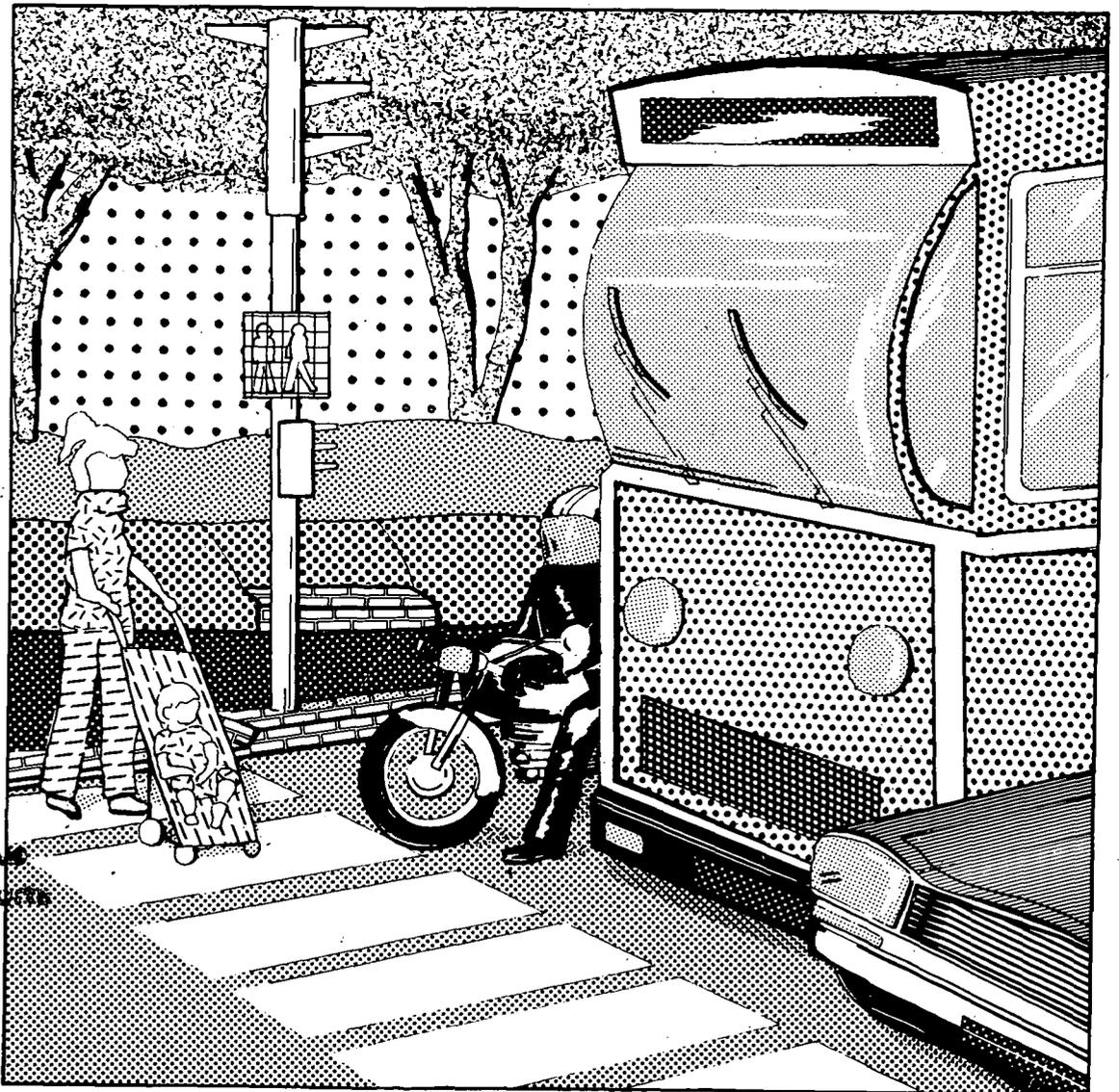




les du dossiers **CETUR** n° 29

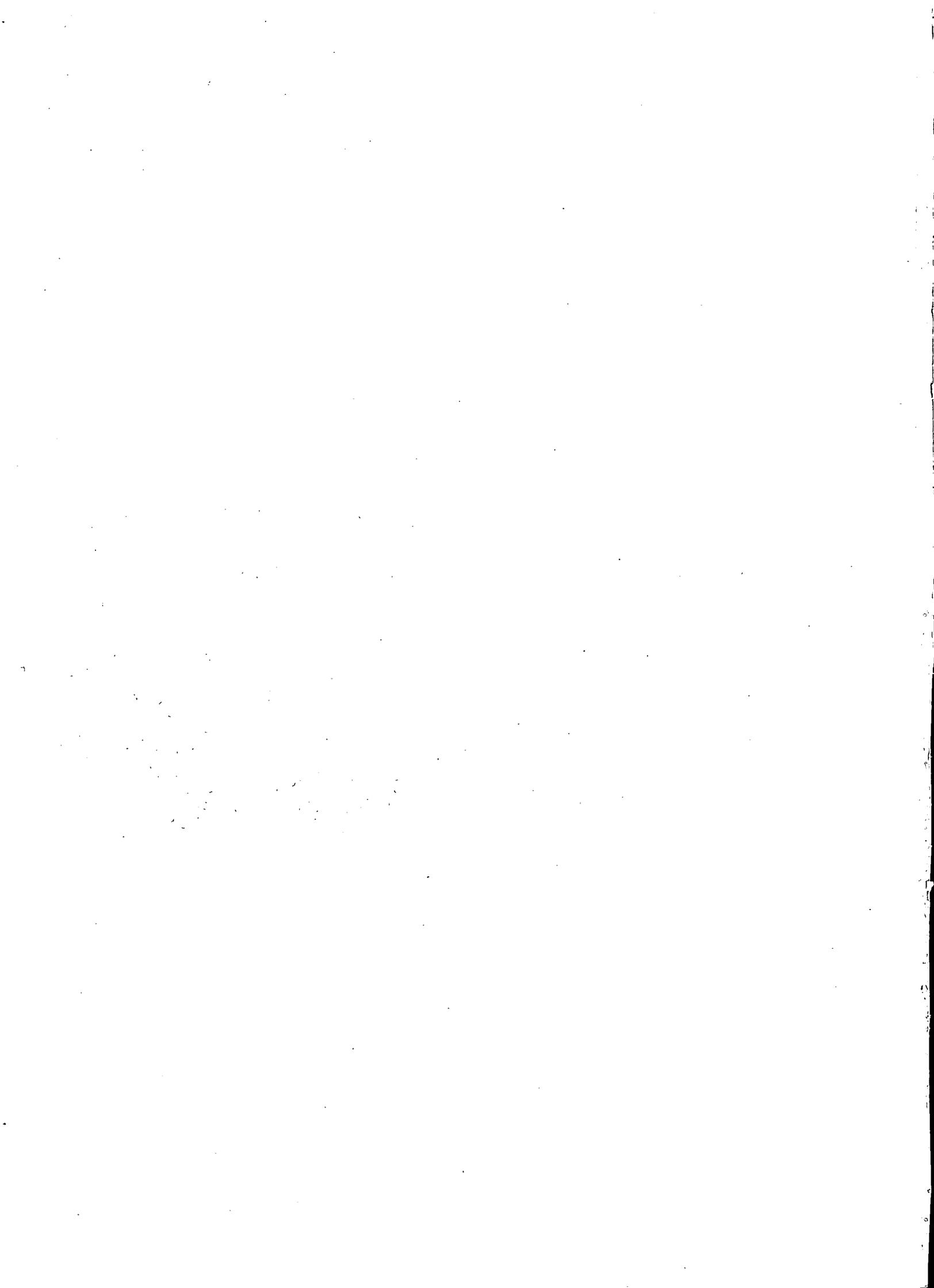
THEME Nuisance des transports

La pollution de l'air
par la circulation
automobile



Observatoire Economique
et Statistique des Transports
DOCUMENTATION
236 n°

CDAT
1245



NUISANCE DES TRANSPORTS

La pollution de l'air
par la circulation
automobile

Octobre 1986



AVERTISSEMENT

La pollution automobile vient d'être au centre de discussions importantes à Bruxelles.

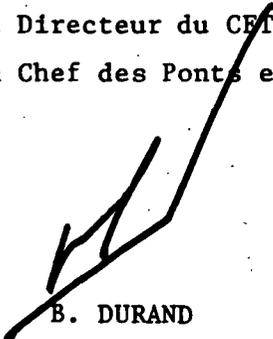
La directive CEE 85.210 du 20 mars 1985 préconise aux Etats membres l'introduction obligatoire de l'essence sans plomb à partir d'octobre 1989 associée à la mise en place de catalyseurs.

En France, depuis de longues années, les Services des Ministères chargés des Transports et de l'Environnement, ainsi que les constructeurs automobiles, mettent en oeuvre une politique de réduction des émissions des véhicules à moteur.

Le CETUR, Service technique Central du Ministère de l'Equipement du Logement de l'Aménagement du Territoire et des Transports, a confié depuis 10 ans notamment à l'INRETS et au réseau des CETE, différents travaux sur le thème d'une meilleure connaissance de la pollution automobile liée au réseau d'infrastructure.

Ce document d'information, mais aussi d'approfondissement des connaissances dans le domaine spécifique de l'infrastructure, doit permettre aux ingénieurs routiers une meilleure prise en compte de ce critère dans le cadre des études d'environnement et d'impact liées à un projet routier.

Le Directeur du CETUR
Ingénieur en Chef des Ponts et Chaussées



B. DURAND

NOTE DE SYNTHESE

Le CENTRE D'ETUDES DES TRANSPORTS URBAINS (CETUR) est un service technique central du Ministère de l'Equipement, du Logement, de l'Aménagement du Territoire et des Transports.

Placé sous l'autorité du délégué aux techniques de l'aménagement (DTA), il intervient :

- soit pour le compte de la délégation aux techniques de l'aménagement
- soit pour le compte des quatre directions membres de son Comité de Direction (Direction de l'Architecture et de l'Urbanisme, Direction des Routes, Direction de la Sécurité et de la Circulation Routières, Direction des Transports Terrestres)
- soit pour des actions techniques demandées par des collectivités territoriales.

En son sein, le Département Environnement et Nuisances tout d'abord, puis la Mission nuisances des transports s'intéressent, depuis 1976, à la pollution de l'air issue des transports.

Pour la période 1976-1986, 6 millions de francs de crédits d'études ont été engagés sur ce thème.

Ces crédits se répartissent en :

- études spécifiques, avis, assistances techniques, coopération Européenne réalisés en propre par le CETUR.
- études particulières réalisées pour le compte du CETUR par les services spécialisés que sont les Centres d'Etudes Techniques de l'Equipement et les Laboratoires Régionaux des Ponts et Chaussées.
- études et recherches diverses confiées à des organismes techniques spécialisés tels que :
 - . l'Institut de Recherche des Transports (devenu INRETS)
 - . le Centre Scientifique et Technique du Bâtiment (C.S.T.B.)
 - . le Centre d'Etude des Tunnels (C.E.T.U.)
 - . l'Union Technique de l'Automobile et du Cycle (U.T.A.C.)

Dix équipes de chercheurs, ingénieurs, techniciens ont participé à ces recherches coordonnées par le CETUR.

Le présent document constitue une synthèse et un résumé des études et recherches réalisées et des rapports produits sur le thème de la pollution atmosphérique en bordure des autoroutes et voies rapides urbaines.

La finalité de ce dossier du CETUR est de permettre, outre de faire le point sur 10 ans de recherche, d'expliquer comment prendre en compte, dans les études d'environnement et d'impacts des autoroutes et voies rapides urbaines, le critère pollution de l'air.

Ce document s'adresse aux ingénieurs des services spécialisés et des Directions Départementales de l'Équipement ayant en charge les problèmes routiers, de transports, de trafic et de la circulation.

- Les chapitres I - Les principaux polluants des transports et leur origine
- II - L'émission
- III - La diffusion
- IV - La réglementation
- V - Effets des polluants

constituent une documentation de vulgarisation permettant une mise à niveau des personnels concernés.

- Les chapitres VI - Mesures de la pollution en bordure des infrastructures de transports
- VII - Calcul d'un niveau de pollution
- VIII - Les mesures propres à réduire la pollution des automobiles

devant permettre la prise en compte objective de cette pollution lors de l'élaboration d'un projet.

Le chapitre IX constituant la liste des actions engagées sur ce thème au CETUR avec identification des documents d'études disponibles.

REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier pour leurs observations qui nous ont été précieuses :

Monsieur P. BESSEMOULIN du Centre National de Recherche Météorologique

Monsieur R. JOUMARD de l'Institut National de Recherche sur les Transports et leur sécurité (INRETS)

Monsieur M. DELAUNAY du Centre Scientifique et Technique du Bâtiment

Monsieur M. BOULHOL de l'Agence pour la Qualité de l'Air

Madame J. LAMATHE du Laboratoire Central des Ponts et Chaussées

Monsieur J.M. BERNARD du Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

Madame A. SZUMANSKI du Centre d'Etudes des Transports Urbains

AUTEURS

Pierre NADEAU et Jean PONTHEU

CENTRE D'ETUDES DES TRANSPORTS URBAINS
Département Nuisances des Transports

8, avenue Aristide Briand
92220 BAGNEUX

Téléphone : 16.1.46.57.11.47

Poste 375

S O M M A I R E

	<u>Pages</u>
<u>AVERTISSEMENT</u>	I
<u>NOTE DE SYNTHÈSE</u>	II
INTRODUCTION	1
CHAPITRE 1 - LES PRINCIPAUX POLLUANTS DES TRANSPORTS ET LEUR ORIGINE ..	2
1.1 - Origine de la pollution	3
1.2 - La composition des gaz d'échappement	5
1.3 - Les principaux polluants	6
CHAPITRE 2 - L'EMISSION	13
2.1 - Définition	14
2.2 - Fonctionnement des moteurs et émission des polluants	15
2.3 - Les carburants	19
2.4 - Le parc automobile	21
2.5 - Mesure des émissions - Normes	21
2.6 - Conditions de circulation et émission	25
CHAPITRE 3 - LA DIFFUSION	31
3.1 - Définition	32
3.2 - Cas des gaz d'échappement	32
3.3 - Prédominance des conditions météorologiques	34
3.4 - Ordre de grandeur des niveaux de pollution observés dans l'environnement	42

	<u>Pages</u>
CHAPITRE 4 - REGLEMENTATION	48
4.1 - Réglementation des émissions	49
4.2 - Concentrations admissibles dans l'environnement	56
CHAPITRE 5 - EFFETS DES POLLUANTS	59
5.1 - Effet sur la santé	60
5.2 - La gêne occasionnée par les fumées et odeurs	63
5.3 - Les effets sur les végétaux	66
5.4 - Les effets sur les matériaux	79
5.5 - La pollution des eaux	83
CHAPITRE 6 - MESURE DE LA POLLUTION EN BORDURE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS	88
6.1 - Méthode de mesure et de détection	89
6.2 - Les campagnes expérimentales	95
CHAPITRE 7 - CALCUL D'UN NIVEAU DE POLLUTION	100
7.1 - Les modèles expérimentaux	101
7.2 - Les modèles réduits	104
7.3 - Les modèles théoriques	111
CHAPITRE 8 - LES MESURES PROPRES A REDUIRE LA POLLUTION AUTOMOBILE	144
8.1 - Réduction des émissions	145
8.2 - La route et la pollution automobile	154
CHAPITRE 9 - LES ACTIONS DE RECHERCHE DU CETUR	163

INTRODUCTION

La circulation automobile, comme beaucoup d'autres activités humaines, rejette dans l'environnement des produits polluants.

En France (*), la pollution par les transports est responsable :

- du tiers des rejets de poussières dans l'air
(60.000 tonnes par an dont 7.000 tonnes de plomb)
- de 38 % des rejets d'hydrocarbures
(880.000 tonnes)
- des deux tiers de la pollution oxydante (41 % NOx, 21 % SO₂ + NOx)
(1.000.000 de tonnes par an d'oxydes d'azote).

Ces conditions ont amené les pouvoirs publics à limiter la pollution d'origine automobile en réglementant les émissions des véhicules et la composition des carburants. Ces réglementations qui deviennent de plus en plus sévères sont en place en Europe depuis 15 ans (1971) et aux Etats-Unis, où le taux de motorisation était et demeure beaucoup plus élevé, depuis 18 ans (1968).

Parallèlement, les concepteurs d'ouvrages sont confrontés au niveau local à l'impact pollution d'une infrastructure routière sur les populations riveraines.

L'utilisation de ce fascicule devrait permettre une meilleure connaissance des niveaux de pollution dans l'environnement extérieur et de conclure au niveau de l'étude des projets routiers, si le problème est marginal (ce qui sera généralement le cas) ou, si la situation impose une prise en compte objective de ce critère.

(*) Source Ministère de l'Environnement.

CHAPITRE 1

LES PRINCIPAUX POLLUANTS DES TRANSPORTS

ET LEUR ORIGINE

LES PRINCIPAUX POLLUANTS DES TRANSPORTS ET LEUR ORIGINE (1) (2) (3) (4)1.1 ORIGINE DE LA POLLUTION

La circulation automobile en France (*), représente 30 MILLIONS DE VEHICULES A MOTEUR se répartissant en :

- 20,8 millions de voitures individuelles
- 3,1 millions de véhicules utilitaires
- 62.000 autocars et autobus
- 6 millions de cyclomoteurs et motocyclettes.

Si la grande majorité de ces véhicules fonctionne à l'essence ordinaire ou au super-carburant, notons que 6 % des voitures individuelles et 50 % des utilitaires ainsi que la totalité des autobus fonctionnent au gazole.

Les énergies de substitutions (électricité - GPL - Alcools) restent marginales (< 0,1 %).

La mauvaise combustion ou la combustion incomplète des carburants, se traduit parmi les effets secondaires, par l'émission dans l'air de polluants qui peuvent être toxiques ou gênants. Le tableau ci-après présente pour les six composants principaux les quantités émises annuellement en France par les transports et à titre de comparaison les quantités émises par les autres types d'activités (industries - chauffage - EDF - Agriculture, etc.).

(*) Chambre syndicale des constructeurs automobiles - Janvier 1985.

