

Cet aspect de la pollution par les véhicules est sans doute le plus spectaculaire mais n'intéresse que l'environnement immédiat des voies de circulation et n'est pas chiffrable.

En conclusion, on peut dire que l'aspect essentiel est l'impact physique par les salissures.

En effet, la pollution chimique due aux émissions gazeuses est, sur le plan général, très marginale puisque due à l'anhydride sulfureux dont l'essentiel est émis par des sources autres que les véhicules. Ceux-ci peuvent toutefois avoir très localement un impact non négligeable en produisant sous certaines circonstances et dans certains sites des concentrations locales excessives de gaz.

Par contre les salissures en tant que pollution de proximité non quantifiable peut se révéler très pénalisante pour l'esthétique des constructions et nécessiter régulièrement un ravalement des façades au coût élevé.

Une solution partielle serait de protéger superficiellement les façades par un produit empêchant ou du moins limitant la pénétration des eaux chargées et l'accrochage des poussières ; les hydrofuges à base de silicones pourraient répondre à cet objectif.

5.5 - POLLUTION DES EAUX

Les études entreprises aux U.S.A. depuis 1960 et en FRANCE depuis 1970 ont montré que la pollution engendrée par le ruissellement des eaux de pluie sur des surfaces imperméabilisées ne pouvait plus être ignorée ou négligée.

Le développement de l'urbanisation et des liaisons interurbaines a entraîné l'augmentation des surfaces routières et autoroutières : le drainage de ces eaux, chargées en polluant d'origines diverses est donc devenu nécessaire pour protéger les eaux naturelles libres ou souterraines, situées à proximité.

L'origine et les aspects de la pollution routière

L'origine et la nature de la pollution lessivée par la pluie et entraînée par les eaux de ruissellement vers les exutoires conduit à distinguer quatre grandes catégories de pollution :

- la pollution due aux travaux d'aménagements routiers ;
- la pollution saisonnière, liée à l'emploi de fondants chimiques pour le traitement hivernal des routes ;
- la pollution accidentelle engendrée par le déversement de matières dangereuses ou toxiques sur la plate-forme imperméable ;
- et enfin la pollution chronique liée à l'usure des pneumatiques et du revêtement routier, aux résidus de combustion et aux hydrocarbures.

La pollution liée aux travaux est surtout constituée de matières en suspension (M.E.S.) en grande quantité. Sa durée est limitée à celle des travaux en général. Elle entraîne une modification de la granulométrie des fonds des cours d'eau. Les fines en se déposant colmatent les fonds initialement constitués de pierres et de graviers. Les modifications de la communauté biotique se maintiennent pendant toute la durée des travaux. Ensuite les limons et les sables seront éliminés progressivement et la recolonisation du milieu aura lieu. D'autres phénomènes sont observables tels que la diminution de la transparence des eaux qui altère l'activité photosynthétique ou encore provoque l'apparition de lésions en niveau des branchies des organismes aquatiques quand les concentrations sont trop importantes. On estime qu'en dehors des périodes de crues, la concentration en MES doit être inférieure à 75 mg/l qui est considérée comme anormale ou particulière.

La pollution saisonnière est consécutive de l'utilisation des sels de déverglaçage jusqu'à 30 t/an/km sur une autoroute en zone d'hiver rigoureux. Chaque intervention du service d'entretien se traduit par un épandage de 70 à 210 kg de NaCl par kilomètre de route à 2 voies. Le sodium se fixe dans le sol et les chlorures sont véhiculés en solution par les eaux.

La pollution chronique est issue de l'usure des chaussées et du fonctionnement des véhicules. Caractérisée par les poussières, les hydrocarbures et les métaux lourds (Pb, Zn, ...), qui la composent, sa toxicité vient de la capacité de bioaccumulation des métaux lourds dans les chaînes alimentaires et de la haute toxicité de certains hydrocarbures polycycliques. Bien que présent à faible concentration l'aspect chronique des apports nous oblige à les prendre en compte.

Les études menées à la demande du SETRA (*) depuis la parution de sa note de 1980 sur la protection des eaux contre la pollution d'origine routière ont montré que les valeurs issues de la bibliographie pour la pollution chronique sont maximalistes. En ne retenant que les valeurs les plus importantes observées sur les trois sites étudiés (voir tableau ci-après), nous obtenons les chiffres suivants comme valeurs des charges annuelles rejetées à l'exutoire par un kilomètre de route à deux voies avec un trafic de 5 000 à 15 000.véh./j, avec un carburant contenant 0,40 g de plomb par litre de carburant et sous un climat allant du caractère semi-continentale à océanique :

D.C.O. : 400 kg (**)

M.E.S. : 800 kg

Plomb : 1,2 kg

Zing : 2,3 kg

Ceci montre bien l'importance de la diffusion de la pollution hors de la plate-forme et donc hors des systèmes d'assainissement.

(*) SETRA - Service d'Etudes Techniques des Routes et Autoroutes

(**) DCO : Demande chimique en oxygène (quantité d'oxygène nécessaire aux matières oxydables pour se minéraliser et s'oxyder).

PAYS	FRANCE (essence à 0,4 g/l de Pb, chaussée à 2 voies)			R.F.A.		G.B.	U.S.A. (État de Washington)		
AUTOROUTE	A.4	A.61	A.1	A.6	A.81	M 1	1 ⁵	1 ^{5*}	Snoqualmie Pass
TRAFFIC	5 400	7 000	13 600	47 000	41 000	25 000 à 40 000	57 000	47 000	8 000
dont P.L.	24,2 %	17 %	28,2 %	22 %	19,3 %	—	—	—	—
D.C.O.	392	231	289	557	672	—	787	740	1 026
M.E.S.	399	199	764	848	873	1 500	980	923	2 770
Pb	0,43	0,86	1,2	1,15	1,33	4	4,42	4,62	1,67
Zn	1,23	1,48	2,3	2,89	2,33	8	2,32	2,84	2,01
H.C.	5,13	1,71	—	—	—	Huile 126 P.A.H. 18x10 ⁻³	—	—	—

Comparaison des charges annuelles de pollution entre des expérimentations françaises et étrangères.

La pollution accidentelle est consécutive à l'épandage de matières dangereuses lors d'un accident. C'est la toxicité même du produit déversé et la surface concernée qui donnera l'ampleur des dégâts. Il y a environ 230 accidents par an concernant des transports de matières dangereuses et dans la moitié des cas la matière elle-même est impliquée. L'essentiel des accidents en question se produit hors agglomération (72 %), principalement sur les chemins départementaux (35 %), les routes nationales (32 %), les autoroutes et leurs bretelles d'accès (20 %).

