé, de l'essence ordinaire à 91 d'indice d'octane recherche et à 82,5 d'indice d'octane moteur ;

-7°-2. L'obtention des indices d'octane nécessaires sera assurée par l'amélioration de l'appareil de raffinage et par l'adjonction de produits oxygénés pour limiter au maximum les augmentations de coûts ;

-7°-3. Seront arrêtées les mesures matérielles empêchant l'alimentation des véhicules conçus pour fonctionner à l'essence sans plomb avec de l'essence plombée ;

-7°-4. Il est indispensable que soit établie une fiscalité différentielle au profit du carburant sans plomb et que soient prises des dispositions réglementaires pour que celui-ci soit, à la pompe, moins cher que le carburant plombé.

8°) Des actions importantes et spécifiques doivent être engagées pour réduire les émissions d'hydrocarbures provenant tant de l'industrie que des véhicules. Dans cette perspective doit être rapidement engagée l'élaboration d'une directive communautaire visant à réduire les émissions de composés organiques volatils de 30 % pour l'an 2000. Tout comme pour les oxydes d'azote, l'instrumentation métrologique devra être fortement développée pour les C.O.V.

## GLOSSAIRE

### UNITES DE MESURES ET TERMES TECHNIQUES

#### 1 / PRINCIPALES UNITES UTILISEES DANS LES DOMAINES DE L'ENERGIE ET DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE.

##### Energie

De plus en plus, et conformément à la Loi (décret 61-501 du 3 mai 1961), on utilise les unités du SYSTEME INTERNATIONAL D'UNITES (appelé le I.S.T.). Toutefois l'usage pratique de certaines unités anciennes se maintient.

Quelle que soit la forme de l'énergie (chaleur, électricité, rayonnement,...) on peut en principe l'exprimer avec les mêmes unités, en vertu du principe d'équivalence de ces diverses formes.

L'unité légale d'énergie est le Joule (J) et ses multiples, d'emploi plus commode : (kilojoule = 1 000 joules (kJ) - mégajoule = 1 million de joules (MJ) - gigajoules = 1 milliard de joules (GJ) - terajoule = 1 000 milliards de joules (TJ) ( \* )

Toutefois l'usage se maintient d'utiliser la calorie, la kilocalorie ( 1 000 calories ), la thermie (1 million de calories), essentiellement pour la chaleur et pour le pouvoir calorifique des combustibles (\*\*). Ce système est pratique car on se souvient aisément qu'une tonne de pétrole correspond à peu près à 10 000 thermies (\*\*\*), d'où une unité souvent utilisée dans les statistiques, la tonne d'équivalent pétrole ou t.e.p. On parle parfois aussi de tonne équivalent charbon (t.e.c.).

On peut noter :

1 tonne de charbon moyen	=	0,67	t.e.p.
1 tonne de lignite	=	0,2 à 0,4	t.e.p.
1 000 m <sup>3</sup> de gaz naturel	=	1	t.e.p.
1 tonne d'uranium naturel	=	10 000	t.e.p.

(\*) Ecriture exponentielle : kilo = 10<sup>3</sup> mega = 10<sup>6</sup> giga = 10<sup>9</sup> tera = 10<sup>12</sup>

(\*\*) Les Anglo-saxons utilisent encore la Btu (British thermal unit) - 1 calorie = 0,003967

(\*\*\*) Pouvoir calorifique inférieur, c'est-à-dire le produit brûlé et l'eau restant à l'état de vapeur. On ne récupère donc pas la chaleur de vaporisation de l'eau.

1 kilocalorie = 4,1855 kilojoules

On exprime souvent l'énergie sous toutes ses formes en kilowatt-heure(kWh) soit la quantité d'énergie débitée en une heure par une puissance de 1 kilowatt.

1 kWh = 3,6 MJ  
1 thermie = 4,1855 MJ

La puissance se définit comme l'énergie produite par seconde. Elle se mesure en watts (W), kilowatt (kW), mégawatts (= 1 million de watts).

1 watt = 1 joule par seconde (par définition).