() Références bibliographiques cf. fin de chapitre

PRINCIPALES EMISSIONS
DE POLLUANTS EN FRANCE EN 1984
(toutes origines d'activités) (2)

Nature	Origine	Rejet annuel en tonne
SO ₂	-> Transports	100 000
	-> Autres	1 800 000
NOx	-> Transports	1 085 000
	-> Autres	1 400 000
HC (1983)	-> Transports	880 000
	-> Autres	1 430 000
CO	-> Transports	5 500 000
	-> Autres	1 000 000
Poussières	-> Transports	60 000
	-> Autres	140 000
Plomb	-> Transports	7 500

1.2 - LA COMPOSITION DES GAZ D'ECHAPPEMENT (4)

La composition des gaz d'échappement varie en fonction du régime et de la charge du moteur.

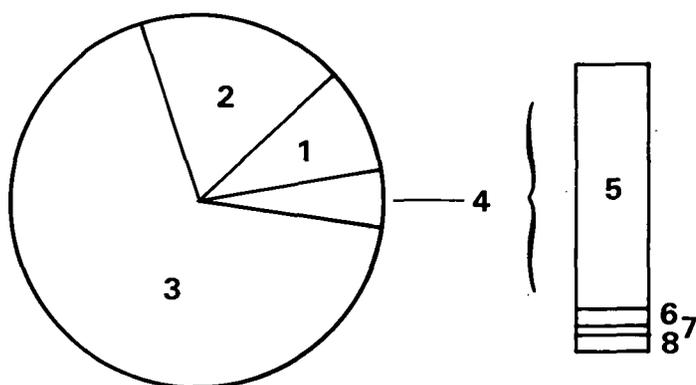
Pour les véhicules à essence on observe (% en volume) :

Régime moteur	Ralenti	Régime	Accélération	Décélération
AZOTE	70,4	73,2	71,0	70,4
EAU	13,0	13,1	13,2	13,0
CO ₂	9,5	12,5	10,2	9,5
CO	2	0,5	4	4
Hydrocarbures(C)	5 000 ppm	2 000 ppm	3 000 ppm	30 000 ppm
Oxydes d'azote(NO ₂)	30 ppm	1 000 ppm	1 200 ppm	30 ppm

Pour les véhicules Diesels :

CO	0,4	0	0,2	0
Hydrocarbures(C)	1 500 ppm	800 ppm	1 000 ppm	1 500 ppm
Oxydes d'azote(NO ₂)	60 ppm	240 ppm	850 ppm	30 ppm

On remarque que la quantité totale des polluants émis, représente une partie très faible de la composition des gaz d'échappement (1 à 6 % des gaz rejetés pour les moteurs à essence)



1. GAZ CARBONIQUE

2. EAU

3. AZOTE

4. POLLUANTS

5. MONOXYDE DE CARBONE

6. HYDROCARBURES imbrûlés

7. OXYDES D'AZOTE

8. POUSSIÈRES

1.3 LES PRINCIPAUX POLLUANTS

La pollution de l'air par la circulation des véhicules se manifeste par deux types d'effets :

- une pollution dite "Sensible" visuelle et olfactive qui est directement perçue par les sens des individus et qui constitue une gêne : fumées bleues ou noires, odeurs désagréables, poussières parfois irritantes, salissures ;

- une pollution gazeuse que l'on pourrait qualifier de "toxique" dans la mesure où les constituants émis ont des effets nocifs connus lorsqu'ils sont inhalés à très forte dose. Ce qui n'est pas le cas en espace extérieur, en bordure de voies où les polluants se retrouvent dilués à des teneurs très faibles. Néanmoins, les chercheurs s'inquiètent des effets éventuels sur la santé de ces faibles teneurs pour des expositions de très longue durée. Il n'y a pas d'effets immédiats constatés et les effets éventuels à long terme sont très difficiles à mettre en évidence, néanmoins, les populations les plus sensibles sont les malades, les personnes âgées et les enfants.

Les polluants énumérés ci-avant présentent les caractéristiques suivantes :

- SO₂ ou DIOXYDE DE SOUFRE

1 PPM de SO₂ = 2,6 mg/m³ (dans les conditions normales)

La principale source d'émission du SO₂ est constituée par les foyers domestiques et industriels. Le charbon qui contient une forte proportion de soufre (2 à 7 % selon sa nature) fournit 75 % du SO₂ émis dans l'atmosphère, le reste provenant des différents fuels lourds utilisés. A titre d'exemple le rejet de ce gaz atteint 500 tonnes/jour en région parisienne.

Dans les grandes villes, la teneur moyenne oscille entre 25 et 120 µg/m³ pour des valeurs de 5 à 15 µg dans les campagnes (2) ; elle est plus élevée en hiver (présence du chauffage domestique) qu'en été.

Des procédures de contrôles et d'alertes existent sur la majorité des sites industriels et dans certaines zones de protections spéciales. Sur ordre du Préfet, les industriels peuvent être amenés en fonction de situations particulières, à changer de combustibles (utilisation de fuel à très basse teneur en soufre) voire à arrêter provisoirement leur installation de combustion.

- NOx ou OXYDES D'AZOTE

Les principaux oxydes d'azote sont NO et NO₂

Le rapport NO/NO₂ est caractéristique du type d'émission.

Ce rapport est de 5 à 6 en ville sur des voiries fortement circulées

1 p.p.m de NO = 1,23 mg/m³ (dans les conditions normales)

1 p.p.m de NO₂ = 1,88 mg/m³

Seuil à ne pas dépasser (*) -----> NO₂ -----> 0,1 mg/m³ ou 0,05 p.p.m.
(moyenne sur 24 h).

Seuil à ne pas dépasser (**) -----> NO₂ -----> 0,1 p.p.m.
(moyenne sur 24 h).

A Paris, en mai 1977, on a relevé des valeurs horaires maximales de 0,265 p.p.m.

Concentrations annuelles moyennes en France (2)

NOx (NO + NO₂) -----> 30 à 80 µg/m³ en ville
15 à 30 µg/m³ en campagne.

- HC ou HYDROCARBURES

Il s'agit des hydrocarbures imbrûlés et des hydrocarbures évaporés.

(*) Proposition de Ferris 1978 suite à des études épidémiologiques.

(**) Garrec C.N.R.F. conférence du 30 janvier 1986 - Cf. chap. 5.3)

Ce terme HC ou CxHy regroupe en quantités sensiblement égales les 3 catégories suivantes :

- paraffines ou alcanes
- éthylènes et hydrocarbures C2 à C8 non saturés, non aromatiques
- aromatiques et hydrocarbures en C9 et plus, non aromatiques et non saturés (H.A.P.)
- Les H.A.P. sont dangereux et peuvent être cancérigènes

Seuil à ne pas dépasser (1) -----> H.A.P. -----> 0,15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$

Les concentrations annuelles moyennes en France (2) sont :

HC (Totaux, mesuré en équivalent Méthane) ---> 1200 à 5000 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en ville
50 à 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en campagne

- CO ou MONOXYDE DE CARBONE

Gaz incolore et inodore, de masse molaire 28,1 et de densité proche de celle de l'air ($d = 0,9672$)

1 p.p.m. de CO = 1,15 mg/m^3 à 25° centigrade

Seuil à ne pas dépasser (*) -----> 8,5 p.p.m./an ou
25 p.p.m./30 mn/5% des cas (R.F.A.)

-----> 0,87 p.p.m./jour ou
5,2 p.p.m./30 mn (U.R.S.S.)

-----> 9 p.p.m./8 h/1 fois par an
35 p.p.m./heure/1 fois par an (U.S.A.)

(*) En RFA et aux USA il s'agit de seuils légaux, en URSS il s'agit de doses admissibles sans valeur légale.

La concentration en CO de l'air varie de 0,5 p.p.m. en campagne à 30 p.p.m. dans une rue encaissée à fort trafic en centre ville.

- O₃ ou OZONE

C'est un composant normal de l'atmosphère.

Sa teneur en ville peut être élevée car il est le produit de réactions photochimiques (HC + NO_x) lié à une situation micrométéorologique particulière (forte insolation, vent faible, inversion thermique).

Seuil à ne pas dépasser (3) -----> 0,08 p.p.m./1 heure

Les concentrations annuelles moyennes en France (2) sont :

O₃ -----> 20 à 60 µg/m³ en ville

30 à 70 µg/m³ en campagne

POUSSIÈRES

Le terme poussières regroupe :

- les particules Diesels qui se présentent sous la forme sphérique de 0,02 à 0,8 µm et constitués de carbone pur autour duquel peuvent être agglomérées des molécules d'hydrocarbures
- le plomb (cf. ci-après)

- les poussières sédimentées remises en suspension
- les produits de dégradation des matériaux de friction (plaquettes de freins, embrayages, etc.)
- l'usure des pneumatiques
- les métaux lourds (chrome, manganèse, baryum, vanadium, fer, etc.)

Objectif à long terme -----> 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ moyenne annuelle (3)

- Plomb

En France, le plomb est présent dans les carburants dans des proportions de 0,4 grammes par litre, 70 à 80 % du plomb consommé se retrouve à l'échappement.

75 % du plomb émis dans l'atmosphère provient des gaz d'échappement.

Le plomb émis dans l'air peut être directement respiré ou bien après dépôt et lessivage de la chaussée se retrouver dans l'organisme par le biais de l'eau potable ou des légumes cultivés et consommés.

De façon générale, l'inhalation du plomb à partir des poussières respirées correspond à environ 25 % du plomb total ingéré (3).

Des concentrations de l'air ambiant à Paris dans différentes rues de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ont été mesurées en 1982 par le Laboratoire Central de la Préfecture de Police.

Seuils à ne pas dépasser (1) -----> 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ dans l'air

-----> 35 $\mu\text{g}/100$ ml de sang.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Effets des polluants automobiles sur la santé R. JOUMARD
IRT-CERNE - Note d'information n° 23, octobre 1982
- (2) "Pluies acides" DANGER Ministère de l'Environnement - 1985
- (3) Manuel de gestion de la qualité de l'air des villes - O.M.S. - 1978
- (4) Rapport sur les formes de pollution atmosphérique à longue distance dites pluies acides - Assemblée Nationale n° 3192 - Sénat n° 211 - 13/12/1985

CHAPITRE 2

L'EMISSION

L'EMISSION (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)2.1 - DEFINITIONS

Nous distinguerons l'émission qui est le rejet de produits polluants dus au fait de la circulation automobile de la diffusion qui concerne l'ensemble des phénomènes assurant la dilution dans l'air des produits émis.

L'essentiel de l'émission se mesure à la sortie du pot d'échappement et se caractérise par une quantité de substance produite rapportée à la longueur du tronçon de voie considérée ou à la distance parcourue. La mesure de l'émission se fait en laboratoire en simulant le fonctionnement du véhicule sur un banc à rouleaux : l'idéal serait de mesurer les gaz directement à la sortie du pot d'échappement, ou de les prélever pour les analyser ensuite, lorsque le véhicule est en circulation. Cette deuxième méthode, qui nécessite des appareils embarqués, peu sensibles aux vibrations, en est à ses débuts et doit encore faire ses preuves.

L'émission de polluants par la circulation automobile est fonction :

- des caractéristiques techniques des véhicules (type de moteur, transmission, système d'alimentation, évaporation, injection électronique, recirculation des gaz d'échappement, dispositif d'épuration (catalyseur), etc.) ;
- de la composition des carburants par type de combustion (essence, gazole, gaz de pétrole liquéfié, etc.) et de la présence d'additifs (tels que plomb, alcools, ethers, etc.) ;
- de la façon dont le flot de véhicule s'écoule, mettant en jeu de nombreux paramètres de circulation (capacités des voies, débit, composition du trafic, allure générale du flot (fluide ou pulsée), saturation, taux d'occupation, vitesse moyenne, vitesses instantanées, etc.), ces paramètres n'étant pas tous indépendants.

() Références bibliographiques cf. fin de chapitre

2.2 - FONCTIONNEMENT DES MOTEURS ET EMISSIONS DE POLLUANTS

Deux types de moteurs usuels permettent de transformer en travail mécanique la chaleur produite par la combustion des carburants :

- le moteur à essence à 4 temps et à 2 temps
- le moteur Diesel.

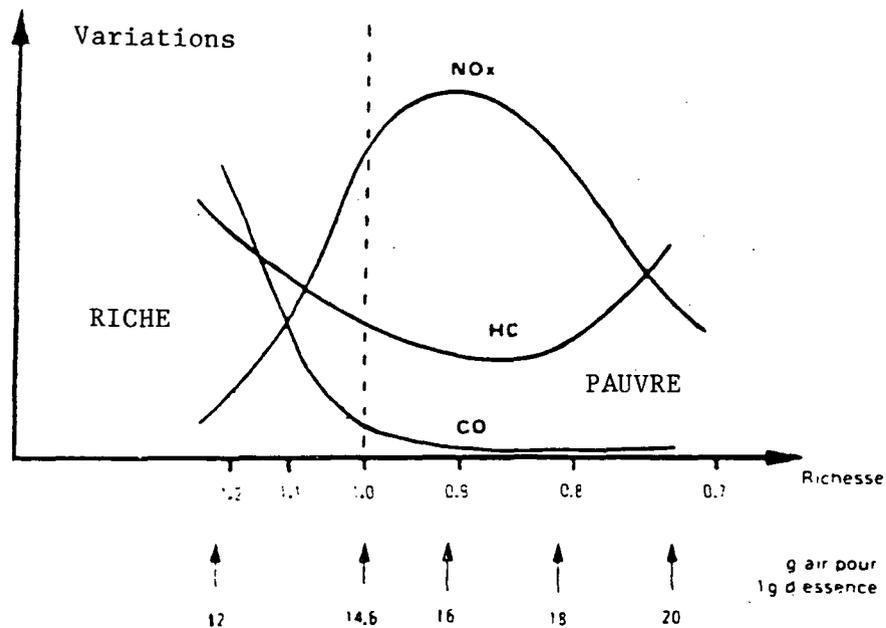
2.21 - Le moteur à essence 4 temps

C'est le type de moteur qui équipe la plupart des véhicules du parc automobile français.

Les concentrations de CO, HC, NOx à l'échappement, dépendent du type de moteur et de sa propre technologie (cylindrée, emploi de l'injection électronique, mode de carburation, allumage électronique, transmission manuelle 4 ou 5 vitesses ou automatique, suralimentation). Son état d'entretien et d'usure, sa température et celle de l'air ambiant mais aussi très fortement de son mode de fonctionnement décrit à chaque instant par sa vitesse de rotation en fonction de la charge, c'est-à-dire de la puissance qui lui est demandée.

L'influence du mode de fonctionnement du moteur sur les concentrations de polluants dans les gaz d'échappement est étroitement liée à la variation instantanée des conditions de combustion à l'intérieur du moteur, ces dernières étant en une grande partie déterminées par la variation de la richesse du mélange carburé.

La richesse est définie par le rapport de la quantité d'air et de la quantité d'essence introduites dans le moteur à un instant donné (1).



Lorsque le mélange air-essence est tel que la quantité d'air est juste suffisante pour une combustion complète, les émissions de CO et de HC sont très faibles, par contre la température est très élevée ce qui provoque la formation de fortes quantités de NOx. Si la quantité d'air est en excès, le mélange est "pauvre", et la combustion bien que théoriquement complète risque d'être difficile ce qui se traduit par peu de CO mais beaucoup d'HC à l'émission, et peu de NOx vu les basses températures pour un mélange très pauvre. Enfin dans le cas où l'air est en défaut (mélange "riche"), la combustion devient incomplète, ce qui se traduit par des émissions importantes de CO et de HC, mais peu de NOx la température étant relativement basse (voir figure ci-dessus).

Ce dernier cas est favorisé, alors que la richesse moyenne de fonctionnement est fixée pour un véhicule donné autour de valeurs idéales, pendant les phases en transitoire (demande et vitesse de rotation variables) et surtout en phase de charge élevée (accélérations). La demande de puissance élevée, indépendamment de la vitesse de rotation du moteur, entraîne instantanément des quantités importantes de carburant dans les cylindres sans que le système de carburation puisse arriver à les mélanger avec une quantité suffisante d'air. D'où des teneurs de CO et HC élevées à l'échappement pendant les phases d'accélération.

Par contre, dans les phases de décélération la variation du mélange est compliquée et imprévue et dépend de la durée et de la brutalité de celles-ci. Dans un grand nombre de cas, du fait de l'arrêt brusque de la demande de puissance suivi par une diminution réciproque de la quantité de carburant qui est en train de s'injecter dans le moteur, l'air se trouve instantanément excédentaire et la combustion devient difficile. Résultat : peu de CO mais beaucoup de HC à l'émission. Des émissions élevées supplémentaires de HC se produisent pendant les phases de décélération, ou encore au début des phases de ralenti qui suivent (si le véhicule s'est arrêté) du fait que les cylindres contiennent, en général, des quantités excessives de gaz résiduels dues aux cycles précédents de fonctionnement intensif du moteur (lors des phases d'accélération ou de vitesses stabilisées élevées) qui gênent la combustion.

Il se peut, d'ailleurs, en décélération, à cause d'une nouvelle variation de son intensité, que la combustion redevienne optimale ou, encore, passe au régime "incomplet", que le moteur marche toujours à un certain rapport ou au "point mort" (embrayage débrayé). Cela dit, il y a des types de décélération (longues et d'intensité à la fois forte et variable) générateurs des teneurs de CO assez importantes ou, au moins, plus élevées que prévues par la théorie. Néanmoins, dans tous les cas, les phases en décélération sont marquées par des émissions de HC importantes.

En conclusion, nous retiendrons :

- les accélérations favorisent la formation de teneurs très élevées en CO et HC mesurées à l'échappement. Plus elles sont brutales et durables, plus leur effet est marquant, surtout pour le HC, et lorsqu'elles conduisent à des vitesses suffisamment élevées des teneurs en NOx très importantes font leur apparition.

En plus, le passage par des rapports de vitesse relativement faibles (1re, 2e) en pleine charge, ce qui implique des vitesses de rotation du moteur excessives, provoque la formation hâtive d'importantes quantités de CO et de NOx.

- En décélération, leurs teneurs en NOx chutent à des valeurs très faibles, le CO baisse au fur et à mesure, quant aux HC après une première baisse, ils se mettent à remonter, parfois même brutalement, si la décélération est forte et brutale. En général, toute variation de la demande de puissance par le moteur au régime déjà élevé, qu'elle soit d'une accélération ou d'une décélération, est suivi par l'émission d'importantes quantités de HC.

- Dès que la vitesse du véhicule se stabilise (vitesse de rotation et couple stables) après une phase en transitoire (vitesse de rotation et couple variables), ce qui est exceptionnel en centre ville, les émissions diminuent.