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Impact médical des pollutions d'origine automobile - Rapport ROUSSEL - Pollution atmosphérique, supplément au n° 99 - Juillet-septembre 1983
- (2) Exposition des Français à la pollution des transports - JOUMARD - VIDON - GUITTON - IRT-CERNE - 1982
- (3) Les odeurs dues au trafic routier - JOUMARD - IRT-CERNE - 1982
- (4) Le dossier du plomb, additif des carburants automobiles - IRT - Note d'information n° 29 - JOUMARD - 1983
- (5) Les effets sur les végétaux - C.N.R.F. - Conférence de M. GARREC - 30.01.86
- (6) Contamination des végétaux par le plomb - LROP de Trappes - ARNAL - 1985 - Etude bibliographique
- (7) Rapport sur les formes de pollution atmosphérique à longue distance dites pluies acides - OFFICE PARLEMENTAIRE D'EVALUATION DES CHOIX SCIENTIFIQUES ET TECHNOLOGIQUES : N° 3192 ASSEMBLEE NATIONALE ; N° 211 SENAT - Décembre 1985.
- (8) Impact des routes sur la végétation - Ministère des Transport - SETRA - DLI - Août 1983
- (9) Impact de la pollution par les gaz d'échappement sur les matériaux de construction - CETE de ROUEN - LOOTVOET - 1981
- (10) Les causes de dépérissement de la végétation en milieu urbain et notamment les arbres d'alignement - STU - DOMERGUE-ABAK - 1983

CHAPITRE 6

MESURES DE LA POLLUTION

EN BORDURE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS

MESURE DE LA POLLUTION EN BORDURE DES INFRASTRUCTURES DE TRANSPORTS

6.1 METHODES DE MESURE ET DE DETECTION

Le matériel nécessaire à une campagne expérimentale comprend :

- des compteurs de trafic

Il s'agit de compteurs pneumatiques classiques avec enregistrement tous les quarts d'heure des véhicules ayant franchi le tube.

- une station météorologique

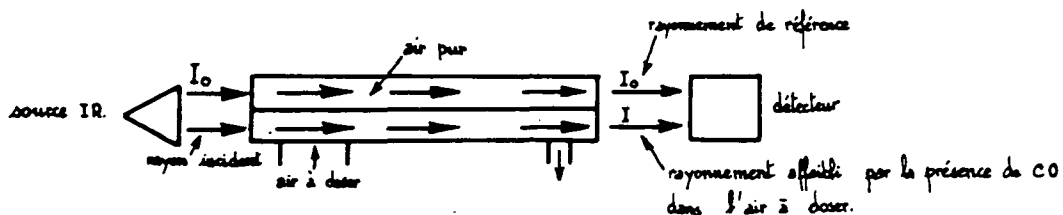
On doit pouvoir mesurer en continu la vitesse, la direction du vent et la ou les températures au sommet d'un mât de 15 mètres de haut, le matériel minimal étant un anémogirouette et une sonde de température, le tout relié à un enregistreur magnétique.

- des analyseurs de gaz

+ Appareil à absorption infrarouge pour le CO.

Le détecteur de CO utilise le pouvoir absorbant du CO dans l'infrarouge ; deux rayons IR parallèles traversent deux tubes, l'un contenant de l'air pur, l'autre le mélange à doser. Un détecteur compare la source étalon (air pur) à la source secondaire dont le rayonnement est affaibli par la présence du CO. La variation d'intensité de cette source par rapport à la source de référence est proportionnelle à la concentration du CO (loi de Lambert-Beer). La mesure s'effectue en continu et enregistre des taux de CO compris entre 0 et 100 ou 0 - 300 p.p.m.

Principe de fonctionnement



$$- \lambda c$$

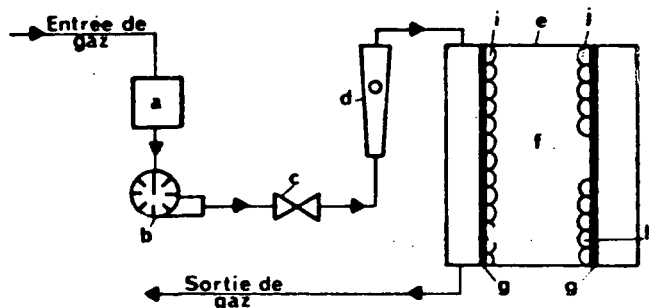
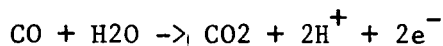
$$I = I_0 e$$

$$\lambda = \text{longueur d'onde}$$

$$c = \text{concentration } (< 10^{-6} \text{ g/m}^3)$$

+ Ecolyseurs pour le CO

L'air à analyser est aspiré à travers un filtre d'entrée (a) par une pompe (b) à courant continu, il traverse ensuite le robinet de réglage du débit (c), le débitmètre (d) et entre dans la cellule de mesure (e). Cette cellule contient de l'acide sulfurique à 25 % (f) et ses parois latérales sont constituées par une membrane en téflon assez mince (g). Au contact de cette membrane, le CO diffuse à travers le téflon pour arriver au triple interface liquide/gaz/solide où il est oxydé en CO₂ suivant la réaction

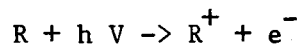


Principe de fonctionnement

C'est un appareil portable (4 kg) disposant d'une autonomie de 8 à 10 heures à lecture directe (0 à 100 p.p.m.) ou sortie analogique.

+ Appareil par photo-ionisation de flamme pour les hydrocarbures

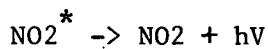
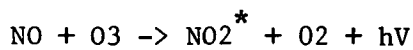
Une source lumineuse est porteuse d'une quantité d'énergie, le photon : lorsque l'on irradie une molécule donnée avec une source UV (émetteur), la quantité d'énergie émise (si elle est suffisante) permet l'ionisation de cette molécule :



Le courant d'ionisation observé étant proportionnel à la concentration du gaz considéré dans l'échantillon, sa mesure permet de déterminer la concentration des gaz à tester.