Les installations de chauffage ont leur puissance souvent exprimée en thermies/heure. Cependant l'usage se répand d'utiliser les multiples du watt. Ainsi une centrale à charbon classique débite 600 mégawatts de courant électrique, ce que l'on écrit 600 MWe. Cette centrale ayant un rendement thermodynamique de 38 % consommera une énergie du combustible égale à :

$\frac{600}{0,38} = 1\ 580$  mégawatts thermiques, ce que l'on écrit : 1 580 MWth

Expression des concentrations de polluants dans l'air et à l'émission

Deux écritures sont possibles :

- Pour les polluants gazeux on parle de "parties par million de parties en volume" (ppm, ou ppmV). 1 ppm d'oxyde sulfuré équivaut à un litre de ce gaz dispersé dans un million de litres d'air ou d'un gaz autre, soit 1 000 m<sup>3</sup>.

- Pour les polluants gazeux, ou solides, ou liquides, on s'exprime en général comme suit :

\* milligramme par mètre cube de gaz ou d'air (mg/m<sup>3</sup>).

\* microgramme par mètre cube d'air (ug/m<sup>3</sup>), en particulier s'il s'agit de teneurs de l'atmosphère en polluants.

Mais quel mètre cube ?

L'usage se répand en Europe de considérer le mètre cube normal, c'est à dire ramené par le calcul à 0°C et 1013 millibars (1) (mg/Nm<sup>3</sup>) (2). En outre, dans le cas des gaz de combustion, on peut faire 2 hypothèses :

- supposer que la vapeur d'eau créée par la combustion se maintient à l'état gazeux (ce qui est physiquement impossible) : on précise alors "mètre cube humide".

- supposer que la vapeur d'eau est extrêmement condensée. On parle alors de "mètre cube sec" (3), ce qui est plus logique.

Les Anglo-saxons considèrent souvent d'autres températures que 0°C pour le m<sup>3</sup>, en général 15°C en Grande Bretagne, 20°C aux Etats-Unis, et même 25°C au Canada. Malheureusement les textes publiés ne précisent pas toujours de quels mètres cubes il s'agit (4)

On peut passer des ppm aux mg/Nm<sup>3</sup> par la formule

$$\text{ppm} = \frac{\text{mg/Nm}^3}{M} \times 22,4$$

dans laquelle M est la masse moléculaire du polluant exprimée en milligrammes.

Ajoutons que dans les gaz de combustion il faut préciser l'excès d'oxygène ou le pourcentage de gaz carbonique. Ainsi dans le projet de directive les normes d'émission sont fixées à 6 % d'oxygènes pour les combustibles solides et 3 % pour les autres combustibles.

---

(1) L'ancien 760 mm de mercure au baromètre

(2) Abréviation courante, mais non légale.

(3) Le projet de directive exprime les valeurs limites de son annexe I en "mètres cubes normaux secs".

(4) On peut passer d'un mètre cube à 0°C à un mètre cube à la température t degrés Celsius par la formule :

$$m^3_t = \frac{273 + t}{273} m^3$$

## 2/ TERMES TECHNIQUES SE RAPPORTANT A L'UTILISATION DES CARBURANTS DANS LES MOTEURS A ESSENCE

### Cliquetis

Dans un moteur à essence, l'inflammation du carburant est déclenchée par l'étincelle d'allumage fournie par la bougie à un instant bien précis du cycle (réglage de l'avance à l'allumage).

Si l'indice d'octane du carburant est insuffisant, étant donné le type de moteur ou son réglage, l'inflammation se produit spontanément avant le déclenchement de l'étincelle d'allumage (auto-inflammation).

Il en résulte une combustion brutale, engendrant des vibrations qui donnent le bruit caractéristique du cliquetis. Dans certaines conditions de conduite (accélération à grande vitesse par exemple), le cliquetis peut devenir destructif.

### Indices d'octane - sensibilité

L'indice d'octane d'un carburant repère sa résistance vis-à-vis du cliquetis. Plus élevé est l'indice d'octane, meilleur est le carburant à ce point de vue.

L'indice d'octane n'est pas une caractéristique invariante du carburant. Il dépend des conditions de fonctionnement du moteur sur lequel il est mesuré.

Un carburant est défini par deux indices d'octanes :

- l'indice Moteur (IOM) permet d'apprécier le comportement du carburant vis-à-vis du cliquetis dans des conditions sévères, (par exemple correspondant à une accélération à grande vitesse sur route) ;

- l'indice Recherche (IOR) est mesuré dans des conditions de fonctionnement assez représentatives de la conduite en circulation urbaine.

Le IOR est toujours supérieur au IOM ; la différence est appelée sensibilité.



Les moteurs d'automobile doivent être adaptés aux indices d'octane des carburants, ce qui fait intervenir notamment le choix du taux de compression du moteur et le réglage de l'avance à l'allumage.