2.22 - Le moteur à essence 2 temps

C'est celui qui équipe les cyclomoteurs et certaines motocyclettes. Par rapport à un moteur 4 temps de même puissance, il est moins polluant pour les NOx mais plus polluant pour le CO et les HC. Pour les cyclomoteurs, on utilise comme carburant un mélange composé d'essence et de lubrifiant se traduisant par des émissions d'imbrûlés (fumées bleues) ; toutefois, en circulation les quantités de polluants émises par ces véhicules sont faibles (de par leur petit nombre) devant celles des automobiles.

2.23 - Le moteur Diesel

Il équipe une faible partie de véhicules particuliers et la totalité des poids lourds.

Le moteur Diesel fonctionne avec un mélange carburé pauvre, l'air est introduit en excès puis le carburant est injecté.

Les émissions d'un moteur Diesel, par rapport à un moteur à essence à 4 temps de même puissance, sont dix fois plus faibles pour le CO, deux à cinq fois plus faibles pour les hydrocarbures gazeux, du même ordre de grandeur ou plus faibles pour les NOx (elles deviennent importantes à vitesse élevées), mais il entraîne une pollution particulière (suies) beaucoup plus importante et se caractérise par des émissions de fumées et de produits malodorants (hydrocarbures oxygénés).

2.3 - LES CARBURANTS (4) (5)

Les carburants proviennent de différentes raffineries qui, elles-mêmes, traitent des pétroles bruts d'origines différentes ; il en résulte un certain nombre de différences au niveau des constituants mis en vente sur le marché.

Origine des bruts importés (en pourcentage) (5)

Année	Origine Moyen Orient	Afrique Noire	Mer du Nord	Autres
1973	67	11	0,1	21
1984	24	16	21	39

Pour homogénéiser ces produits, il existe des normes élaborées par les pouvoirs publics, les constructeurs et les raffineries, qui imposent des caractéristiques précises pour les différents carburants afin d'assurer la combustion la plus efficace possible aux différents régimes et par là réduire les émissions d'imbrûlés.

Le carburant se caractérise par :

- sa densité
- sa volatilité
- son indice d'octane (moteur à combustion) ou de cétane (Diesels)
- sa teneur en impureté.

Le soufre admissible est de 0,1 % pour l'essence et de 0,3 à 0,4 % pour le gazole.

Pour les moteurs à explosion, le plomb (0,4 g/litre) présent sous différentes formes permet une élévation de l'indice d'octane de l'essence, c'est-à-dire, augmente le rendement, par élévation du taux de compression du moteur.

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

La production et l'utilisation d'une essence sans plomb ayant un indice d'octane de 95 (valeur située entre l'optimum économique et l'optimum énergétique) conduirait au total, par rapport à une essence plombée d'indice 98, à un accroissement de la consommation de pétrole brut égal à 5 à 6 %.

La composition élémentaire des carburants liquides est un mélange de carbone (80 à 85 %) et d'hydrogène (10-12 %), le reste étant constitué par du soufre et de faibles quantités d'oxygène, d'azote, de produits minéraux (NaCl, Fe, N ; Va et m).

2.4 - LE PARC AUTOMOBILE

On distingue habituellement, pour les véhicules légers, les véhicules de faible cylindrée (moins de 1400 cm³), de moyenne cylindrée (de 1400 à 2000 cm³) et de forte cylindrée (supérieure à 2000 cm³).

La répartition, au niveau puissance des véhicules, en France, comparée aux autres pays européens, est illustrée dans le tableau ci-dessous :

PAYS Cylindre %	R.F.A.	FRANCE	ITALIE	GRANDE BRETAGNE
- 1400 cm ³	37,3	67,2	83,7	50,5
1401 - 2000 cm ³	50,4	29,7	15,8	41,6
2001 cm ³ et plus	12,3	3,1	0,5	7,9

Parc automobile européen (1984 - C.E.E.)

2.5 - MESURE DES EMISSIONS - NORMES

2.51 - Cycle réglementaire (6)

Les émissions à l'échappement sont soumises à des normes internationales établies par les directives du Conseil Européen de la C.E.E. (cf. chapitre 4).

Pour être homologués, les véhicules doivent respecter certaines valeurs limites pour les émissions de CO, HC et NOx en fonction du poids du véhicule.

L'homologation a lieu après 3 types d'essais.

Essai du type 1 :

Contrôle des émissions moyennes de polluants en zone urbaine encombrée après un démarrage à froid. Cet essai a lieu sur un banc à rouleaux (système assorti de 1 ou 2 rouleaux sur lequel le véhicule est implanté et qui permet de simuler la résistance à l'avancement sur route du véhicule) munis de dispositifs particuliers de prélèvement et d'analyse des gaz d'échappements (mesure des émissions massiques réelles des polluants).

Un cycle d'essai représente 25 opérations particulières (ralenti (1), accélération (2), vitesse stabilisée (3), décélération (4), etc.) réalisé sur un temps cumulé de 195 secondes.

La vitesse moyenne lors du cycle est de 19 km/h et la distance théorique parcourue de 1,013 kilomètre. Ce cycle, supposé être représentatif de la circulation en zone urbaine, doit être parcouru quatre fois ; le départ s'effectue moteur froid, une période de mise en route de 40 secondes avec starter étant effectuée préalablement à toute mesure.

Essai de type 2 :

Contrôle des émissions de monoxyde de carbone au régime du ralenti. Cette opération s'effectue immédiatement après le 4e cycle de marche de l'essai de type 1.

Essai de type 3 :

Contrôle des émissions de gaz de carter ; cet essai est réalisé sur les véhicules à allumage commandé soumis aux essais de types I et II.

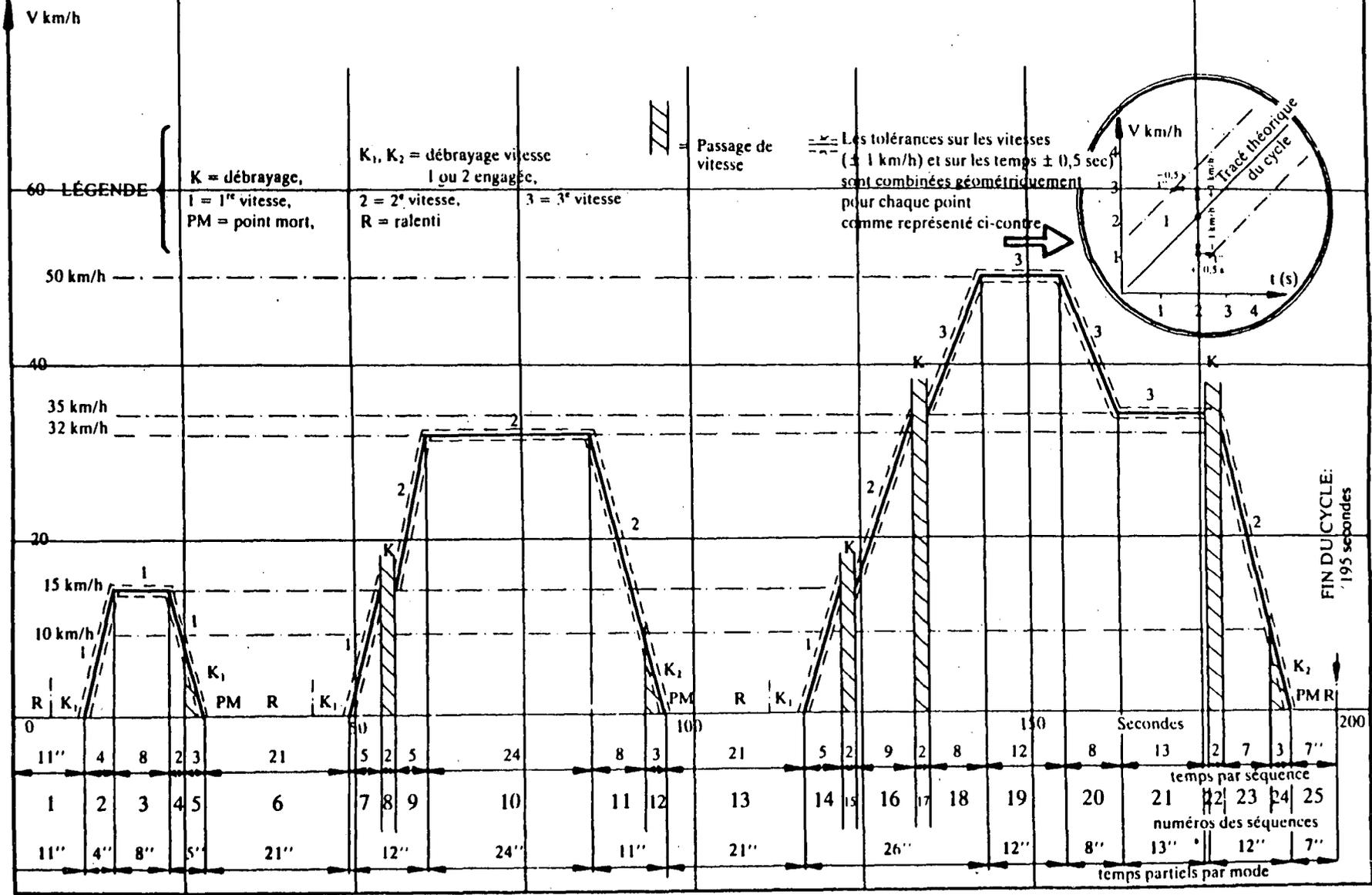
Les mesures sont effectuées pour différents types de fonctionnement du moteur (ralenti et 50 km/h).

La limite des émissions de polluants par les automobiles est fixée par la directive 83/351 du Conseil des Communautés Européennes du 16 janvier 1983.

Poids de référence par kilogramme	Masse de monoxyde de carbone g/essai	Masse d'hydrocarbures et d'oxyde d'azote g/essai
Pr \leq 1 020	70	23,8
1 020 < Pr \leq 1 250	80	25,6
1 250 < Pr \leq 1 470	91	27,5
1 470 < Pr \leq 1 700	101	29,4
1 700 < Pr \leq 1 930	112	31,3
1 930 < Pr \leq 2 150	121	33,1
2 150 < Pr	132	35,0

Ces valeurs s'appliquent aux automobiles, essence ou Diesel, ainsi qu'aux véhicules utilitaires d'un poids inférieur à 3,5 tonnes.

Cycle de fonctionnement pour l'essai du type I



2.6 - CONDITIONS DE CIRCULATION ET EMISSION (3)

L'émission d'un trafic automobile étant fonction de nombreux paramètres, il est difficile de la prévoir à partir d'éléments simples comme le débit.

Aussi pour simplifier nous distinguerons deux cas :

- allure fluide du flot de véhicules (écoulement à vitesse constante sur autoroute ou voie rapide urbaine non saturée)
- allure pulsée aléatoire (c'est le cas de la circulation urbaine).

2.61 - Emission sur route et autoroute (allure fluide)

L'émission moyenne en CO, HC, NOx d'un véhicule circulant sur route ou autoroute est fonction de la puissance du véhicule et de sa vitesse.

		<u>CO</u>	<u>HC</u>	<u>NOx</u>
classe de cylindrée : - 1400 cm ³	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	-	-	-

		<u>CO</u>	<u>HC</u>	<u>NOx</u>
classe de cylindrée : 1401 - 2000 cm ³	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 ³	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

Emission moyenne d'un véhicule
(valeurs exprimées en grammes par kilomètre parcouru)

2.62 - Emission en ville (circulation urbaine) (7)

En agglomération, la notion de vitesse est à proscrire, car elle intègre une succession de situations inhomogènes combinant au niveau du véhicule, des phases d'accélération, de freinage, d'arrêt, etc., fonction du trajet emprunté et des conditions de circulation rencontrées.

Il en résulte une méconnaissance certaine des émissions de polluant en ville où la référence reste le cycle d'homologation qui se veut le plus proche possible d'un parcours urbain classique.

Lors d'une expérimentation liée à la détermination des enjeux énergétiques de la régulation en milieu urbain, nous avons étudié deux situations réelles fort contrastées de parcours urbain, que nous avons reproduits sur banc à rouleau.

Pour un même véhicule et sur un même itinéraire nous avons obtenu des différences sur les émissions de 15 à 25 % selon que le trajet simulé était ou non équipé d'un système de régulation du trafic.

Nous donnons ci-après les principaux résultats obtenus : cette expérimentation se poursuit actuellement afin de valider les premiers résultats sur un nombre plus important de véhicules.

EXPERIENCE DE CAEN

(résultat de mesures effectuées les 17, 18, 19, 20 juillet 1984)

- Essais sur un véhicule moyen 7 CV - 1300 cm³ - 30 000 km

- Cycle européen démarrage à froid

CO	HC	NOx	Consommation
13 g/km	3,3/km	1,6 g/km	9 l/100 km

- Cycle européen sans démarrage à froid

CO	HC	NOx	Consommation
12,9 g/km	2,77 g/km	1,38 g/km	8,45 l/100 km

- Cycle urbain particulier

CO	HC	NOx	Consommation
20,2 g/km	4,02 g/km	2,33 g/km	11,18 l/100 km

- Cycle urbain particulier (onde verte)

CO	HC	NOx	Consommation
17 g/km	3,06 g/km	1,69 g/km	8,77 l/100 km

On constate une diminution de 15 % pour le CO, 20 % pour les HC et même ordre de grandeur (25 %) pour les NOx, mais pour ces derniers polluants les mesures sont plus dispersées.

Ces réductions s'expliquent par le fait que sur le parcours considéré la vitesse moyenne est passée de 15 à 21 km/h, la différence provient du temps passé à l'arrêt et du temps passé en lre plus importants dans la situation non régulée ; la somme des temps passés en 2e, 3e et 4e reste invariée. La régulation permet de diminuer la consommation de l'ordre de 20 % ce qui a eu une incidence directe sur les émissions. Le plomb n'a pas été mesuré mais sa réduction est proportionnelle à celle de la consommation.

2.63 - Répartition des émissions (3)

Il s'agit de comparer les émissions sur route et autoroute aux émissions typiquement urbaines du trafic automobile.

Les informations disponibles portent sur les oxydes d'azotes.

27 % des oxydes d'azote sont émis en ville.

73 % des oxydes d'azote sont émis sur route et autoroute.

Tous sites confondus, les voitures particulières à essence sont responsables de 49 % des émissions, le reste est imputable aux véhicules particuliers Diesels (8 %) et aux véhicules utilitaires (43 %).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) La pollution due aux moyens de transports - DELSEY - IRT - Note d'Information n° 13 - 1979
- (2) Rapport sur les formes de pollution atmosphérique à longue distance dites pluies acides - Office Parlementaire d'évaluation des choix scientifiques et technologiques - Assemblée Nationale n° 3192 - Sénat n° 211 - 13/12/1985
- (3) Emission de polluants du trafic routier - Influence des limitations de vitesse - R. JOUMARD - INRETS - CERNE - 1985
- (4) La pollution atmosphérique - J.P. DIETRIE - Dunod - 1969
- (5) Total (C.F. Raffinage) - Journée AFITE - 24 octobre 1985
- (6) J.O. des Communautés Européennes
- (7) Influence de la régulation du trafic urbain sur l'émission de polluants automobiles - PONTHEU - NADEAU - PARASKEVOPOULOS - 7e Congrès International sur la qualité de l'air - SYDNEY - 1986

CHAPITRE 3

LA DIFFUSION

LA DIFFUSION (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)3.1 - DEFINITIONS

La diffusion est un phénomène par lequel les diverses parties d'un fluide confiné dans une enceinte deviennent homogènes (en composition, température, etc.) en se répartissant également dans celle-ci.

On distingue :

- LA DIFFUSION MOLECULAIRE, conséquence du mouvement brownien des molécules qui contribue par exemple à répartir uniformément un gaz étranger introduit dans une enceinte contenant de l'air au repos.
- LA DIFFUSION TURBULENTE : au phénomène précédent, vient se superposer, le cas échéant, en fonction des caractéristiques du milieu, un second processus appelé diffusion turbulente. C'est en particulier le cas dans l'atmosphère, où la turbulence d'origine thermique et/ou dynamique est toujours présente. Les coefficients de diffusion associés sont supérieurs de plusieurs ordres de grandeur aux coefficients de diffusion moléculaires.

3.2 - CAS DES GAZ D'ECHAPPEMENT

La combustion d'hydrocarbures (véhicules à moteur) conduit, par une réaction secondaire, à l'émission dans l'air ambiant, par l'intermédiaire des pots d'échappement, d'un certain nombre de substances toxiques.

ECHANGES THERMIQUES : les gaz chauds se refroidissent au contact de l'air plus froid, en élevant la température des particules d'air voisines.

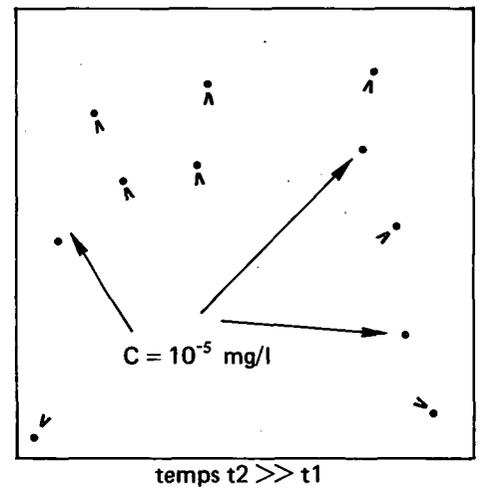
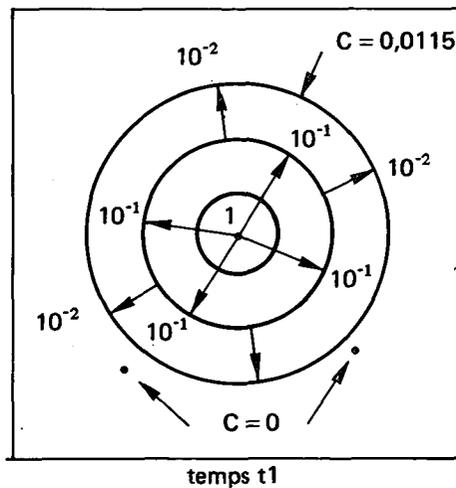
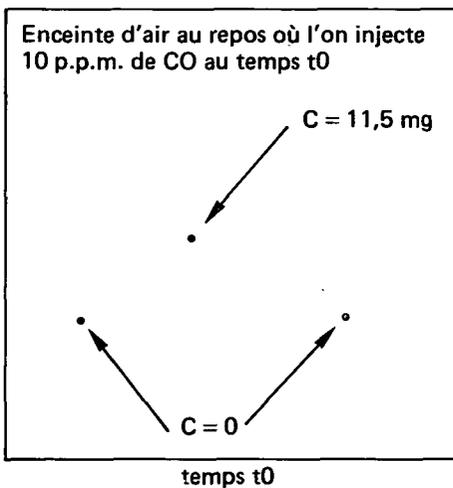
() Références bibliographiques cf. fin de chapitre

ECHANGES MOLECULAIRES : à une concentration unitaire élevée se substitue une concentration moyenne plus faible. Si le milieu est isotrope ce processus opère jusqu'à ce que le milieu soit de nouveau en équilibre.