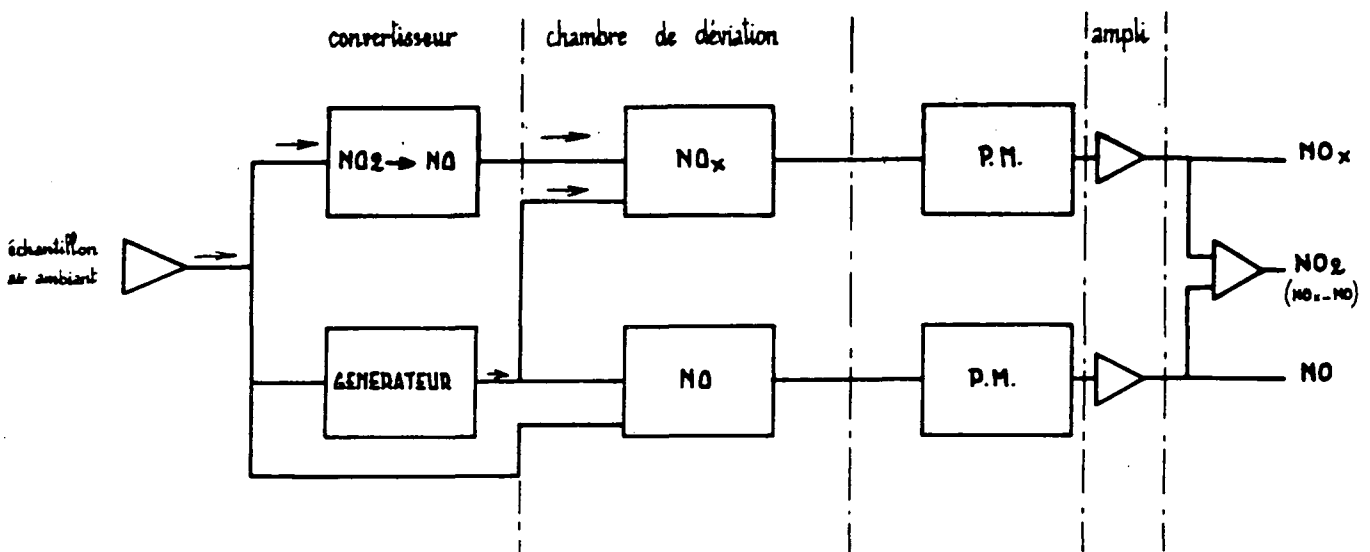
+ Appareil par chimi-luminescence pour les oxydes d'azote

L'analyseur d'oxyde ou de dioxyde d'azote utilise le principe de la chimi-luminescence. La réaction utilisée est celle de NO sur l'ozone O₃.



Les photons $h\nu$ sont émis dans le rouge ($\lambda > 600 \text{ nm}$), leur quantité est liée à la concentration de NO.

Principe de fonctionnement



Pour mesurer NO₂, on le réduit en NO, on mesure NO + NO₂ (NO_x) et on fait la différence sur le même échantillon.

- des analyseurs de poussières

+ 1 jauge Beta :

Les particules sont mesurées selon le principe de la mesure de l'absorption des rayons B par les poussières prélevées dans l'environnement et retenues sur un papier filtre en fibre de verre. Le débit d'aspiration, de $1,5 \text{ m}^3/\text{h}$, est réglée à $\pm 2,5 \%$. L'air est aspiré par l'intermédiaire d'une tête de prélèvement assurant une vitesse de prélèvement voisine de $0,01 \text{ m/s}$ et un chauffage constant de l'air aspiré pour éviter toute condensation sur les parois. Les temps d'aspiration sont de 30 mn, cumulables sur 2 heures ou plus en cas d'insuffisance de dépôt ; la précision est de 5 %.

+ système par aspiration

Les poussières sont aspirées par une pompe à débit non réglée de $2 \text{ m}^3/\text{h}$, à travers un filtre en nitrate de cellulose de porosité $0,8 \mu\text{m}$ préalablement pesé en laboratoire. La différence de poids ramené à un volume unitaire fournit une concentration.

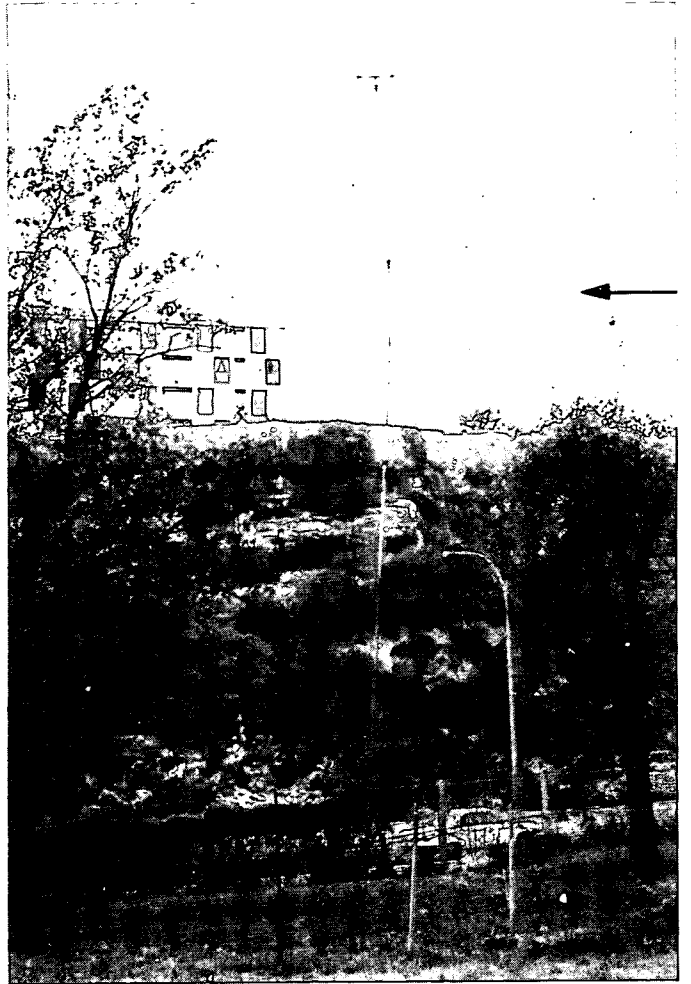
+ système par gravitation

On utilise des plaquettes de dépôts normalisés (NFX 43 007) enduites d'une graisse siliconé retenant les poussières déposées (mesure globale sur 15 jours).

- des enregistreurs magnétiques (type Hewlett Packard) munis de différents périphériques (table traçante - imprimante - cassette - voltmètre - scrutateur de voies) recueillent et traitent les données issues des différents capteurs spécifiques.