### Pouvoir calorifique

Le pouvoir calorifique mesure l'énergie fournie par la combustion complète d'un litre ou d'un kilo de carburant.

La substitution d'un carburant par un autre de pouvoir calorifique inférieur (cas des composés oxygénés) diminue l'énergie fournie au moteur, toutes choses égales par ailleurs ; la consommation doit être augmentée pour que les performances soient maintenues.

Certaines caractéristiques des composés oxygénés interfèrent également sur la consommation ; il est donc indispensable d'en tenir compte pour obtenir l'effet global de la substitution sur la consommation.

## 3/ DESCRIPTION SOMMAIRE DES PRINCIPAUX PROCÉDES DE RAFFINAGE

### Distillation

La distillation à pression atmosphérique permet de fractionner le pétrole brut en un certain nombre de coupes ayant des points d'ébullition différents : gaz, essences, (fournissant les essences auto et aviation) et distillats moyens (conduisant au gazole et au fioul domestique) ; les hydrocarbures plus lourds constituent le résidu atmosphérique (fioul lourd). Ce résidu peut être distillé sous vide et fournit ainsi un distillat lourd (utilisé comme charge de cracking catalytique), ainsi qu'un résidu sous vide (entrant dans la composition des fiouls lourds et des bitumes).

La plupart des coupes obtenues par distillation ne sont pas directement utilisables : elles nécessitent des traitements complémentaires. Par ailleurs, d'autres traitements, dits de conversion, sont nécessaires pour ajuster la structure de la production des produits pétroliers à celle de la demande.

Ces divers traitements sont décrits ci-après :

### Hydrodésulfuration

Suivant leur origine, les pétroles contiennent plus ou moins de soufre lié aux hydrocarbures, qu'il faut éliminer dans le but de ne pas empoisonner les catalyseurs utilisés dans certaines opérations, et de respecter les spécifications imposées pour les produits finis.

L'hydrodésulfuration consiste en la transformation du soufre en composés gazeux facilement éliminables ; elle est réalisée par l'hydrogène sous pression et en présence d'un catalyseur résistant au soufre.

### Réformage catalytique

C'est une unité indispensable du raffinage, qui transforme les hydrocarbures de mauvais indice d'octane contenus dans les coupes essence (paraffiniques), en hydrocarbures de bon indice d'octane (aromatiques essentiellement).

L'indice d'octane des réformats obtenus dépend de la sévérité des conditions de marche. Il est d'autant meilleur que les conditions sont plus sévères, mais le rendement est moins bon. L'IOR peut ainsi atteindre 98-99.

Le réformage catalytique régénératif est un procédé très récent et peu utilisé encore (pas d'unité en France). Il opère sous pression plus faible que le précédent, et à sévérité plus élevée, permettant d'atteindre un IOR de 102.

Le catalyseur doit être régénéré en continu en dehors de l'unité.

### Craquage catalytique

C'est l'unité de conversion la plus employée ; son usage s'est développé en Europe et notamment en France depuis la crise du pétrole. Toute les raffineries françaises (sauf une) en sont maintenant équipées.

Ce procédé transforme les hydrocarbures lourds des distillats sous vide en hydrocarbures plus légers, et fournit notamment des bases pour carburant et pour gazole.

De nombreuses études en cours dans divers pays, et notamment en France, visent à étendre le procédé de craquage catalytique aux résidus sous vide, ce qui permettrait d'accroître la production d'essence tout en diminuant celle des fuels lourds, dont la demande a très fortement baissé.

### Hydrocraquage

Même opération que ci-dessus, mais effectuée sous pression élevée d'hydrogène, ce qui rend l'investissement élevé (une seule unité en France).

Fournit actuellement des gazoles de très bon indice de cétane, des essences légères de haute qualité et de très bonnes charges de réformage catalytique. Ces produits ont de plus l'avantage d'être désulfurés et saturés.

### Viscoreduction

Craquage thermique modéré utilisé pour améliorer la viscosité du résidu sous vide en vue de faciliter son incorporation aux fuels lourds.

Produit une faible quantité d'essence de médiocre qualité et éventuellement une fraction gazole.

### Isomérisation

Procédé transformant les fractions paraffiniques les plus légères des essences en isoparaffines de bien meilleur indice d'octane (+ 15 points).

### Alkylation

Procédé permettant d'obtenir des hydrocarbures liquides de IOR 92 - 94, à partir de fractions légères issues d'unités de craquage catalytique.