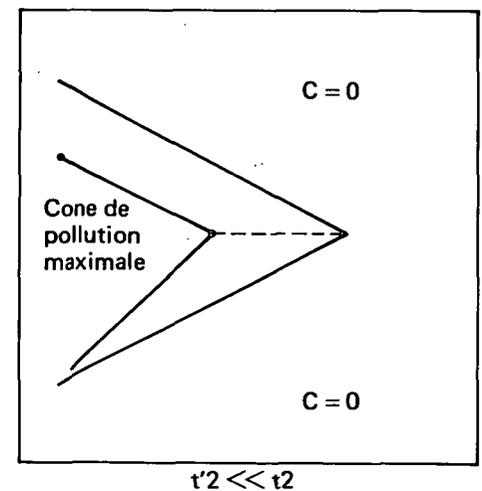
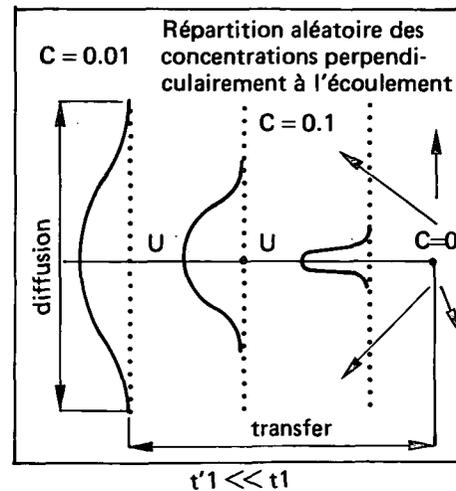
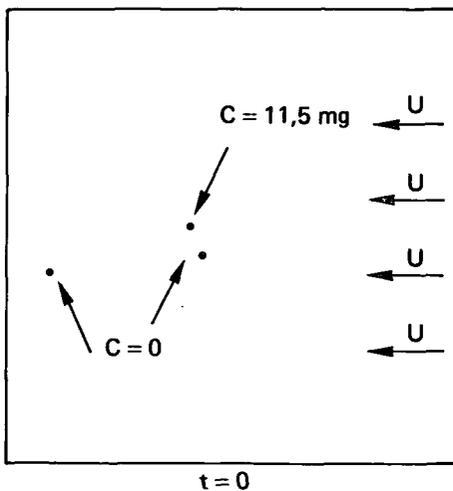
Dans l'atmosphère, la diffusion est toujours turbulente, sauf peut être dans les premiers centimètres au-dessus du sol ; elle se traduit physiquement par la variation instantanée de la vitesse du vent due au passage de celui-ci sur les discontinuités du sol.

Plus le sol est rugueux, plus la turbulence sera importante et favorisera la diffusion (la diffusion s'effectue dans toutes les directions). Néanmoins, la mesure des concentrations résiduelles s'effectue dans le sens de l'écoulement ou panache là où les concentrations sont les plus élevées.

Diffusion moléculaire



Diffusion moléculaire - turbulente



3.3 - PREDOMINANCE DES FACTEURS METEOROLOGIQUES

Dans le schéma précédent, on visualise la différence entre un milieu au repos et un milieu en mouvement.

Dans le cas d'un système homogène et isotrope en principe seule la diffusion moléculaire s'opère ; en revanche dans un milieu quelconque tel que l'air des espaces extérieurs, les caractéristiques du milieu ambiant interfèrent sur la diffusion. Ainsi, la direction et la vitesse du vent favorisent l'écoulement des molécules, de même, ses fluctuations instantanées favorisent la dispersion.

Cette turbulence atmosphérique peut être, d'origine mécanique (passage du vent sur les aspérités du sol telles que maisons, arbres, etc.) ou d'origine thermique (conséquence de l'existence d'un gradient vertical de température).

Ces deux causes peuvent intervenir séparément ou simultanément, leurs actions vis-à-vis d'une émission gazeuse, conditionnant totalement la diffusion de ces substances dans l'air environnant.

LE VENT :

Le vent est un mouvement quasi horizontal de l'air qui tend à équilibrer des zones de pression différentes.

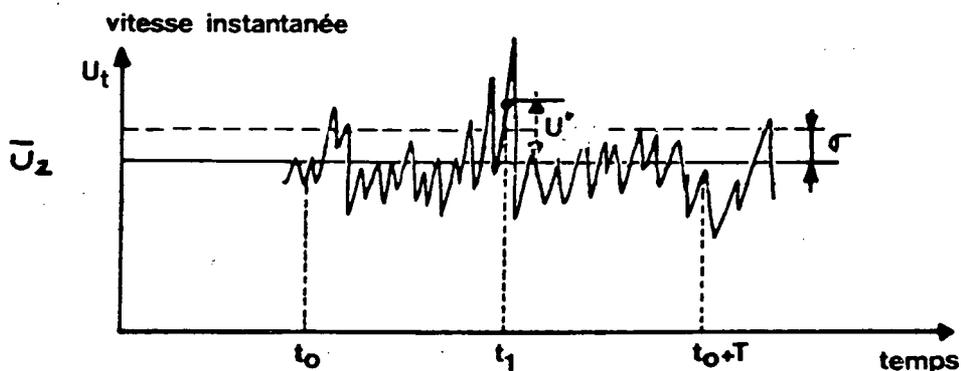
Près du sol (altitude < 200 mètres) il est directement influencé par celui-ci, ce qui se caractérise lors de sa rencontre avec des obstacles (arbres, maison, immeubles, etc.) par un freinage de celui-ci, accompagné d'une agitation ou turbulence.

Schématiquement, la vitesse instantanée du vent à l'altitude Z est :

$$U(z, t) = \bar{U}(z) + U'(z, t)$$

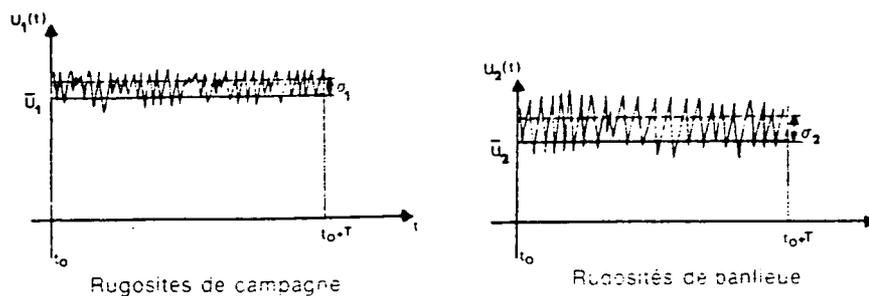
$\bar{U}(z)$: vitesse moyenne du vent à la hauteur z au-dessus du sol pendant le temps t . En général, $t = 10$ minutes, ainsi sur l'ensemble du réseau national de météorologie lorsque l'on donne des données de vent en valeur tri-horaire (ou horaire), il s'agit en fait d'un vent moyen en module et direction sur les dix dernières minutes précédant l'information.

$U'(z, t)$: fluctuation correspondante à l'instant t . C'est le facteur turbulent. $U'(z, t)$ est l'écart de la vitesse instantanée à la valeur moyenne $\bar{U}(z)$, elle est caractérisée par son écart type σ_u .



La turbulence variant en fonction de l'occupation du sol, la connaissance de celle-ci permet d'estimer ce facteur turbulent qui conditionne la diffusion.

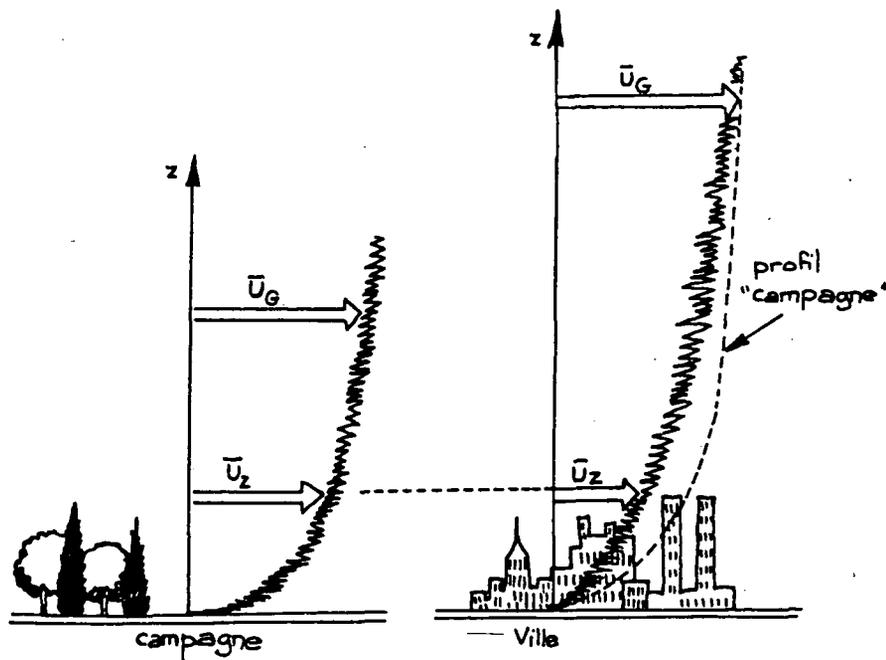
A titre d'exemples, les deux graphiques ci-dessous montrent deux types de turbulences, fonction de deux rugosités différentes (enregistrements synchrones).



Le vent utilisable dans les modèles de calcul prévisionnel est le vent réellement mesuré sur le site d'étude. Cette mesure n'étant pas aisée, on peut en première approximation partir du vent Aéroport et moyennant quelques modifications, l'utiliser sur le site expérimental.

VARIATION AVEC L'ALTITUDE

Le vent varie avec l'altitude ; faible au niveau du sol du fait des forces de frottement, il croît avec la hauteur et se stabilise à une hauteur Z_g à une vitesse constante indépendante de la rugosité sous-jacente, pour une situation météorologique donnée.



$$U(z) = \frac{U_0}{K} \log \frac{z}{z_0}$$

. u_0 : vitesse de référence du vent à 10 mètres d'altitude en rase campagne.

. z : hauteur.

. z_0 : rugosité amont.

. k : constante.

CLASSES DE RUGOSITE

Classe de rugosité	Plan d'eau	Rase campagne	Zone rurale	Zone urbanisée	Centre ville
z _o (mètres)	0,005	0,07	0,3	1	2,5
k	0,166	0,202	0,234	0,266	0,292

Variation du site (changement de rugosité)

$$u'(z') = u(z) \frac{k \operatorname{Log} \frac{z}{z_o}}{k' \operatorname{Log} \frac{z'}{z'o}}$$

Lorsque l'on passe d'une rugosité à une autre (changement de site), la modification de la nouvelle vitesse du vent s'exprime par la fraction ci-dessus.

- . z : altitude station météo
- . z_o : rugosité amont station météo
- . k : coefficient station météo
- . z' : altitude site expérimental
- . z'_o : rugosité amont site expérimental
- . k' : coefficient site expérimental
- . u(z) : vitesse du vent à la station météo à l'altitude z

NOTA : z_o appelée aussi longueur de rugosité est fonction de la hauteur des aspérités dominantes et correspond en général à 1/10e environ de leur hauteur.

La température de l'air

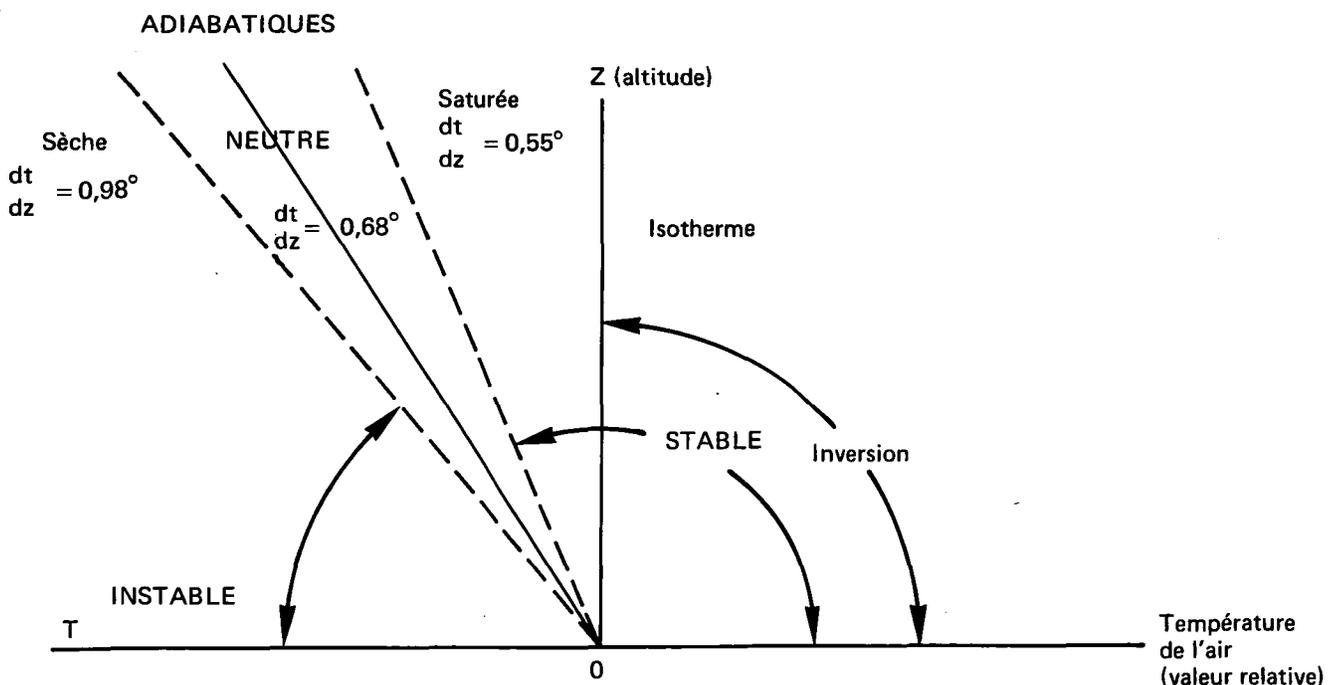
En général, la température de l'air varie avec l'altitude du lieu d'observation. Il est courant de dire que la température de l'air décroît avec l'altitude d'environ 1 degré par 100 mètres. En réalité il s'agit d'une décroissance de 0,68 degré par 100 mètres pour l'atmosphère standard (neutre).

La couche d'air peut être de trois types : INSTABLE, NEUTRE, STABLE.

Ces trois états sont fonction de la répartition verticale de la température appelée gradient thermique.

$$\text{grad T} = - \frac{dT}{dz}$$

Types d'atmosphères et stabilité thermique



Ce paramètre conditionne également la diffusion ; on parle alors de turbulence d'origine thermique. Le phénomène est simple à concevoir. Les gaz d'échappement émis sont à une certaine température (plus élevée que la température de l'air ambiant). Ces molécules ont tendance à s'élever et à chaque instant les températures respectives de l'air environnant et de ces molécules peuvent soit favoriser l'élévation des molécules (diffusion), soit les freiner et le cas échéant faire retomber ces molécules (mauvaise diffusion).

ETATS	NEUTRE	INSTABLE	STABLE
Gradient de température	$d T / d z$ 0,55°/100 m à 0,98°/100 m	décroissance > 0,98°/100 m	croissance ou décroissance < 0,55°/100 m
Evolution de la Pollution	$T^{\circ} \text{pollution} = T^{\circ} \text{Air}$ Destination fonction des conditions initiales d'émission	La particule qui monte a toujours $T^{\circ} > T^{\circ} \text{Air}$: elle continue à monter	La particule qui monte a toujours $T^{\circ} < T^{\circ} \text{Air}$: elle redescend

Interaction vent - température - rugosité du sol

Comme on vient de le voir, les paramètres de base de la diffusion de la pollution sont le vent et la turbulence dans les basses couches de l'atmosphère, sachant que la turbulence est elle-même fonction de la topographie du site et de la structure dynamique et thermique verticale.

On concentre souvent cette information dans le terme STABILITE DE L'AIR.

Les vents faibles sont souvent associés à une forte stabilité verticale des basses couches de l'atmosphère ; on est en présence d'une turbulence d'origine thermique (stabilité de l'air - inversion) favorable à une accumulation de la pollution (Absence de brassage - échanges limités).

Inversement, les vents forts sont associés, soit à une atmosphère indifférente, soit instable ; dans les deux cas, la turbulence est d'origine dynamique et elle est d'autant plus importante que les irrégularités du sol sont accentuées. Le brassage de l'air est important, la diffusion également.

Le couple gradient thermique - vent, caractéristique de l'état de l'atmosphère étant difficile d'approche par le seul fait que six stations de radio - sondage quadrillent la France avec deux essais à midi et minuit, on substitue à la mesure du gradient de température, le niveau d'ensoleillement ou à défaut la nébulosité du ciel qui sont deux paramètres mesurés dans la majorité des 224 stations principales de la météorologie.

La classification la plus usitée est due à PASQUILL (cf. Bibliographie n°1) : la table de contingence vent - ensoleillement le jour, nébulosité la nuit détermine six classes de stabilités.