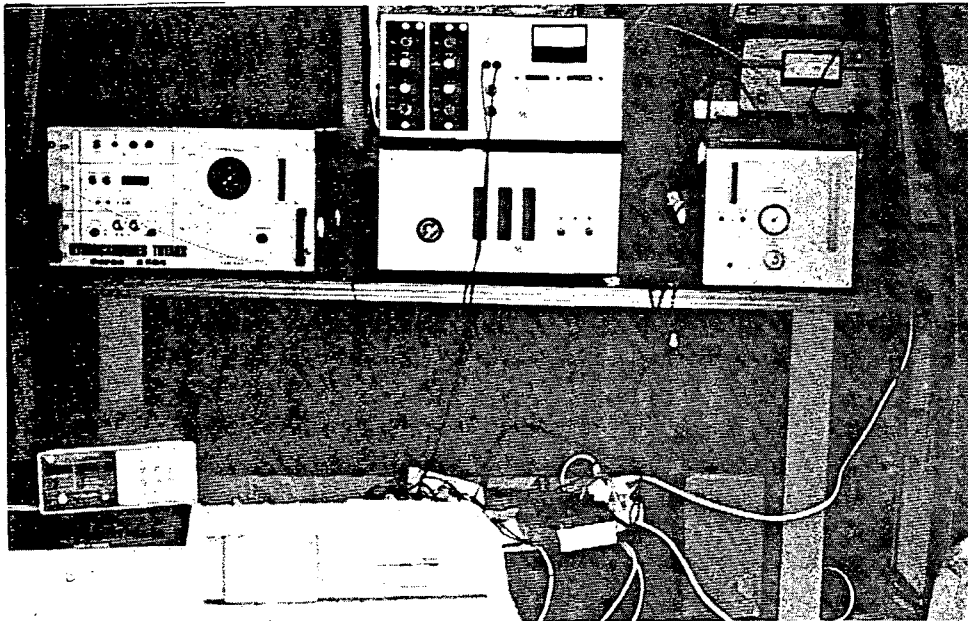
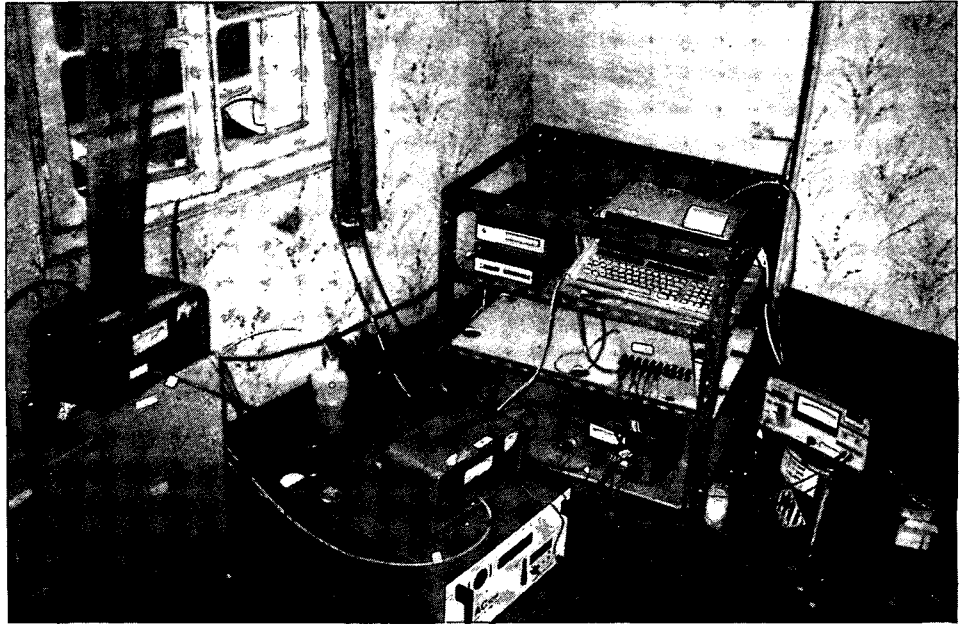
Les photographies ci-après présentent le matériel utilisé depuis une dizaine d'années dans le cadre des campagnes de mesure réalisés dans l'environnement pour le compte du CETUR. Ce matériel est utilisé par l'INRETS et le CETE Méditerranée qui ont réalisé la majorité des campagnes de mesure.

Mat de 15 mètres
avec anémomètre et girouette



jauge Béta

- Enregistreur magnétique
- Ecolyseur (CO)
- Unor (CO)
- Environnement SA
(NO-NO₂) AC30M
- Tubes



- Générateur d'hydrogène
- Analyseur de HC (SERES)
- Analyseur de NO-NO₂

Bouche de comptage et
compteur pneumatique



6.2 - LES CAMPAGNES EXPERIMENTALES (1976-1985)

Dès 1975, l'IRT s'est intéressé à la pollution de l'air issue des autoroutes et voies rapides urbaines, relayé par le CETE Méditerranée à partir de 1979.

Par rapport aux mesures antérieures, réalisées notamment par les A.P.P.A. et les services de la Préfecture de Police de PARIS, l'IRT d'abord, le CETE ensuite se sont attachés à effectuer des mesures multicritères sur des périodes déterminées et durant lesquelles, outre la pollution, étaient également mesurés :

- le trafic automobile
- le vent sur le site expérimental (vitesse et direction)
- la température.

Ces mesures réalisées en général de manière continue sur une quinzaine de jours, par site, analysées et traitées avec un pas de temps de 15 minutes, ont permis une meilleure connaissance des phénomènes de dispersion et la validation de différents modèles de calcul.

6.2.1 - INRETS (anciennement IRT/CERNE)

Liste des campagnes expérimentales réalisées

- . Autoroute A7 à Marseille (autoroute en déblai)

Période 1976 : Durée 3 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx -
M.J.A. : 100 000 véhicules/jour

. Autoroute A6 à Dardilly (site plat)

Période 1976 : Durée 3 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx -
M.J.A. : 40 000 véhicules/jour

. Autoroute A6 à Arcueil (viaduc)

Période 1976 : Durée 3 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx -
M.J.A. : 100 000 véhicules/jour

. Autoroute A3 à Bagnolet (autoroute en déblai)

Période 1976 : Durée 3 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx -
M.J.A. : 100 000 véhicules/jour

. Autoroute A3 à Bagnolet

Période 1977 (septembre) : Durée 9 jours en continu - polluants mesurés CO -
HC - NOx - M.J.A. :

. Périphérique de Paris (site plat)

Période 1977 (octobre) : Durée 7 jours en continu - polluants mesurés CO -
HC - NOx - M.J.A. : 100 000 véhicules/jour

. LYON (Rue Duquesne)

Période 1978 (mai) : Durée 26 jours en continu - polluants mesurés CO - HC -
NOx

. MARSEILLE (St Ferréol - Paradis)

Période 1982 (mai) : durée 30 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx - Poussières - Réalisation simultanée d'une enquête sur la gêne

. GRENOBLE

Période 1984 (mars-avril) 12 séances de 1 heure - polluants mesurés : odeurs et hydrocarbures

. GRENOBLE

Période 1984 (mars-avril) 28 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx - Poussières - Particules (dimension et nombre)

6.2.2 CETE MEDITERRANEE

Liste des campagnes expérimentales réalisées

. Autoroute B52 à Toulon (léger remblai)

Période 1980 (septembre) : Durée 13 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx - M.J.A. 1979 : 63 000 véhicules/jour

. RN98 à Saint-Laurent-du-Var (fort remblai)

Période 1980 (octobre) : Durée 10 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx - M.J.A. 1979 : 60 000 véhicules/jour

. Autoroute A50 à Marseille (déblai)

Période 1980 (octobre) : Durée 13 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx - M.J.A. 1979 : 45 000 véhicules/jour

. Autoroute A7 à Marseille (niveau)

Période 1980 (novembre) : Durée 9 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx - M.J.A. 1979 : 110 000 véhicules/jour

. MARSEILLE ville

Période 1981 (septembre-octobre) 45 jours en continu - polluants mesurés CO - HC - NOx