A - B - C : Instable (forte à faible)

D : Neutre ou indifférente

E - F : Stable

Vitesse du vent en m/s mesuré à 10 m au-dessus du sol	JOUR			NUIT	
	Insolation			Nébulosité (octets)	
	Forte	Moyenne	Faible	< 3/8	> 4/8
2	A	A - B	B	-	-
2 - 3	A - B	B	C	E	F
3 - 5	B	B - C	C	D	E
5 - 6	C	C - D	D	D	D
> 6	C	D	D	D	D

A : forte instabilité

B : instabilité $\frac{dT}{dz} > 0,98^\circ\text{C}/100 \text{ mètres}$

C : légèrement instable

D : neutre $0,55^\circ\text{C}/100 \text{ mètres} < \frac{dT}{dz} < 0,98^\circ\text{C}/100 \text{ mètres}$
(Adiabatique)

E : stabilité $\frac{dT}{dz} < 0,55^\circ\text{C}/100 \text{ mètres}$

F : forte stabilité $\frac{dT}{dz} > 0$ (inversion)

A partir de cette classification et compte tenu des données directement accessibles, nous proposons une classification similaire :

Nébulosité(*) Vitesse	JOUR			NUIT	
	0.1.2	3.4.5	6.7.8	0.1.2.3.4	5.6.7.8
1 - 2	A	B	C	E	E
3 - 4 - 5	B	C	C	E	D
6 m/s	C	D	D	D	D

Nébulosité(*) Vents nuls	JOUR			NUIT	
	0.1.2	3.4.5	6.7.8	0.1.2.3.4	5.6.7.8
	A	B	C	E	E

(*) La nébulosité s'évalue en octet selon la couverture nuageuse du ciel pour 0 le ciel est dégagé, il y a absence de nuages, pour 8 le ciel est entièrement couvert.

Nous avons supprimé les classes intermédiaires ainsi que la classe F, dont l'usage est fortement déconseillé en zone urbaine. Nous substituons à l'ensoleillement connu seulement trois fois par jour, la nébulosité associée à l'heure de lever ou de coucher du soleil : ainsi, une observation réalisée à 6 h TU, correspond à une observation de nuit entre le 26 août et le 16 avril (1 h avant le lever du soleil) à une observation de jour dans l'intervalle 16 avril - 26 août 1986.

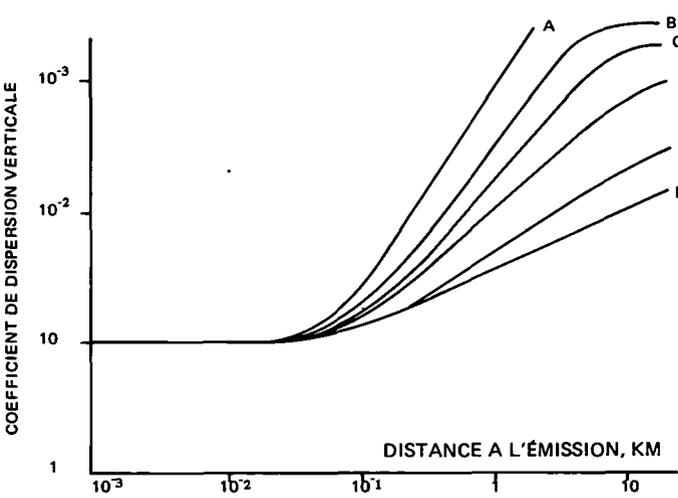
Les vents nuls ($u = 0$) sont comptabilisés à part : bien que non qualifiables au niveau de la pollution, ils apparaîtront dans les statistiques de fréquence d'apparition.

A chaque classe de stabilité pour différents types de sol, en fonction de la distance à la source d'émission, on définit des coefficients de diffusion turbulente.

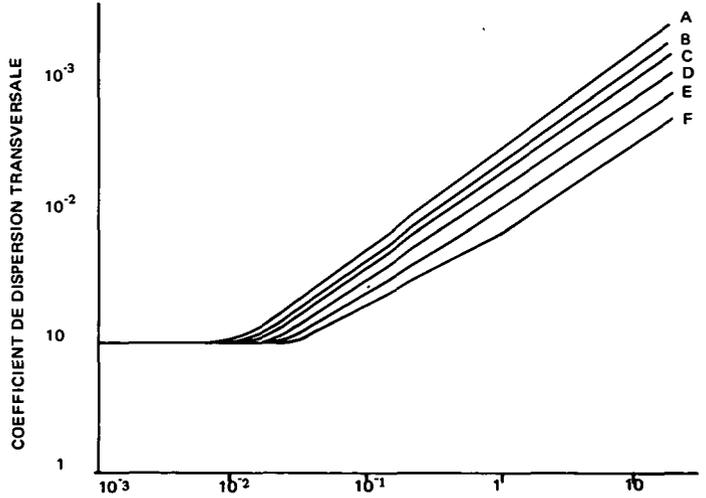
Les planches ci-après présentent les paramètres de dispersion verticale et latérale élaborés expérimentalement par Bowne.

3.4. - ORDRE DE GRANDEUR DES NIVEAUX DE POLLUTION OBSERVES DANS L'ENVIRONNEMENT

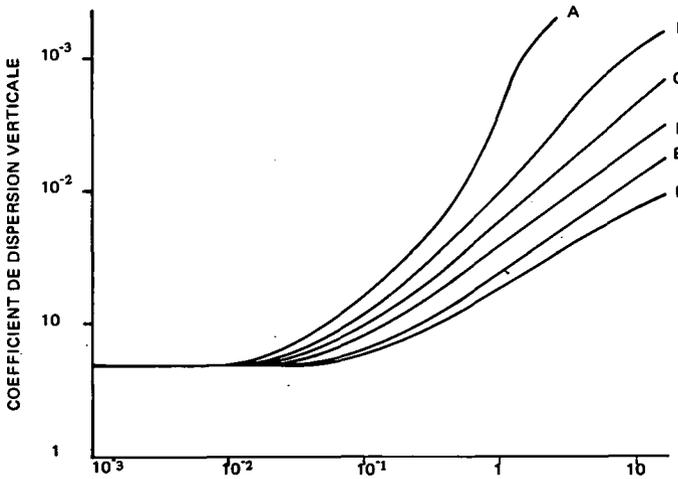
La pollution due aux gaz d'échappement est liée à une densité de circulation élevée à laquelle s'ajoutent des contraintes locales particulières (météorologie, relief), elle est particulièrement forte dans les centres urbains importants où l'on observe quotidiennement des rues embouteillées et mal ventilées.



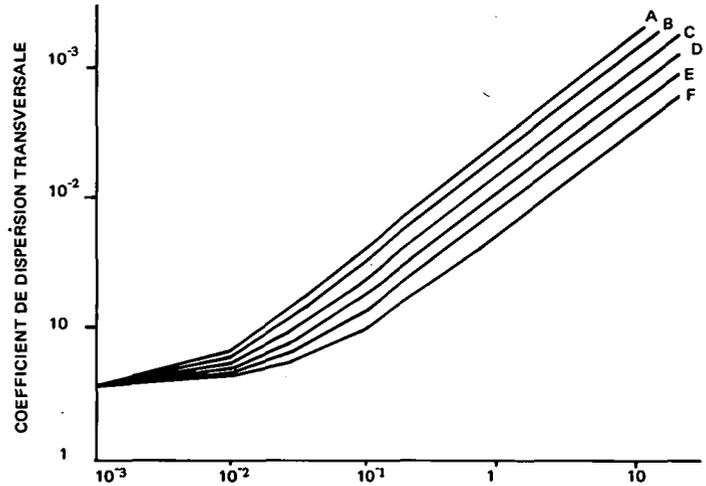
Paramètre de dispersion vertical σ_z en fonction de la distance à la source et des classes de stabilité, pour un environnement urbain de forte rugosité. Les classes de stabilité sont estimées d'après les observations faites dans une zone rurale proche (aérodrome par exemple).



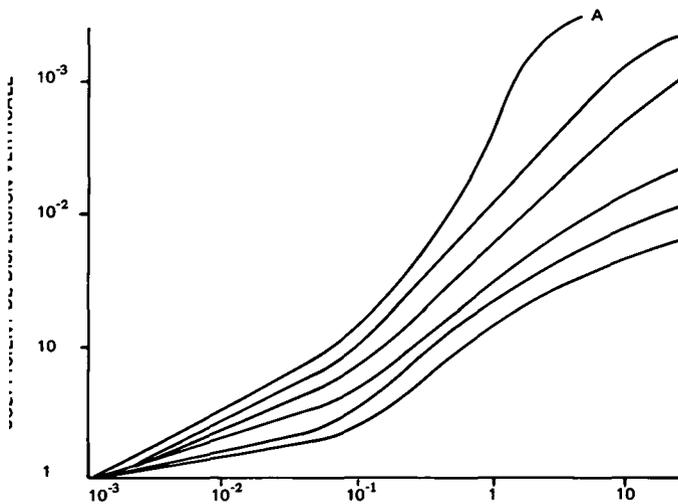
Paramètre de dispersion latérale σ_y en fonction de la distance à la source et des classes de stabilité, pour un environnement urbain de forte rugosité. Les classes de stabilité sont estimées d'après les observations faites dans une zone rurale proche (aérodrome par exemple).



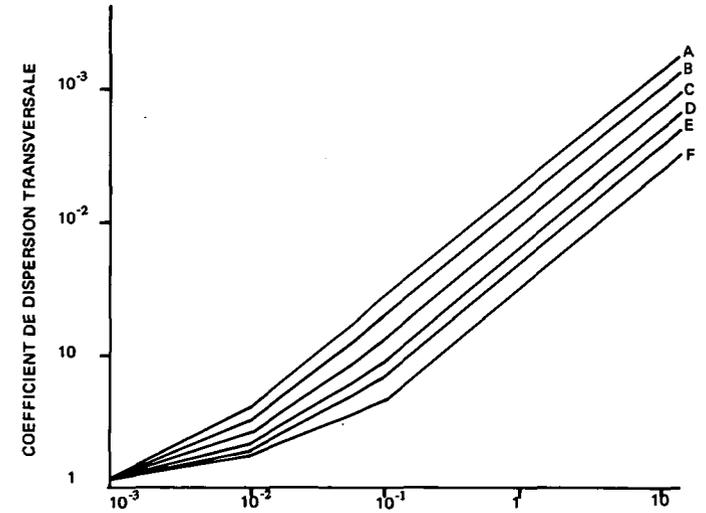
Paramètre de dispersion verticale σ_z en fonction de la distance à la source et des classes de stabilité, pour un environnement suburbain de rugosité moyenne. Les classes de stabilité sont estimées d'après les observations faites dans une zone rurale proche (aérodrome par exemple).



Paramètre de dispersion latérale σ_y en fonction de la distance à la source et des classes de stabilité, pour un environnement suburbain de rugosité moyenne. Les classes de stabilité sont estimées d'après les observations faites dans une zone rurale proche (aérodrome par exemple).

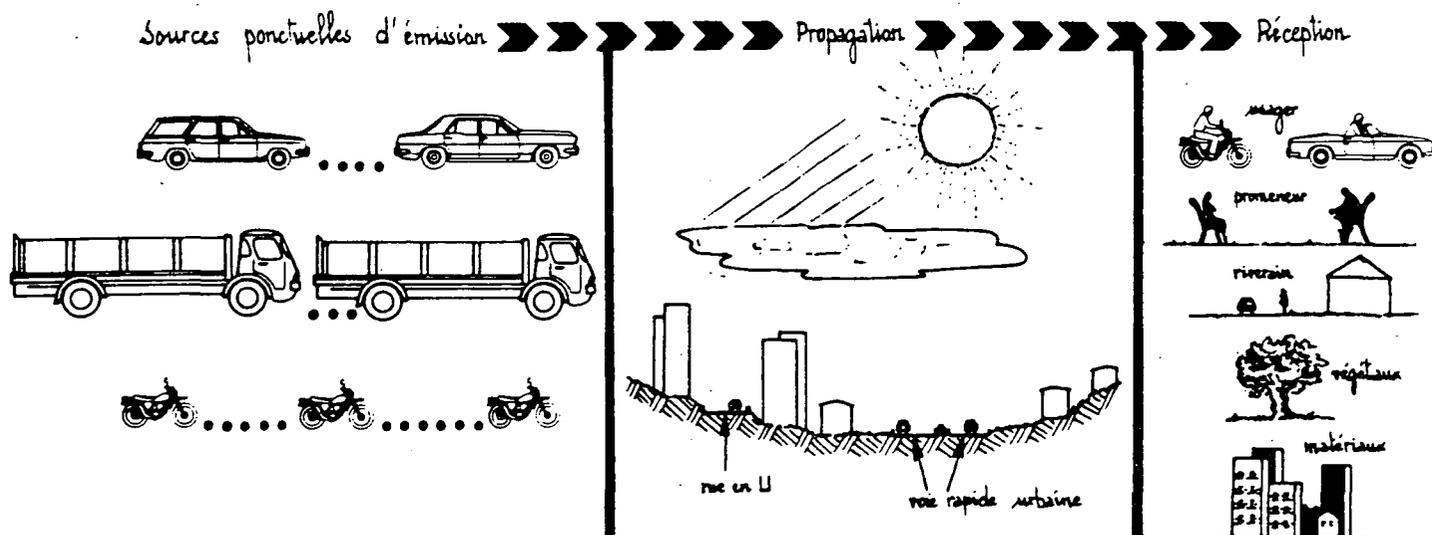


Paramètre de dispersion verticale σ_z en fonction de la distance à la source et des classes de stabilité, pour un environnement rural de faible rugosité.



Paramètre de dispersion latérale σ_y en fonction de la distance à la source et des classes de stabilité, pour un environnement rural de faible rugosité.

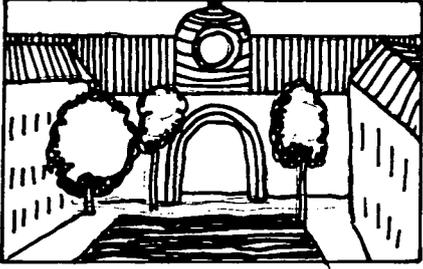
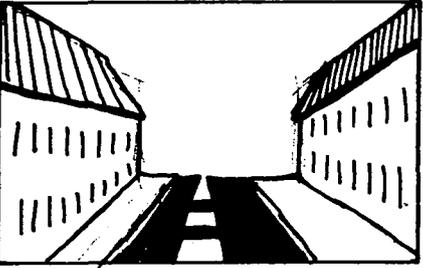
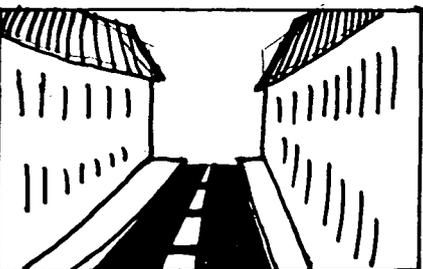
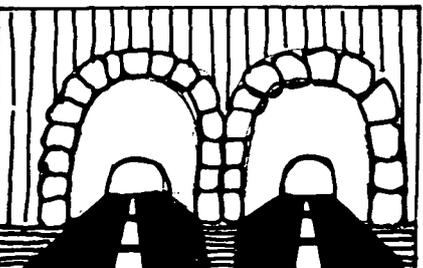
Le cycle Emission - Propagation - Réception peut être représenté par le schéma ci-dessous :

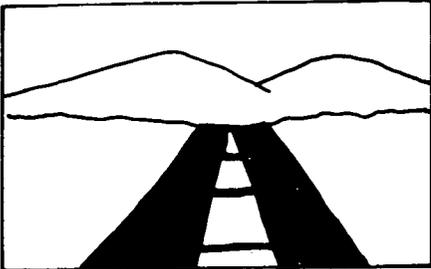
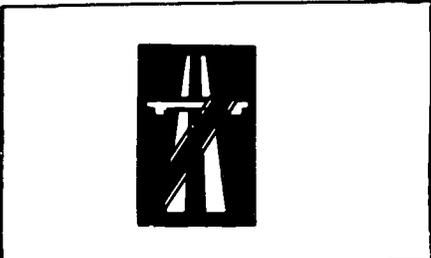
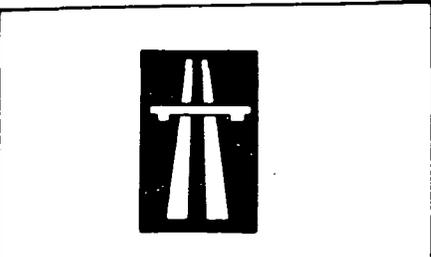


L'exposition plus ou moins importante des populations, leur degré de résistance, sont autant de facteurs qui conditionnent l'acceptation par l'organisme de cette agression qu'est l'absorption quasi - permanente de substances polluantes. Les valeurs énoncées ci-après sont des concentrations en monoxyde de carbone (CO) réellement observées en bordure de voie (piétons) lors d'expérimentations.

L'appréciation portée n'est valable que pour une exposition permanente, les critères selon l'Organisation Mondiale de la Santé sont illustrés par le tableau suivant.

Concentration permanente (8 H consécutives)	Effet sur la santé
0 - 5 ppm	Négligeable
5 - 10 ppm	Faible
10 - 20 ppm	Modéré
20 - 30 ppm	Notable
30 - 40 ppm	Sérieux
40 - 50 ppm	Assez élevé
50 - 60 ppm	Elevé
> 60 ppm	Très élevé

SITE	Mesures à l'heure de pointe du soir - Trafic journalier	Incidence pour une exposition permanente (CO)
 <p data-bbox="232 770 315 801">Place</p>	<p data-bbox="555 524 973 562">CO -> 5 p.p.m. à 12 p.p.m.</p> <p data-bbox="555 667 911 705">Pb -> 2,5 µg à 4 µg/m³</p>	<p data-bbox="1276 528 1376 560">FAIBLE</p>
 <p data-bbox="225 1234 321 1265">Avenue</p>	<p data-bbox="555 1003 973 1041">CO -> 6 p.p.m. à 15 p.p.m.</p> <p data-bbox="555 1144 973 1182">Aldéhydes 21 µg à 44 µg/m³</p>	<p data-bbox="1276 954 1376 985">FAIBLE</p>
 <p data-bbox="247 1637 299 1668">Rue</p>	<p data-bbox="555 1429 984 1467">CO -> 10 p.p.m. à 25 p.p.m.</p> <p data-bbox="555 1496 879 1534">Pb -> 1 µg à 5 µg/m³</p> <p data-bbox="555 1541 973 1579">Aldéhydes 15 µg à 36 µg/m³</p>	<p data-bbox="1276 1384 1392 1415">NOTABLE</p>
 <p data-bbox="236 2029 335 2060">Tunnel</p>	<p data-bbox="555 1738 1000 1776">CO -> 19 p.p.m. à 100 p.p.m.</p> <p data-bbox="555 1783 1000 1821">NOx -> 1,2 p.p.m. à 3 p.p.m.</p> <p data-bbox="555 1827 859 1865">Pb -> 10 à 13 µg/m³</p>	<p data-bbox="1244 1738 1408 1769">TRES ELEVE</p>

SITE	Mesures à l'heure de pointe du soir - Trafic journalier	Incidence pour une exposition permanente (CO)
	CO -> 2 p.p.m. Hc -> 0,5 p.p.m. NOx -> 0,08 p.p.m. Pb -> 0,11 à 0,2 µg/m ³	NEGLIGEABLE
Route de rase campagne		
	CO -> 4 p.p.m. Hc -> 1,6 p.p.m. NOx -> 0,25 p.p.m.	IDEM
V.R.U. urbaine		
	CO -> 7,5 p.p.m. Hc -> 2,3 p.p.m. Pb -> 0,5 à 0,92-µg/m ³ /10 ³ véh./h NOx -> 0,4 p.p.m.	FAIBLE
Autoroute interurbaine		
	CO -> 10 p.p.m. à 13 p.p.m. NOx -> 0,15 à 0,83 p.p.m. Pb -> 3,7 à 8,3 µg/m ³	MODERE
Autoroute urbaine		

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Atmosphérie diffusion - S. PASQUILL, édit. Ellis Horwodd - 1974
- (2) Les données climatiques sur les sites des opérations expérimentales - DUCHENE-MARULLAZ - CSTB Nantes - 1981
- (3) Météorologie et pollution de l'air monographie scientifique - La Documentation Française - Paris - 1978
- (4) Manuel de gestion de la qualité de l'air des villes - Organisation mondiale de la santé - 1978
- (5) Les niveaux de pollution près des autoroutes et voies rapides urbaines - JOUMARD, VIDON - Revue Pollution Atmosphérique n° 82 - Avril-Juin 1979 pp. 149 à 152
- (6) Pollution de l'air près des autoroutes et voies rapides urbaines - NADEAU - CETE Méditerranée - 1980
- (7) Pollution atmosphérique due à la circulation routière - Mesures sur la ville de Marseille - NADEAU - CETE Méditerranée - 1981

CHAPITRE 4

LA REGLEMENTATION

LA REGLEMENTATION (1)

LA LISTE DES TEXTES ET RECOMMANDATIONS ADMINISTRATIVES FIGURANT DANS CE CHAPITRE REGROUPE LES TEXTES PARUS AVANT LE 1er JUIN 1986.

En matière de pollution de l'air par les transports, il y a lieu de distinguer les textes réglementaires liés aux émissions (arrêtés du Ministère des Transports en France et Directives de la Communauté Economique Européenne) et les textes législatifs ou recommandations émises par différents organismes en ce qui concerne les teneurs admissibles de tel ou tel polluant dans l'environnement.

4.1 - REGLEMENTATION DES EMISSIONS

4.1.1 - Textes législatifs français

La liste ci-après présente la réglementation actuellement en vigueur en France et relative :

- à l'homologation des véhicules
- au contrôle des émissions de gaz d'échappement
- aux caractéristiques des carburants
- aux caractéristiques des matériels et instruments de mesure

() Références bibliographiques cf. fin de chapitre.

- + CODE DE LA ROUTE Articles R69 et R71.
- + LOI DU 2 AOUT 1961 relative à la lutte contre les pollutions atmosphériques et les odeurs.
- + ARRETE DU 12 NOVEMBRE 1963 relatif aux fumées produites par les véhicules automobiles (complété par arrêté du 13.02.74).
- + ARRETE DU 12 NOVEMBRE 1963 relatif à l'agrément d'un laboratoire pour la mesure des fumées d'échappement produites par les véhicules automobiles et agrément d'appareils de mesure.
- + CIRCULAIRE DU 26 NOVEMBRE 1963 relative à la lutte contre la pollution atmosphérique par les fumées d'automobiles.
- + ARRETES DU 28 DECEMBRE 1966 fixant les caractéristiques de l'essence du super carburant, du gaz oil, du butane, du propane, du fuel.
- + DECRET DU 6 MARS 1972 relatif à la réglementation de la catégorie d'instruments mesurant la teneur en oxydes de carbone des gaz d'échappement des moteurs.
- + ARRETE DU 12 FEVRIER 1973 relatif aux appareils destinés à mesurer la teneur en oxydes de carbone des gaz d'échappement des moteurs.
- + ARRETE DU 13 FEVRIER 1974 relatif à l'homologation des véhicules suivant les dispositifs du règlement n° 24 annexé à l'accord de Genève du 20 MARS 1958.
- + ARRETE DU 13 FEVRIER 1974 relatif à la réception CEE des véhicules en ce qui concerne les émissions de polluants provenant des moteurs Diesels destinés à la propulsion des véhicules.
- + ARRETE DU 16 JANVIER 1975 relatif aux émissions du gaz polluants par les moteurs à essence des véhicules.
- + ARRETE DU 26 FEVRIER 1976 relatif aux dispositifs antipollution et dispositifs économiseurs du carburant destinés à être installés sur les véhicules en service.
- + CIRCULAIRE DU 13 MAI 1976 relative à la réception des véhicules automobiles.
- + ARRETE DU 5 OCTOBRE 1977 Emission des gaz polluants par les moteurs à essence des véhicules.
- + ARRETE DU 3 JANVIER 1978 Fumées produites par les véhicules automobiles.
- + CIRCULAIRE DU 2 FEVRIER 1978 relative au contrôlé des émissions de monoxyde de carbone. Lutte contre la pollution des voitures à moteur à essence.

- + ARRETE DU 13 OCTOBRE 1978 portant notification des caractéristiques de l'essence.
- + ARRETE DU 18 MAI 1979 relatif à l'équipement des véhicules automobiles utilisant comme source d'énergie des gaz de pétrole liquéfiés (GPL) (abrogé le 01.10.84).
- + ARRETE DU 23 JANVIER 1979 Contrôle des émissions avant mise en service.
- + ARRETE DU 3 SEPTEMBRE 1979 relatif aux caractéristiques du mélange spécial carburant liquéfié.
- + ARRETE DU 15 JUILLET 1980 relatif aux dispositions relatives à l'adaptation de progrès technique des véhicules en service.
- + ARRETE DU 7 JANVIER 1982 relatif à l'équipement des véhicules automobiles utilisant comme source d'énergie les gaz de pétrole liquéfiés.
- + ARRETE DU 17 JUILLET 1984 relatif aux contrôles des émissions de gaz polluants des moteurs effectués sur les véhicules automobiles avant leur mise en circulation.
- + ARRETE DU 15 JANVIER 1985 relatif à l'équipement des véhicules automobiles utilisant comme source d'énergie les gaz de pétrole liquéfiés.

4.1.2 - Directives des Communautés Européennes

Dans le domaine de la réglementation de construction des véhicules, la France est liée par deux accords internationaux :

- l'accord de GENEVE du 20 mars 1958 pris dans le cadre de la Commission Economique pour l'Europe des Nations-Unies ;
- le traité de ROME instituant la Communauté Economique Européenne.

L'objectif est d'établir à la fois des règlements internationaux et une reconnaissance réciproque des homologations données en vertu de ces règlements.

Dans le domaine de la réglementation antipollution sont donc applicables en France les règlements de GENEVE ou les directives de BRUXELLES, dont les parties techniques sont identiques.

Les réglementations européennes majeures sont les suivantes :

- + DIRECTIVE 70.220 CEE DU 20 MARS 1970 concernant le rapprochement des législations.
- + DIRECTIVE CEE DU 28 MAI 1974 Emission de gaz polluants par les moteurs à allumage commandé des véhicules.
- + DIRECTIVE 77.102 CEE DU 30 NOVEMBRE 1976 Emissions de gaz polluants par les moteurs à allumage commandé des véhicules.
- + DIRECTIVE 77.312 CEE DU 29 MARS 1977 Exposition de la population à la pollution par le plomb.
- + DIRECTIVE CEE DU 19 JUIN 1978 relative à la teneur en plomb de l'essence.
- + DIRECTIVE CEE DU 14 JUILLET 1978 limitation des émissions de gaz par les moteurs à essence.
- + DIRECTIVE 82.884 CEE DU 3 DECEMBRE 1982 Valeur limite pour le plomb contenu dans l'atmosphère.
- + DIRECTIVE 83.351 CEE DU 16 JUIN 1983 Emission de gaz polluants par les véhicules à moteur à allumage commandé et Diesel.
- + DIRECTIVE CEE 85.203 DU 7 MARS 1985 concernant les normes de qualité de l'air pour le dioxyde d'azote.
- + DIRECTIVE CEE 85.210 DU 20 MARS 1985 relative à l'introduction obligatoire de l'essence sans plomb à partir d'octobre 1989 avec parallèlement abaissement de la teneur en plomb de l'essence de 0,4 à 0,15 g/litre.

4.1.3 - Evolution de la réglementation

4.1.3.1 - L'évolution de la composition des carburants

Pour le gazole : limitation de la teneur en soufre :

à 0,5 % au 1er octobre 1976

à 0,3 % au 1er avril 1980

Pour l'essence et le super-carburant : limitation de la teneur en plomb :

à 0,55 g/l au 1er avril 1976

à 0,50 g/l au 1er janvier 1979

à 0,40 g/l au 1er janvier 1981

à 0 g/l au 1er octobre 1989 (essence sans plomb).

4.1.3.2 - L'évolution de la réglementation des véhicules

Les discussions de Bruxelles portent sur une réduction substantielle des émissions de polluants ainsi que sur la nécessité d'une solution unanime au niveau des pays de la Communauté.

Le Conseil Environnement (séances du 21 mars 1985 et 28 juin 1985) a pris un certain nombre de décisions qui devraient se concrétiser par des Directives Européennes ; nous citerons :

- respect des normes de réduction par des moyens techniques différents (au départ le seul pot catalytique avait été envisagé) ;
- modification vers 1987 du cycle d'essai Européen par l'addition de trajets non urbains ;
- mesures d'incitation fiscale en faveur de la voiture propre ;
- propositions concernant les véhicules de plus de 3,5 tonnes, les moteurs Diesel et la limitation de vitesse.

Enfin, le Conseil Environnement a publié un projet de Directive concernant les valeurs limites à l'émission pour les 3 types de cylindrés concernés et les dates d'entrée en vigueur.

Valeurs limites adoptées par le Conseil Environnement
du 28 juin 1985 (projet de directive)
en g/essai

CATEGORIE C	NORMES			DATES D'ENTREE EN VIGUEUR (1)	CONSEQUENCES DES NORMES
	CO	HC.NOx	NOx		
C > 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 < c < 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.
c < 1 400 cc	45 (-62%)	15 (-60%)	6 (-45%)	1990-1991	1re 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

4.1.4 - Contrôle des véhicules en service

En ce qui concerne le contrôle des véhicules en service (arrêté du 16 janvier 1975 modifié par les arrêtés du 4 et du 5 octobre 1977) seule la vérification de la teneur en monoxyde de carbone des gaz d'échappement émis au régime de ralenti est effectuée (essai de type 2).

Les contrôles antipollution réalisés dans les garages simultanément au réglage de la consommation indiquent les teneurs (en volume) à ne pas dépasser, soit 4,5 % de CO.

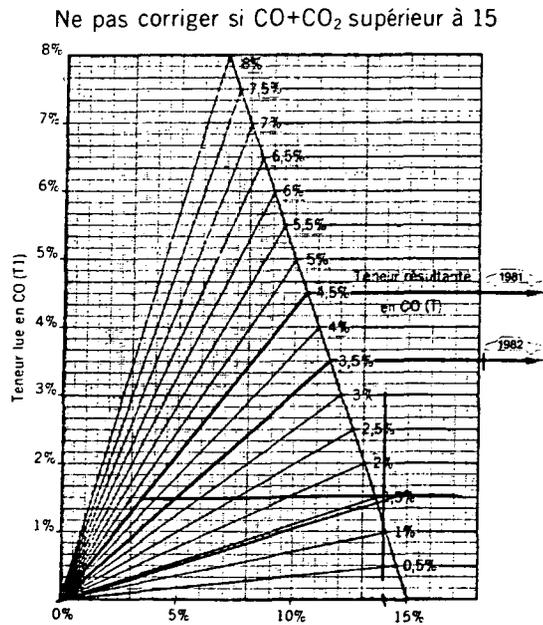
ESSAI ANTIPOLLUTION

VEHICULE N° 5553 JT 13
 TYPE 1510
 Kms 5442
 DATE 06/12/85

LE VEHICULE A LA SORTIE DE NOS ATELIERS PRESENTAIT

	Co (T1)	Co corrigé	Co ₂ (T2)
T:	1,5	1,4%	14

OBSERVATIONS :



CONTROLE ANTIPOLLUTION D'UN VEHICULE LORS D'UNE REVISION

4.2 - CONCENTRATION ADMISSIBLE DANS L'ENVIRONNEMENT

La qualité de l'air ambiant en France est réglementée, comme pour les émissions, par des normes établies au niveau Européen (directives). Actuellement seules sont réglementées les teneurs en SO_2 (essentiellement Industries), les particules en suspension, les oxydes d'azotes et le plomb. Nous donnons ci-après pour différents polluants, soit des maximums, soit des valeurs guides de non dépassement issues soit de recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé (O.M.S.), soit de différents pays tels que le Japon et les Etats-Unis d'Amérique.

Le monoxyde de carbone ($1 \text{ mg/m}^3 = 0,87 \text{ p.p.m.}$)

O.M.S. -> Maximum 1 heure 40 mg/m^3 -> Maximum 8 heures 10 mg/m^3

ETATS-UNIS -> Maximum 1 heure 40 mg/m^3 -> Maximum 8 heures 10 mg/m^3 (1fois/an)

JAPON -> Maximum 1 heure 40 mg/m^3 -> Maximum 8 heures $11,5 \text{ mg/m}^3$
-> Maximum sur 24 heures 23 mg/m^3

ALLEMAGNE DE L'OUEST -> Maximum 1 heure 30 mg/m^3

-> Maximum annuel 10 mg/m^3

Oxydes d'azote

+ NO ($1 \text{ } \mu\text{g/m}^3 = 0,81 \text{ p.p.b.}$)

ALLEMAGNE DE L'OUEST -> Maximum 1 heure $600 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

-> Maximum 1 an $200 \text{ } \mu\text{g/m}^3$

+ NO₂ (1 µg/m³ = 0,53 p.p.b)

O.M.S. -> Maximum 1 heure 190 à 320 (1 fois/mois)

ETATS-UNIS -> Maximum 1 an 100 µg

JAPON -> Maximum 24 heures 80 - 120 µg

ALLEMAGNE DE L'OUEST -> Maximum 2-12 mois 100 µg

C.E.E. -> Maximum horaire 200 µg (Directive C.E.E. - 7 mars 1985)

Ozone (1 µg/m³ = 0,51 p.p.b.)

O.M.S. -> Maximum 1 heure 120 µg/m³

ETATS-UNIS -> Maximum 1 heure 240 µg/m³ (1 fois par an)

JAPON -> Maximum 1 heure 160 µg/m³

Plomb

ETATS-UNIS -> Maximum sur 3 mois 1,5 µg/m³

C.E.E. -> Maximum annuel 2 µg/m³ (Directive C.E.E. - 3 décembre 1982)

Particules en suspension

Valeurs limites (mesurées par la méthode des fumées noires exprimées en µg/m³)
selon méthode O.C.D.E.

C.E.E. -> Moyenne annuelle 40 à 60 µg/m³

-> Moyenne sur 24 heures 100 à 150 µg/m³

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Code Permanent Environnement et Nuisances - Editions législatives et administratives

CHAPITRE 5

EFFETS DES POLLUANTS

LES EFFETS DES POLLUANTS (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7) (8) (9) (10) -5.1 - LES EFFETS SUR LA SANTE

Les polluants émis sous forme de gaz et de poussières se dispersent dans l'environnement ou se déposent sur le sol aux abords des voies de circulation. L'agression sur l'homme se fait essentiellement et directement par la respiration, elle peut se faire également par contact (picotement des yeux) ou par l'intermédiaire de chaîne alimentaire (consommation de végétaux pollués) dont la contribution apparaît toutefois plus marginale.

Le monoxyde de carbone

Lorsqu'il y a présence de CO dans l'air inspiré, celui-ci diffuse à travers la paroi alvéolaire, se dissout dans le sang, puis se fixe sur l'hémoglobine Hb pour former la carboxyhémoglobine HBCO.

En zone rurale, peu polluée, pour un non fumeur, le taux de carboxyhémoglobine se situe en dessous de 0,01 ; un non fumeur habitant la ville aura un taux de 0,01 à 0,02, un fumeur ayant couramment un taux de 0,05.

L'intoxication chronique par le CO est responsable de signes fonctionnels sans spécificité et de ce fait reste souvent non diagnostiquée. Les symptômes les plus courants en sont les céphalées (ou migraines), l'asténie (état de faiblesse), les vertiges et nausées.

Pour une exposition non permanente à des taux supérieurs à 10-15 p.p.m. (cas des trajets, en voiture, dans les rues, etc.) les personnes les plus sensibles sont les adultes souffrant d'insuffisance respiratoire, les personnes âgées et les enfants.

() Références bibliographiques cf. fin de chapitre

Les oxydes d'azote NO et NO2

NO et NO2 sont difficilement dissociables car NO s'oxyde naturellement en NO2. Le rapport NO/NO2 est caractéristique du type d'émission un rapport de 5 à 6 est typique d'une pollution automobile.

NO, NO2 et O3 ont des actions similaires par leurs effets oxydants. Leur structure chimique les rend peu solubles ce qui leur permet d'atteindre l'alvéole pulmonaire dans des proportions importantes.

Pour le NO, la dose létale est de 350 p.p.m.. Pour les souris aux teneurs courantes celui-ci agit à la fois sur le poumon et l'hémoglobine : sur le poumon, des expériences ont montré que la toxicité aiguë de NO est le quart de celle de NO2.

Pour le NO2, les études épidémiologiques définissent comme seuil à ne pas dépasser 0,05 p.p.m. en moyenne sur 24 heures pour des personnes en bonne santé, pour des sujets plus faibles, un seuil de 0,25 doit être pris comme valeur de pointe pour une exposition d'une heure 3 fois par an.

Il existe pour NO, NO2 et O3 un effet certain au niveau de l'alvéole pulmonaire : les altérations observées sont en général réversibles bien que pouvant aboutir à un emphysème (dilatation anormale des alvéoles pulmonaires pouvant aller jusqu'à la rupture), des bronchites chroniques ou bien entraîner un oedème du poumon.

Indépendamment de leurs propriétés spécifiques, les oxydes d'azote interviennent dans la formation du brouillard photochimique.

Sous l'action du soleil NO réagit avec O3 pour redonner NO2 selon la réaction $\text{NO} + \text{O}_3 \rightarrow \text{NO}_2 + \text{O}_2$; ces réactions produisent des substances telles que l'acroléine, qui est un aldéhyde de formule $\text{CH}_2 = \text{CH} - \text{CHO}$ (réaction de O3 sur les hydrocarbures insaturés), et des nitrates de peroxyacétyl (PAN), irritant pour les yeux et les poumons et nuisible envers les plantes.