. Autoroute A50 à Marseille (déblai)

Période 1982 (mai) : Durée 8 jours en continu - polluants mesurés CO et poussières

. Rue Paradis et rue St Ferréol à MARSEILLE

Période 1982 (mai) : Durée 8 jours en continu - polluants mesurés poussières

. MARSEILLE ville

Période 1983 (février) : durée 8 jours de prélèvement - polluants mesurés CO

. TOULON ville

Période 1982 (juin-juillet) : Durée 30 jours en continu - polluants mesurés CO et poussières

. PEYROLLES EN PROVENCE RN96

Période 1985 (mars-avril) : Durée 40 jours en continu - polluants mesurés
CO - NOx - Poussières

6.2.3 CETE DE Lille

. AUTOROUTE A7-E10 (commune de Quarignon - Belgique)

Période 1984 (mars-avril) : Durée 32 jours en continu - polluants mesurés
poussières et plomb

. AUTOROUTE A7-E10

Période 1984 (octobre-novembre) : Durée 40 jours en continu - polluants
mesurés poussières et plomb

CHAPITRE 7

CALCUL D'UN NIVEAU DE POLLUTION

CALCUL D'UN NIVEAU DE POLLUTION (1) (2) (3) (4) (5) (6) (7)

A partir de différents paramètres de base (nature des émissions, situation topographique et géographique, conditions climatiques), il est possible de simuler la pollution induite par un aménagement particulier.

Différents procédés ont été testés dans le cadre des études particulières réalisées ces dernières années. Nous citerons :

- les modèles expérimentaux qui consistent à paramétrer généralement sous forme d'abaques des données expérimentales
- la simulation en veine fluide en déterminant des rapports de similitude entre la réalité in situ et une maquette du site, on peut simuler différentes pollutions sur maquette (aspect visuel et quantitatif). On peut utiliser une veine aérolitique ou une veine hydraulique (maquettes immergées respectivement dans de l'air ou dans de l'eau)
- les modèles théoriques. Il s'agit d'une description mathématique des phénomènes de dispersion, ils sont soit basés sur les théories classiques de transfert de la mécanique des fluides, soit basés sur des théories statistiques

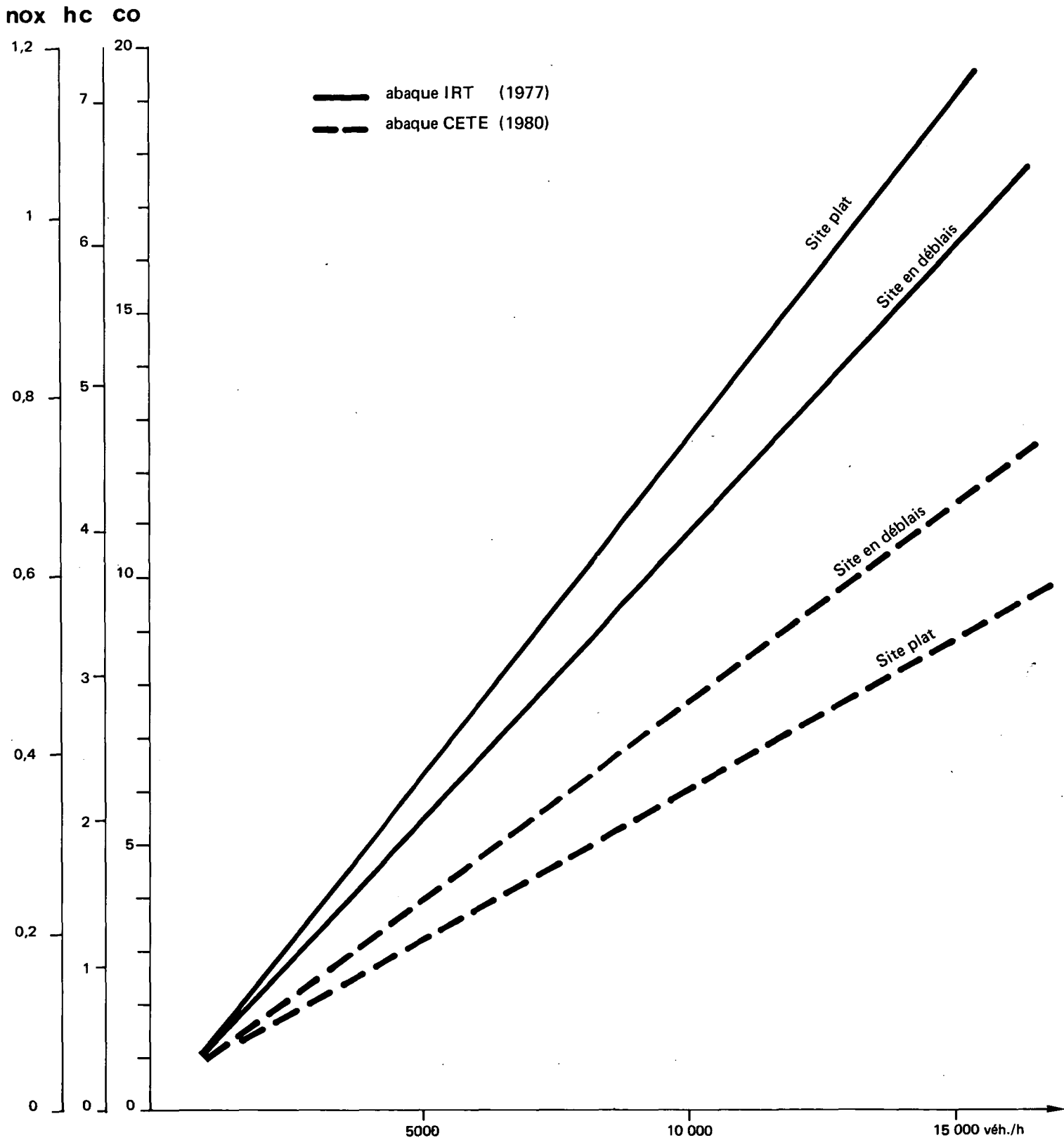
7.1 - LES MODELES EXPERIMENTAUX

Différents abaques ont été publiés en 1978 et 1980, concernant le niveau de pollution en bordure des autoroutes et voies rapides urbaines.