Les hydrocarbures HC

Parmi les nombreux hydrocarbures émis, les plus préoccupants sont les Hydrocarbures Aromatiques Polycycliques (H.A.P.) qui peuvent être cancérigènes. Parmi eux, le plus étudié est le Benzoapyrène (B.a.p.). Si l'on veut parler de dose maximale admissible, on peut avancer pour ce composé la valeur de $0,15 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La pollution particulaire

En l'état de nos connaissances il est très difficile d'évaluer le risque sanitaire induit par les poussières issues de la combustion mais aussi de l'usure des matériaux.

La pollution par les métaux

Différents métaux sont émis : plomb, cadmium, nickel, brome, etc... Chacun d'eux ne semble pas devoir être toxique, à l'exception du plomb, dont les innombrables études ont montré la toxicité sur l'organisme. On ignore actuellement comment ces métaux peuvent agir.

A ce sujet, la contribution directe de l'automobile à la contamination de l'organisme par le plomb représenterait 20 % à 50 % de l'imprégnation globale par ce polluant dont l'apport essentiel est imputable aux denrées alimentaires.

Des études et recherches nombreuses sur le sujet ont été réalisées ; on connaît les conséquences sanitaires du plomb, néanmoins, la décision de fabriquer à partir de 1989 de l'essence sans plomb devrait permettre de régler progressivement ce problème.

D'une manière générale, il faut considérer les polluants d'origine automobile comme des co-facteurs additionnels ou des facteurs de risques (et non pas de causes) ; en effet, les citoyens sont soumis à des faibles doses mais de manière continue et sur de longues périodes. Aussi les effets (pour les teneurs environnementales) sont-ils difficilement détectables, indirects. Ils ne peuvent être appréhendés que par des études épidémiologiques longues et complexes, compte tenu de la variabilité spatiale et temporelle du phénomène de pollution atmosphérique, et des inégalités des individus devant le risque (population plus sensible comme les personnes âgées, les enfants, les asthmatiques, les cardiaques, etc.). (Les effets de la pollution font appel à la notion de maladie exogène, qui s'exprime par la modification de l'organisme sous l'influence de facteurs accumulés dans le temps. Le facteur de risque "pollution" est général, mais le risque est personnalisé car les individus sont inégaux devant ce risque ; ces inégalités sont d'ordre génétique et "fortuites" (conditions sociales, exposition professionnelle, environnement urbain et général, tabagisme, etc.).

5.2 - LA GENE

Outre les effets sur la santé évoqués au paragraphe précédent la circulation automobile constitue une gêne par les odeurs et les fumées noires ou bleues qu'elle dégage et les irritations qu'elle peut provoquer. On qualifie cette pollution de "sensible" dans la mesure où elle affecte les sens (vue et odorat).

Cette pollution sensible est due en grande partie aux véhicules Diesel. Elle est d'autant plus importante que ces véhicules sont majoritaires sur certains itinéraires. C'est le cas par exemple des axes lourds ou des sites propres de transports en commun.

Cette gêne est mal appréciée bien que, lors d'enquêtes sur la pollution automobile auprès des populations (cf. bibliographie n°2), elle soit citée en priorité : les effets sur la santé plus mal connus étant cités en suite.

Des enquêtes et des études exploratoires, sur la pollution sensible, les niveaux d'odeurs, et les poussières, ont été réalisées en France.

Nous en donnons quelques aperçus dans les paragraphes suivants.

5.2.1 Les odeurs

Les odeurs imputables à la circulation automobile résultent d'une combustion incomplète qui se produit dans la chambre de combustion et qui engendre des produits d'oxydation partielle qui sont très odorants : ALDEHYDES, CETONES, PHENOLS, ACIDES ORGANIQUES.

Le moteur Diesel dégage des odeurs bien plus fortes que les moteurs à essence.

La difficulté pour appréhender ce type de situation réside dans le fait qu'il n'existe aucune corrélation valable entre un type de produit (caractéristiques physico-chimiques, concentration dans l'air) et l'odeur qu'il est sensé dégager : l'appréciation sur l'odeur englobant quant à elle des caractères physiologiques, psychologiques et psychosociologiques de l'individu interrogé.

Les meilleures méthodes d'évaluation sont sensorielles et font appel au nez humain (méthode des jury).

- Le jury représentatif

Chaque individu ayant une sensibilité aux odeurs différentes, pour des études courantes, il n'est pas possible de reproduire un échantillon représentatif de la population. On sélectionne un jury "sensible" aux odeurs : statistiquement, moins de six personnes nécessitent d'évaluer la même odeur deux à trois fois ; pour plus de neuf personnes, une seule mesure suffit.

A titre d'exemple, pour l'évaluation des odeurs Diesels, Daimler Benz utilise quatre à cinq jurés, Fiat cinq à douze et l'IFP douze à dix-huit.

Lors d'une enquête de gêne, on pourra utiliser 3 méthodes distinctes :

- Méthode des estimations de grandeur

Le juré indique un nombre quelconque qui selon lui représente l'intensité de l'odeur. On peut caler et comparer les réponses en ajoutant le cas échéant un point de référence (point de comparaison pré-établi sur une odeur particulière).

- Méthode d'échelle de jugement

On détermine généralement un nombre limité de niveaux de perception, six le plus souvent : odeur très faible (1), faible (2), modérée (3), moyenne (4), forte (5), très forte (6), le 6 sert souvent à recueillir tout le haut de gamme, ce qui écrase cette échelle vers le haut.

- Méthode de comparaison

Le juré compare l'intensité odorante du corps à tester, à des odeurs prédéterminées d'un corps pur ou d'un mélange.

5.2.2 Poussières et fumées

Les poussières sont des infimes particules en suspension dans l'air, leurs dimensions varient entre 0,001 et 50 μm .

Les fumées sont des produits gazeux de couleur variable qui se dégagent de corps en combustion.

Poussières, fumées, aérosols, particules, tous ces vocables recouvrent des nuisances de nature différente mais qui, du point de vue physique, ont du mal à se différencier. Le terme général est aérosol ; si l'on parle de l'aspect visible il s'agira de poussières, les particules étant des aérosols solides.

La mesure des fumées ou des poussières s'exprime d'ailleurs dans la même unité, les $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (microgrammes par mètre cube d'air).

Les particules inférieures à $10 \mu\text{m}$ de diamètre ont une vitesse de chute négligeable par rapport aux mouvements de convection de l'air et peuvent rester en suspension dans l'air, elles sont donc assimilables aux produits gazeux et se comportent comme eux.

Inversement, celles d'une taille supérieure à $10 \mu\text{m}$ tombent rapidement au voisinage de la source et sédimentent, l'origine de ces poussières et fumées se trouvent dans la combustion incomplète du carburant, avec dégagement de produits secondaires, plomb, carbone ; dans l'usure des pneumatiques et de la chaussée ; dans l'usure des organes mécaniques des véhicules (freins).

La planche ci-après présente des agrandissements au microscope des poussières issues des transports et prélevées dans des rues fortement circulées.

5.3 - LES EFFETS SUR LES VEGETAUX (5) (6) (7) (8)

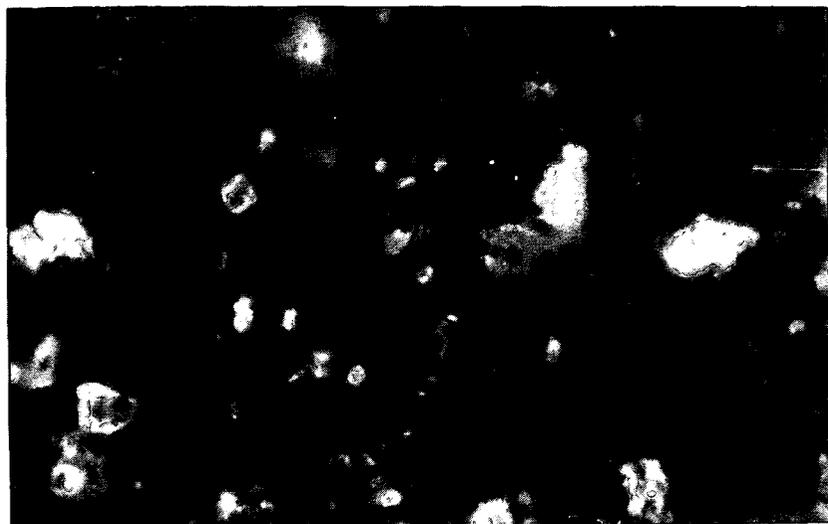
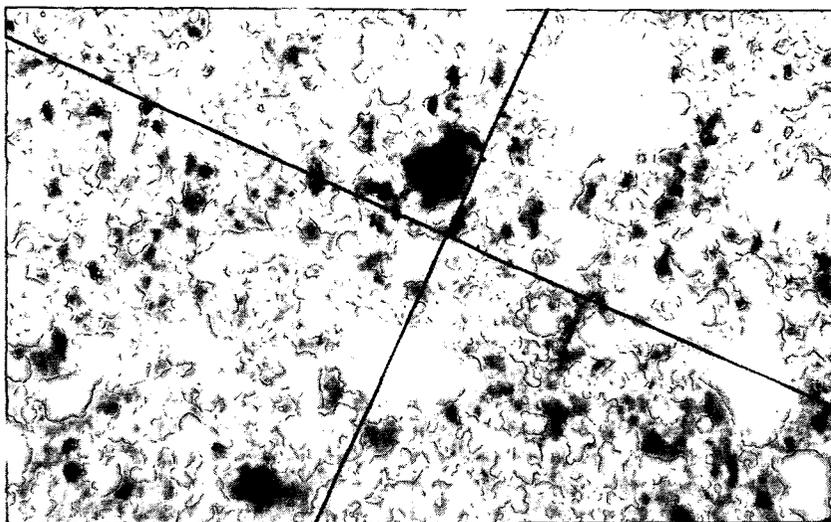
Ce paragraphe comporte deux parties :

- . une première partie concerne les végétaux implantés en agglomération et en périphérie : il s'agit des arbres, des bois et forêts périurbaines, des végétaux arbustifs, des pelouses, des espaces verts publics et privés, des parcs et jardins récréatifs et familiaux, des cheminements piétons, squares, îlots routiers et enfin de la végétation spontanée des terrains vagues, bords de route et cours d'eau.
- . une deuxième partie concernera la part de la pollution automobile dans les retombées acides (pluies acides) et leurs effets sur les forêts.

GROSSISSEMENT (X 600)

Rue Saint Ferréol - MARSEILLE

11 Mai 1982 - 18 h - 09 h

particules $> 10 \mu$ blanchesparticules $< 10 \mu$ noires

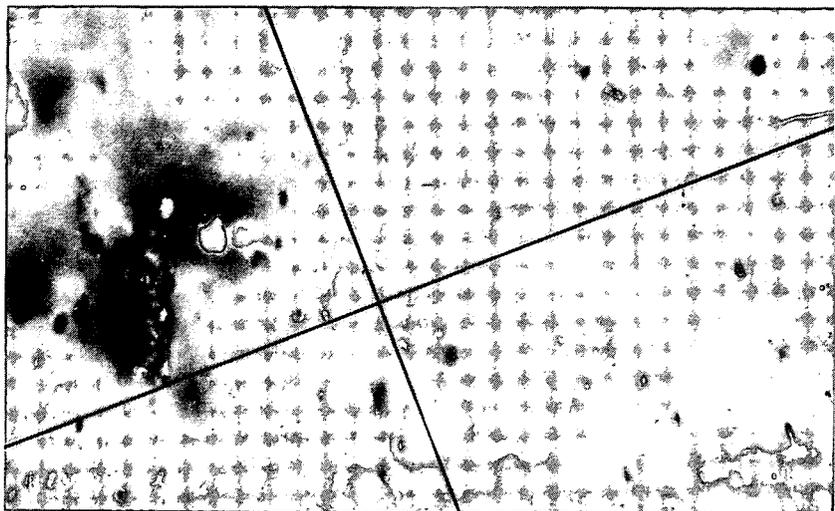
Rue Saint Ferréol - MARSEILLE

10 Mai 1982 - 18 h - 09 h

particules $> 10 \mu$ blanchesparticules $> 15 \mu$ noires agglomérés)particules $< 1 \mu$ noires

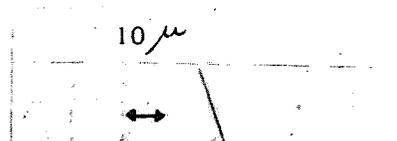
(Axe réservé au T.C. et taxis)

Rue Paradis - MARSEILLE
 10 Mai 1982 - 18 h 05 - 09 h 05
 particules > 15 μ noires agglomérés)
 particules > 10 μ blanches
 particules < 1 μ noires
 particules < 5 μ oranges



Rue Paradis - MARSEILLE
 11 Mai 1982 - 18 h 05 - 09 h
 particules > 10 μ noires-blanches
 particules < 2 μ noires

Echelle



5.3.1 - Les plantations urbaines et péri-urbaines

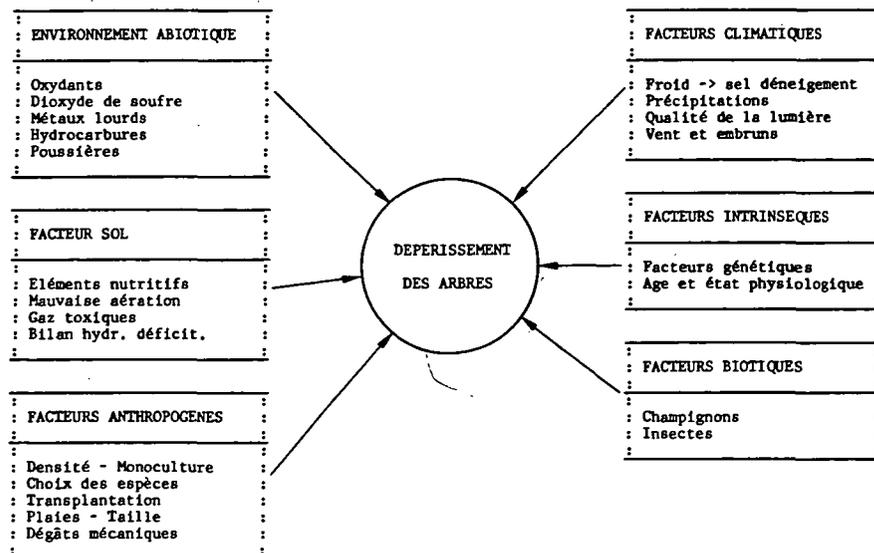
Les plantations urbaines et péri-urbaines constituent la trame verte de nos villes et peuvent représenter des superficies supérieures à des centaines d'hectares.

Mis à part un rôle esthétique indéniable auquel s'ajoute leur action sur le comportement et le psychisme des citadins, il est important de souligner que la végétation peut contribuer à la création de micro climat particulier et qu'elle exerce par là un rôle régulateur.

Au niveau des végétaux, les arbres d'alignement sont les plus exposés aux agressions de l'environnement urbain et notamment aux gaz d'échappement des véhicules qui, en modifiant la qualité de l'air, affectent la vitalité des plantes.

En règle générale, il est démontré que le mauvais état sanitaire d'un arbre n'est pas dû à l'action d'un seul facteur mais à plusieurs qui agissent en synergie et contribuent à affaiblir l'arbre jusqu'à entraîner sa disparition.

Le schéma ci-après synthétise les causes de dépérissement des arbres en milieu urbain.



S'il est vrai que le mauvais état sanitaire des arbres, qui sont obligés de s'adapter à un environnement de plus en plus minéral, n'est pas dû à la seule pollution, il n'en demeure pas moins que les travaux routiers, l'aménagement ou le réaménagement des réseaux, le stationnement des véhicules, l'épandage de sel, un trafic automobile sans cesse croissant, sont autant de facteurs qui contribuent au dépérissement des végétaux.

5.3.1.1. Impacts des polluants sur les végétaux

- Aux concentrations habituelles les oxydes d'azote (NOx) ne sont pas phytotoxiques mais associés au dioxyde de soufre (SO₂) ils produisent un effet de synergie.
- L'Ozone, bien qu'étant un composant normal de l'atmosphère, se trouve dans certaines villes en quantités importantes du fait de la formation de ce composant (cf. chapitre 1). Un des premiers symptômes est l'apparition de spots translucides visibles sur les deux faces des feuilles puis la formation de petites taches sous forme de pointillés blancs ou bruns.
- Le dioxyde de soufre (SO₂), dont l'origine essentielle est constituée par les foyers domestiques et industriels, pénètre dans les feuilles par les stomates et affecte le métabolisme, principalement la photosynthèse. Les nécroses se présentent sous forme de plages verts pâles qui se dessèchent chez les plantes ligneuses, on observe en général une chute des feuilles et une altération de la croissance.
- La teneur en plomb naturelle des végétaux est comprise entre 0,5 et 5 p.p.m. elle peut atteindre 100 p.p.m. Pb/matière sèche dans les plantes situées aux abords immédiats des routes fortement circulées. Une partie du plomb se dépose sur les feuilles, une autre pénètre dans la feuille. Les végétaux accumulent le plomb qui peut avoir des effets toxiques.
- Le cadmium présent dans les pneumatiques, l'huile moteur et la galvanoplastie pénètrent par les feuilles ou par la voie racinaire ; il a été observé une action de synergie plomb-cadmium défavorable sur la croissance des platanes.

- Le zinc, à dose élevée, provoque une chlorose suivie par un jaunissement des feuilles et un dépérissement progressif de la plante.

- Les hydrocarbures, à l'exception de l'éthylène et des aldéhydes semblent inoffensifs vis-à-vis des végétaux, pour l'éthylène on observe une réduction de la croissance, une sénescence précoce et une diminution de la floraison. Les PAN (nitrates de peroxyacétyl) peuvent entraîner des lésions sous la forme de zones argentées ou brunes apparaissant à la face intérieure des feuilles, et des inhibitions de la fixation photosynthétique de CO₂ et divers troubles du métabolisme.

- Le monoxyde de carbone provoque une inhibition de la photosynthèse à très forte concentration. Aux concentrations habituelles les végétaux lui sont à peu près indifférents.

- Les aérosols, en concentration importantes (100 à 150 µg/m³), réduisent de 30 % à 60 % la lumière reçue du soleil sur les plantes. Ceux-ci se déposent à la surface de la feuille et y exercent une action physique et chimique selon la nature des particules déposées ; on observe une diminution de la photosynthèse.