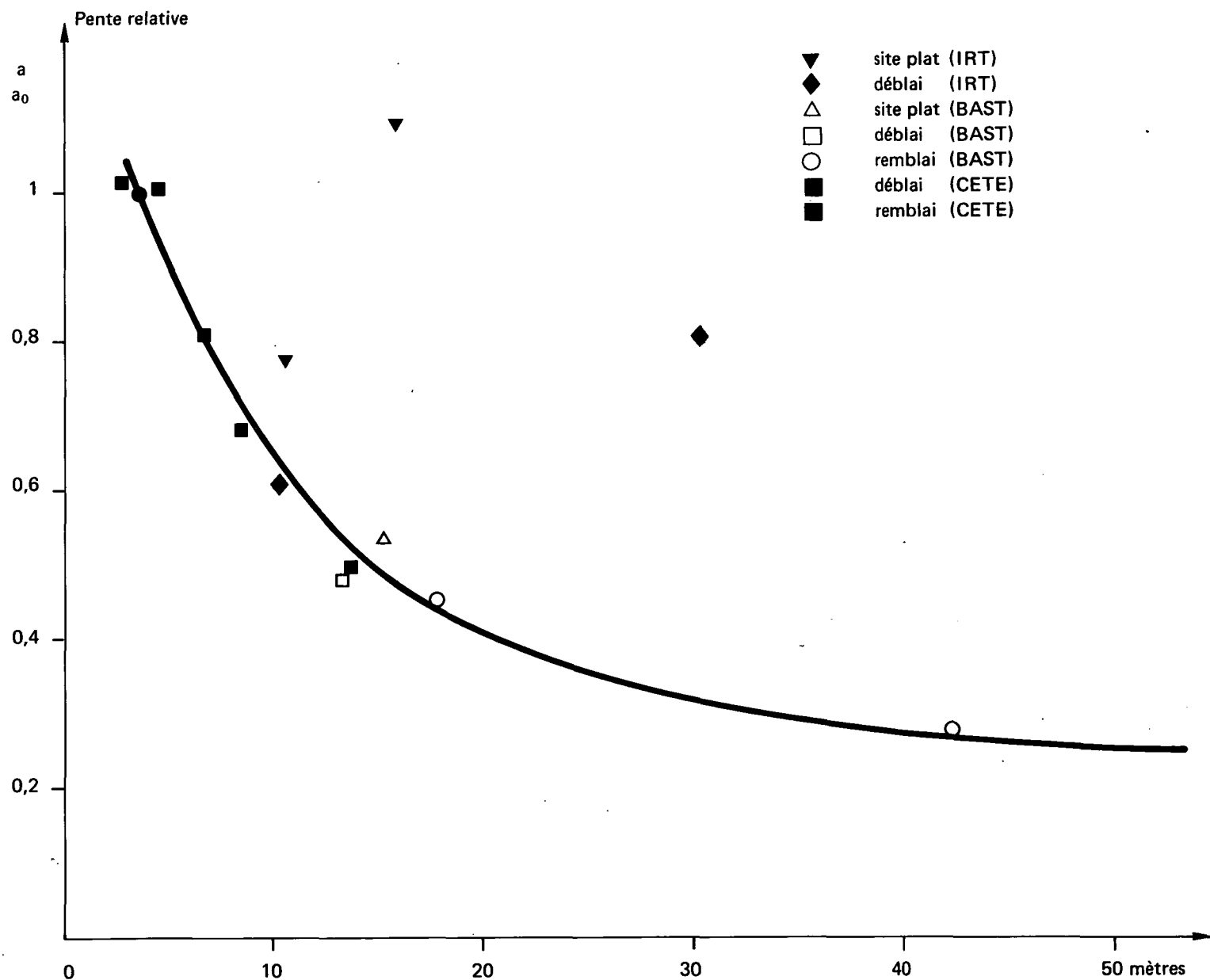
() Références bibliographiques cf. fin de chapitre

ABAQUES TENEUR-TRAFIC

Mesure à 2 mètres du bord de voie
 Vent perpendiculaire à l'autoroute
 Vitesse du vent inférieure à 2 m/s



ATTENUATION EN FONCTION DE LA DISTANCE AU BORD DE VOIE



INFLUENCE DE LA LARGEUR DE LA VOIE

- * Autoroute (2 x 2 voies, 2 x 3 voies) K = 1
- * Routes nationales (3 ou 4 voies) K = 1,5
- * Routes nationales (2 voies) K = 2

Les concentrations maximales observées n'ont jamais dépassé 15 p.p.m. de CO et cela dans les conditions les plus défavorables (site encaissé, pas de vent, trafic supérieur à 12 000 véhicules/heure et mesure à 2 mètres du bord de voie). Dans ces conditions, plutôt que de publier différents abaques reproduisant plus ou moins des situations réelles nous proposons au lecteur 2 graphes permettant de déterminer un niveau de pollution maximal en bordure d'une route importante.

Le premier graphe fournit la relation concentration bord de voie - trafic (page 102).

Le deuxième graphe fournit l'atténuation moyenne en distance, toutes conditions de site et de vent confondues (page 103).

Le coefficient K enfin, pondère, à trafic égal, le résultat, en fonction de la largeur des sources d'émissions.

Ces séries de résultats expérimentaux issues de mesures réalisées par l'IRT-CERNE, la BAST (R.F.A.) et le CETE MEDITERRANEE ont donné lieu à des échanges d'information et comparaison de résultats dans le cadre de la coopération permanente Franco-Allemande dans le domaine routier.

Sauf cas particulier, en première approche, les résultats fournis par les abaques précédents, sont de nature à renseigner le projeteur sur les concentrations maximales prévisibles au voisinage d'un projet.

7.2 - LES MODELES REDUITS

Dans de nombreux domaines, on a recours à des méthodes de simulation physiques. Celles-ci consistent à rechercher des règles qui permettent de passer des lois d'un phénomène à celles d'un phénomène semblable, à une échelle le plus souvent différente.

La simulation physique de l'atmosphère à petite échelle repose sur l'analogie existant entre les propriétés d'une couche limite développée en laboratoire et celles de la couche limite atmosphérique.

Il s'agit de reproduire, le plus près possible de la réalité, certains processus liés aux écoulements géophysiques.

Ces expériences contrôlées et reproductibles apportent une aide appréciable pour mieux comprendre et analyser la complexité des phénomènes naturels.

7.2.1 Veine hydraulique

Nous citerons comme organisme de recherche la SOGREAH (Grenoble) EDF (Chatou) et le Centre National de Recherche Météorologique (Toulouse) que nous avons visité mais que nous n'avons pas utilisé dans le cadre de nos recherches.

L'intérêt du modèle hydraulique est de pouvoir simuler convenablement la stratification de l'air et notamment les inversions thermiques.

En effet, au-delà de la caractérisation dynamique des flux, très vite le besoin s'est fait jour, d'accroître les possibilités de simulation en tentant de représenter d'autres stabilités que l'adiabatisme.

Les phénomènes atmosphériques étant fortement influencés par la stabilité thermique des basses couches, il était nécessaire, pour les étudier, de reproduire les gradients de température par des gradients de densité établis à l'aide de saumures plus ou moins concentrées.

La veine hydraulique du C.N.R.M. à Toulouse est constituée d'un canal de 30 m de long, 3 m de large et 1,6 m de profondeur.

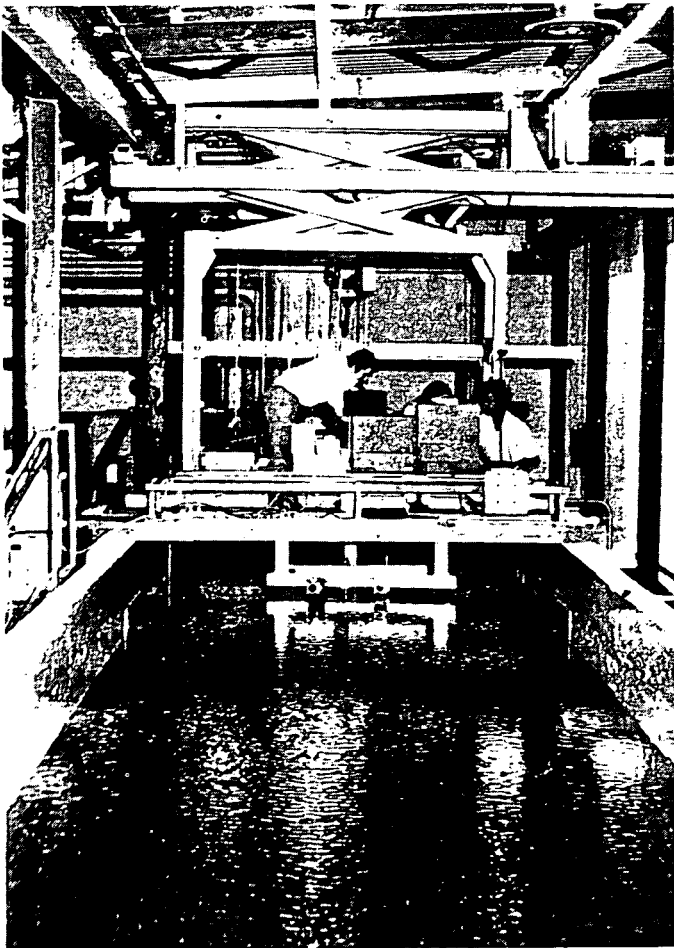
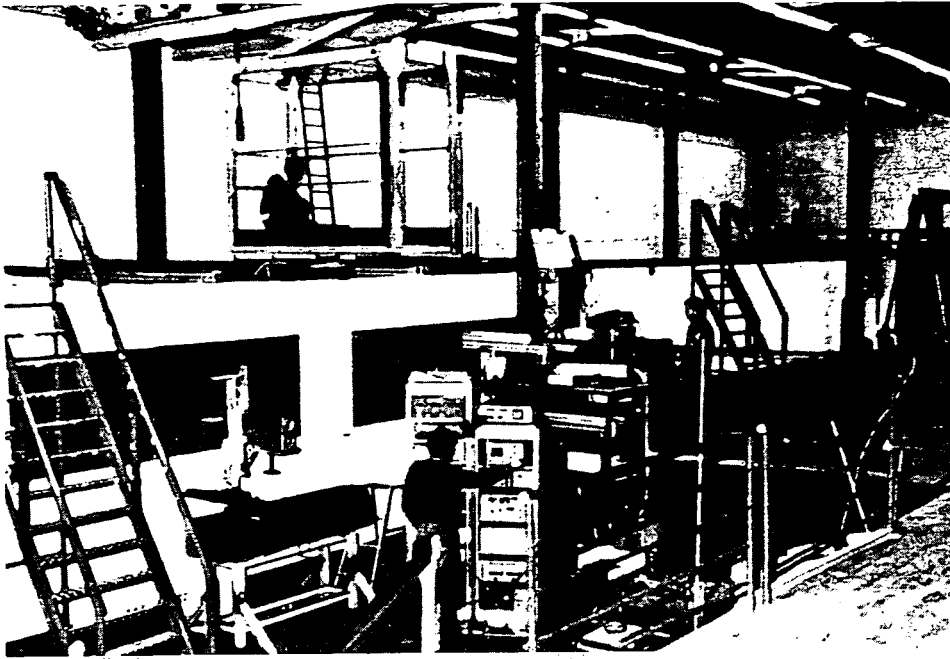
A ses deux extrémités, des plateaux de répartition réglables permettent de délimiter trois couches de densités et de vitesses différentes mises en oeuvre par trois circuits indépendants ; ce qui offre trois possibilités d'expérimentation :

- en eau pure isotherme (simulation d'atmosphères neutres au gradient vertical adiabatique),
- en écoulement possédant, en amont, une couche dense (de 5 à 50 cm d'épaisseur) surmontée d'eau pure,
- en écoulement comprenant au départ, deux couches de densités différentes (réglables entre 5 et 50 cm) surmontées d'eau pure.

Les couches denses sont réalisées à partir de saumures concentrées de NaCl ($\rho = 1,20$ à 20°C) fabriquées sur place.

Trois circuits de traitement permettent de maintenir constantes les densités des couches à l'entrée du canal.

Le principe de fonctionnement est basé sur une mesure de conductivité (k) sur le circuit concerné au débit Q , en aval de la chambre d'expérience.



Veine hydraulique du
C.N.R.M. à Toulouse

FICHE D'EXPLOITATION DE LA
VEINE HYDRAULIQUE DU C.N.R.M.

But Simulation des écoulements de la couche de surface atmosphérique et extension à la couche limite en présence de reliefs importants.

Moyens Mesures

- Vitesses moyennes, intensités de turbulence, spectres et échelle de turbulence pour les trois composantes de la vitesse en différents points de la maquette d'un site et à plusieurs hauteurs.
- Mesures de conductimétrie par micro-sondes à pointes.

Visualisation

- A l'aide de divers traceurs colorés, visualisation des flux ou des trajectographies de panaches d'effluents.
- Par la méthode du "Plan lumineux laser" avec ensemencement du fluide, détermination du champ de mouvement lagrangien pour divers plans.

Possibilités

- Etudes des écoulements sur des sites aux reliefs complexes.
- Etudes d'écoulements autour d'obstacles (impact sur un site).
- Etudes de pollution (trajectographie, diffusion).
- Etudes d'écoulements théoriques sur reliefs simplifiés à différentes rugosités (à deux ou à trois dimensions).
- Etudes de phénomènes particuliers liés à des gradients de densité (stabilité de l'espace inter-couche).

Coût

Au tarif 1986, le coût moyen horaire de l'essai correspondant à une période effective de mesure est de 1.250 F H.T.

7.2.2 Veine aérolitique

Dans le cadre de 2 études de tunnel routier urbain, nous avons utilisé la soufflerie atmosphérique du C.S.T.B. (Nantes) pour mesurer l'impact d'une cheminée de ventilation sur l'environnement urbain.

Des maquettes au 1/200 (en polystyrène) des sites expérimentaux ont été réalisées et placées dans la soufflerie.

Les caractéristiques du vent naturel, ainsi que les conditions de rejet de l'air vicié ont été reproduites (rapport de similitude) sur la maquette.