- Les salissures, sont un effet secondaire des particules mis en suspension ou déposées sur la chaussée. Sous l'impact des roues des véhicules, on observe des projections qui affectent le bord des voies et "salissent" les végétaux. Cette pollution de proximité, non quantifiable, peut se révéler très pénalisante.

- La pollution particulaire due aux travaux d'aménagements routiers

- L'utilisation de fondants chimiques pour le traitement hivernal des routes

- La pollution accidentelle liée aux transports de matières dangereuses.

Une étude de 1973 réalisée à Bruxelles et portant sur un échantillonnage de 66.000 arbres d'alignement a montré qu'environ 30 % d'entre eux présentaient des signes évidents de faiblesse (branches mortes, feuilles nécrosées, peu nombreuses et jaunies déjà en juillet), 5 % des arbres étaient morts et il était frappant de constater la différence entre la végétation luxuriante des jardins privés et l'état de dépérissement des arbres situés à proximité, en bordure de trottoir.

5.3.2 - Contamination par le plomb des végétaux consommables situés en bordure des routes et V.R.U.

Pour déterminer les valeurs de la teneur en plomb des légumes et fruits cultivés nous avons étudié la bibliographie étrangère basée sur des mesures réalisées entre 1967 et 1975 et notamment les Etats-Unis où la teneur en plomb de l'essence était de 0,45 g/l avant 1975, en Suisse où le taux est passé en 1982 de 0,4 à 0,15 g/l en Belgique où en 1981 le taux est passé de 0,55 à 0,4 g/l.

Les émissions unitaires sont donc comparables avec ce qui se passe actuellement en France (teneur 0,4 g/l). Nos principales observations permettent de retenir différents paramètres explicatifs.

- influence de l'espèce : la teneur en plomb des légumes dépasse rarement 10 p.p.m. dans la matière sèche, les légumes les plus contaminés étant les foliacés, dont les feuilles présentent une grande surface de contact. Inversement il y a peu de plomb dans les organes souterrains (racines).
- influence du lavage à l'eau : le lavage des végétaux à l'eau courante tel qu'on le pratique en cuisine permet d'éliminer entre 20 et 60 % du plomb déposé sur les végétaux.

- influence de la distance par rapport à la voie : elle se vérifie pour un certain nombre d'espèces. Le plomb diminue exponentiellement avec la distance : décroissance rapide entre 0 et 50 mètres, plus lente au-delà, l'erreur expérimentale au-delà de 100 mètres déterminant le niveau de fond.
- influence du trafic évidente au niveau des émissions, la teneur en plomb du milieu récepteur est également directement proportionnelle au trafic moyen (TMJ).
- influence de la date des récoltes. Plus la date des récoltes est tardive, plus les concentrations, pour une distance et un trafic donné, augmentent.
- influence du profil de la voie.
- influence des conditions climatiques. Le vent est prépondérant dans les 40 premiers mètres, l'absence de précipitation favorise la dispersion.

Le lecteur se reportera aux pages suivantes pour connaître les teneurs observées sur différents légumes ou fruits lors de campagnes de mesures variées. Ces tableaux donnent des valeurs non forcément reproductibles à comparer lorsqu'elles existent (colonne de droite) aux mesures témoins réalisées (non lavé et lavé) loin des axes de circulation.

On retiendra de cette contamination des végétaux les principes suivants :

- les légumes foliacés à feuilles larges sont les plus sensibles à la pollution
- le lavage à l'eau élimine entre 30 et 65 % du plomb
- la zone la plus contaminée est la bande des 50 premiers mètres
- le niveau de pollution augmente avec le trafic, la date tardive des récoltes, une route en remblai, une exposition sous les vents dominants
- l'absorption par voie racinaire existe.

Pour les fruits, les teneurs sont en général faibles (inférieures à 5 p.p.m.) au niveau de leur chair, 8 p.p.m. aux épidermes. Une contamination importante du feuillage ne se répercute pas au niveau des fruits.

TABLEAU RECAPITULATIF
DES RESULTATS DE MESURES EN PLOMB

LEGUME	DISTANCE A LA VOIE	TRAFIC (MJA)	TENEUR EN PLOMB p.p.m./MS	OBSERVATIONS	
BETTE (feuilles)	3 m	6 000	5,5	Pétioles et limbes	
	20 m	21 000	4,9 à 18		
	100 m	21 000	4,1 à 9,5		
CAROTTE (racines)	4 m	6 000 1 500	1,9 1,8	12 à 13 % du Pb éliminé par lavage HCC	
	15 m	28 000/16H	42 à 55		
	30 m	12 000 47 000	5,3 7,5 à 10		5
CELERI (feuilles)	8 m	21 000	40,9	Echantillons lavés	
	50 m	21 000	15,6 à 4		
		30 000	21		
CHOU (feuilles)	10 m	20 000	20		3
	60 m	20 000	9 à 12		2
CHOU DE BRUXELLES	10 m	20 000	4 à 8	Echantillons lavés et non lavés	3
	60 m	20 000	2,5 à 4	" "	2
CHOU FRISE	20 à 35 m	-	3 à 52		
COURGETTE (fruit)	8 m	21 000	2,1 à 5,6	Pulpe et épiderme	
	50 m	21 000	3,7 à 7,2	" "	
	100 m	21 000	2,7 à 5,9	" "	
ENDIVE (feuilles)	2 m	20 000	65 à 100	Echantillon non lavé	10
			10 à 50	Echantillon lavé	4,5
EPINARD (feuilles)	5 à 10 m	10 à 20 000	14,6 à 11,5	Echantillon non lavé Echantillon lavé	11
	2 m	20 000	55		7,5
			25		
FENOUIL (feuille)	8 m	21 000	4,7 à 112,1	Pétioles ou limbes	
	50 m	21 000	2,4 à 29,6		
	100 m	21 000	3,3 à 20,5		
HARICOT (gousse)	8 m	21 000	3,5 à 5		3-4-5,5
	50 m	21 000	2,1 à 3		2,5,3,5
	100 m	21 000	1,6		5
SALADE	2 à 5 m	1 500 à 10 000	14 à 44,2	Lavé et non lavé	9
	60 m	20 000	4 à 5,5		5,5

OIGNON	5 à 10 m	25 à 30 000	3,7	Oignons entiers	4
	50 m		8,6		
			2,4 à 4,8	Oignons entiers ou feuilles	
PERSIL	3 à 7 m	6 à 9 000	6 à 17,8		
POIREAU	8 m	21 000	5,9	Poireaux entiers	
	50 m	21 000	3,4	" "	
			8	Feuilles	
POMME DE TERRE (tubercule)	9 m	46 000	2,6 à 4,5		
	76 m	46 000	3 à 9,8		
TOMATE (fruits)	8 à 10 m	10 000	1,7 à 2,8		
		20 000	2		
		45 000	3,6 à 16		
	76 m	49 000	2,8 à 3,2		
ABRICOT	5 m	10 000	1,1 à 7,5	Pelures ou chair	
	50 m	10 000	1,1 à 5,8		
FRAISE	5 m	10 000	2,7		
	50 m	10 000	2,7		
POIRE	5 m	10 000	0,7 à 3,9	Chair, entières, pelures	
	50 m	10 000	0,4 à 1,9		
POMME	5 m	10 000	1,5	Entières	
	20 m	30 000	1 à 8	Chair ou pelures	
	50 m	10 000	0,7	Entières	

5.3.3 - La part de la pollution automobile dans les retombées acides (7)

Différentes études ont démontré que certains polluants pouvaient être transportés dans l'atmosphère sur de grandes distances et être retrouvés sous des formes chimiques différentes dans des zones très éloignées des sources d'émission.

La redéposition d'acides nitriques ou sulfuriques constitue une partie de ce phénomène.

Les polluants primaires à l'origine de l'acidification des pluies sont le dioxyde de soufre SO_2 et les oxydes d'azote NO et NO_2 .

Le SO_2 est le polluant caractéristique de l'industrie et du chauffage ; il est un dérivé du soufre contenu dans le charbon (centrales thermiques notamment) et le pétrole (industrie).

Au contact des gouttelettes de pluies, le SO_2 s'hydrate en formant H_2SO_3 qui s'oxyde pour donner de l'acide sulfurique H_2SO_4 donnant des pluies acides et des brouillards.

Les oxydes d'azotes dérivées de la combustion (57 %), des transports (38 %) et de l'industrie (5 %) s'oxydent de NO en NO_2 au contact de O_3 puis au contact de la vapeur d'eau se transforment en acide nitrique HNO_3 .

En outre, ceux-ci peuvent aussi donner naissance, sous l'effet des rayonnements solaires et des hydrocarbures en suspension, à de l'ozone (O_3) ainsi qu'à d'autres photooxydants.

La circulation automobile aurait, dans ces conditions, une responsabilité particulière dans la formation de la pollution à longue distance.

En Europe, il semble que la principale victime des dépôts acides soit la forêt, si l'on en juge par l'abondance des études et des articles de presse traduisant, ou suscitant, l'inquiétude du public. En Scandinavie et au Canada, les effets sur les lacs tiennent la vedette.

Pourquoi les forêts plutôt que d'autres formations végétales, les prairies ou les cultures ? Les plantes à longue durée de vie, comme les arbres, accumulent les polluants.

Les dépôts sont beaucoup plus importants en forêt qu'en espace vert, et deux fois plus importants sous les conifères que sous les feuillus, dont le filtre est moins efficace lorsqu'ils sont dépouillés de leurs feuilles.

La zone concernée par le dépérissement des forêts de conifères en Europe comprend le Sud-Est de la Pologne, la République Démocratique Allemande, la Tchécoslovaquie, la République Fédérale d'Allemagne, le Nord de la Suisse et l'Est de la France.

En France ce phénomène a été constaté depuis 1983 dans les Vosges ; des signes de dépérissement ont aussi été constatés dans les Ardennes et en Franche Comté sur les résineux (sapins, épicéas, pins) et sur certains feuillus (hêtres, chênes). Dans les Vosges à la fin de l'année 1984, 28 % des sapins, 16 % des épicéas et 10 % des pins étaient considérés comme fortement atteints (perte de plus de 20 % de leurs aiguilles ou feuilles).

Il n'existe pas à l'heure actuelle de preuves scientifiques indéniables qui permettraient 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 grande distance joue, soit seule, soit associée à d'autres causes, un rôle déterminant. Des travaux récents semblent indiquer que des concentrations excessives d'ozone seraient particulièrement néfastes pour les arbres et que cette forme de pollution aurait un rôle prépondérant dans le dépérissement des forêts.

"La réponse aux questions que pose le dépérissement des forêts dans la mesure où il est lié à la pollution est sans doute plus dans des études régionales, voire locales, que dans des études au niveau Européenne donnant que des moyennes" (extrait du rapport sur les formes de pollution atmosphérique à longue distance dites pluies acides : références bibliographiques n° 7).

Le programme DEFORPA (*) (mise en place en France d'un réseau d'observation) envisage de réaliser des études de modélisation régionales et à méso-échelle, incluant les Vosges et les régions avoisinantes.

(*) DEFORPA - Dépérissement des forêts attribué à la pollution de l'air.

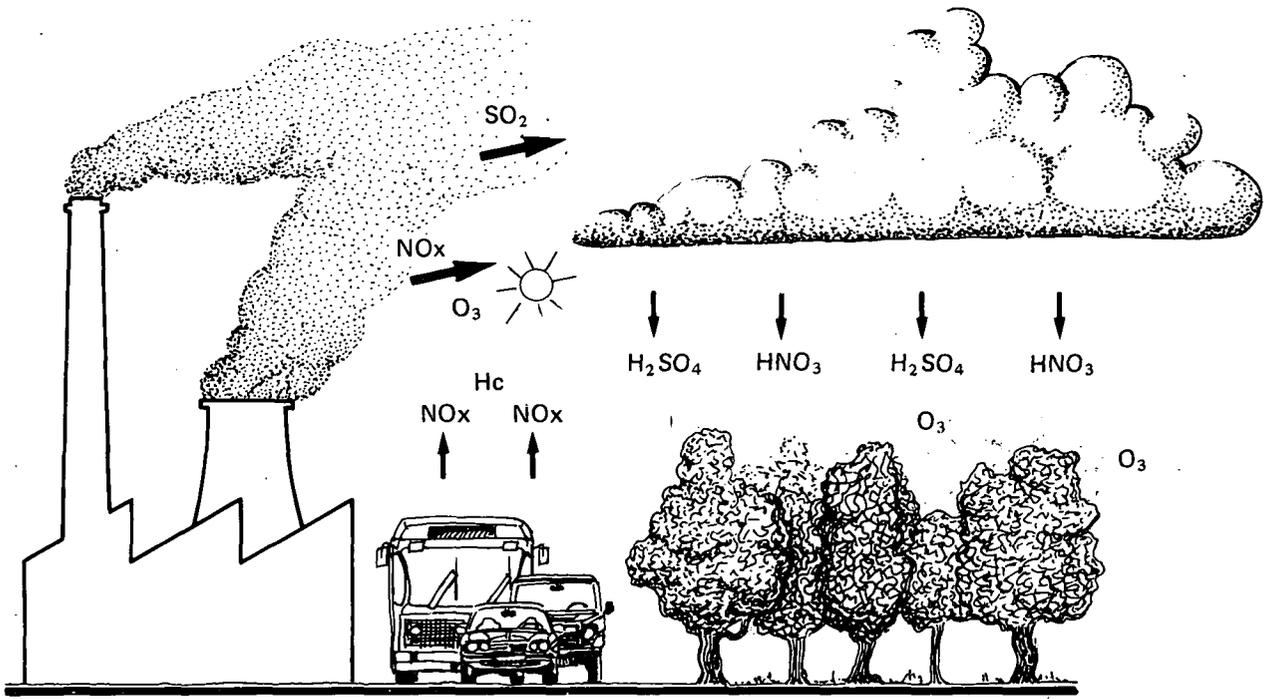


Schéma de principe des pluies acides

Outre ce volet observation des forêts et inventaire des dommages, ce programme comporte différents projets orientés sur les thèmes suivants :

- développement des mesures d'immissions
- recherche sur les phénomènes météorologiques et de transport
- expérimentation sur des végétaux soumis à des pollutions contrôlées
- recherche sur les mécanismes physiologiques de l'effet des polluants
- recherche relative aux effets sur les plantes des polluants absorbés par le sol
- 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
- recherche enfin en faveur 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.

D'une manière générale, certains végétaux peuvent servir d'indicateurs biologiques d'un niveau de pollution spécifique ; on citera le Pin américain qui est généralement considéré comme un détecteur du degré de pollution par le SO₂.

Il serait souhaitable de développer des recherches sur les indicateurs biologiques et l'établissement de seuils de toxicité.

5.4 - LES EFFETS SUR LES MATERIAUX (9)

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). Tous les matériaux de construction sont touchés par ces phénomènes mais de façon plus ou moins aiguë.

Le dioxyde de soufre et les oxydes d'azote réagissent avec les composants des matériaux. Ces réactions sont catalysées et aggravées par l'eau et l'oxygène de l'air.

Impact physico-chimique

En se référant aux sources d'altération des matériaux de construction, on constate que parmi les polluants très diversifiés émis par la circulation automobile seul l'anhydride sulfureux présente un danger. C'est en effet une source d'attaque acide pour les bétons et surtout le facteur principal de la maladie "desquamante" de certaines pierres.

Les desquamations sont caractérisées par l'existence entre la surface de la pierre (de quelques millimètres à plusieurs centimètres) et l'intérieur d'une zone poudreuse ou sableuse qui favorise le détachement de la plaque de surface, le processus pouvant ultérieurement se reproduire.

Cependant le SO₂ ne constitue qu'une fraction très réduite des rejets gazeux émis par les moteurs puisqu'il constitue environ 0,03 % des polluants émis par les moteurs à essence et 0,1 % de ceux émis par les moteurs Diesel.

Sur le plan de la pollution générale, en considérant les diverses études des sources de pollution atmosphérique, on peut estimer que la part des transports terrestres dans les émissions de SO₂ se situe en moyenne entre 1 et 3 %. Localement elle peut être plus élevée dans des zones à forte concentration de circulation (8 % à Los Angelès en 1973). Globalement, on peut donc dire que la pollution chimique des matériaux par le SO₂ due à la seule circulation automobile est marginale par rapport à l'ensemble des sources et en particulier aux foyers industriels et domestiques.

Impact physique

L'impact physique de la circulation automobile sur les bâtiments se manifeste essentiellement par les salissures des façades et peut se produire sous trois formes :

- émission de particules solides et liquides,
- effet dispersif de la circulation sur les dépôts d'origines diverses,
- projection des dépôts mis en suspension dans les eaux de ruissellement des chaussées.

L'émission de particules est la seule pollution directe due aux véhicules, les autres effets ne sont que des conséquences secondaires qui n'ajoutent pas de charge polluante mais modifient les circuits des charges pré-existantes.

1) Emission de particules

Les véhicules automobiles émettent de nombreux résidus sous forme gazeuse, liquide ou solide. Tous les résidus liquides ou solides sont autant de charges polluantes susceptibles de s'ajouter à la pollution de l'air ou de se déposer sur la chaussée.

La part des véhicules dans les émissions de particules provenant des diverses sources polluantes est d'environ 10 %. Dans les zones de circulation dense, cette part peut certainement atteindre de l'ordre de 50 % et devient donc très importante. Compte tenu à la fois de la nature et de la taille des particules d'une part, du niveau auquel se fait leur émission d'autre part, on peut estimer que la majeure partie de ces éléments sédimentent dans l'environnement proche du lieu d'émission et se dépose donc sur la chaussée et à ses abords immédiats. Il s'agit donc pour l'essentiel d'un impact de proximité affectant les bâtiments bordant les voies très circulées.

2) Effet dispersif

Les particules de toutes natures en suspension dans l'air ont tendance pendant les périodes d'activité réduite (la nuit en particulier) à se sédimenter et à se déposer. Lors de la reprise d'activité (le matin) les particules déposées sur les chaussées sont remises en suspension et redispersées sous l'action de la circulation. C'est là un aspect secondaire mais non négligeable de l'impact physique des véhicules qu'il est impossible de quantifier.

3) Projection

La circulation, la sédimentation des particules de l'atmosphère et leur entraînement par les précipitations engendrent à la surface du sol des dépôts de particules qui, mises en suspension dans les eaux de ruissellement, sont projetées par le rejaillissement dû à l'impact des roues des véhicules.