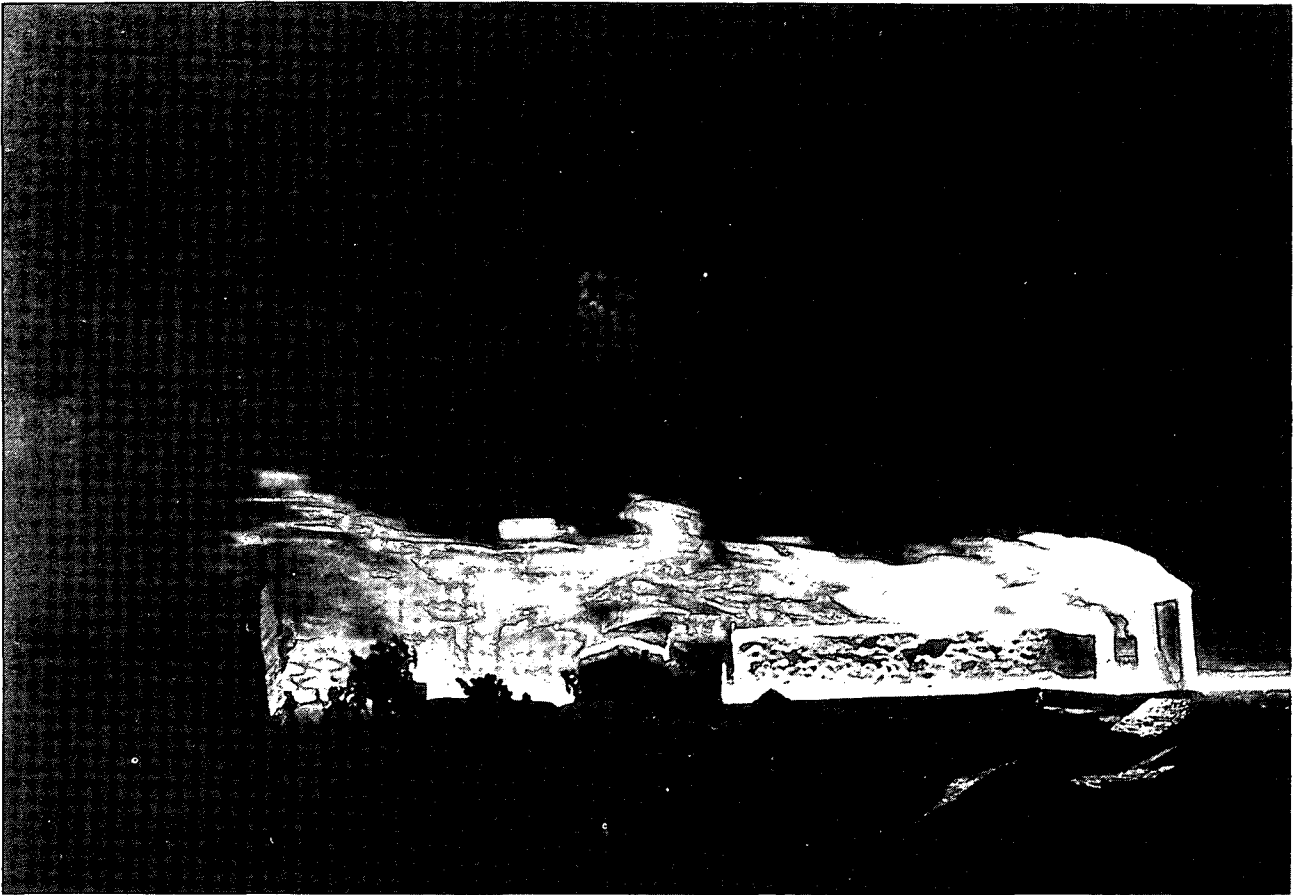
La visualisation des écoulements était rendue possible par la combustion d'encens : la mesure des concentrations aux points sensibles étant réalisée à partir d'un gaz traceur (éthane pur) émis par la cheminée.



Vue intérieure
de la soufflerie
atmosphérique du
CSTB NANTES

Vue extérieure
de la soufflerie
atmosphérique du
CSTB NANTES





Visualisation d'un panache en veine aérolique

- . à droite cheminée de 15 mètres de haut
- . à gauche différents bâtiments proches de la cheminée
- . vitesse d'éjection de la cheminée 8 m/s
- . vitesse du vent 8 m/s.

Cette méthode expérimentale suppose que les phénomènes thermiques sont relativement négligeables devant les phénomènes dynamiques, c'est-à-dire pour des vents supérieurs ou égaux à environ 3 mètres par seconde à 10 mètres d'altitude.

Pour des vents faibles ou des inversions on préférera la veine hydraulique.

Pour des situations topographiques tourmentées, le modèle rend parfaitement compte des effets de convection et de turbulence du vent.

- Une étude sur 2 maquettes de 6 m² chacune, pour l'implantation topographique de 2 cheminées et l'optimisation de la hauteur a coûté en 1982 (décembre) 100.000 F H.T. (non compris le coût de fabrication des maquettes).

7.3 - LES MODELES THEORIQUES

Différents modèles de calcul, basés sur des théories statistiques sont disponibles au CETUR et susceptibles d'être utilisés dans des projets d'aménagements routiers.

- Formules simplifiées calcul pour une rue en U

- Programme Polka

Calcul de la pollution dans un ensemble bâti quelconque programme automatique réalisé par l'IRT-CERNE.

- Programme Canyon

Calcul de la pollution dans une rue en U

Programme automatique réalisé par l'IRT-CERNE.

- Modèle Multisource

Calcul de la pollution sur un site plat quelconque.

Modèle de calcul réalisé par le CETE MEDITERRANEE.

- Modèle Unisource

Calcul de la pollution, issue d'une cheminée de ventilation d'un tunnel routier, sur un site plat.

Modèle de calcul réalisé par le CETE MEDITERRANEE (variante du précédent).

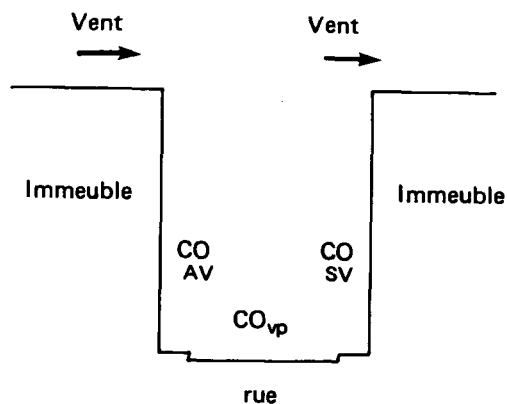
- Modèle Poleau

Modèle de calcul relatif à la pollution des eaux : évaluation de la charge et dimensionnement d'un bassin de rétention.

Modèle de calcul réalisé au CETE MEDITERRANEE à partir de données SETRA 1980 et LCPC 1981 (cf. Bibliographie).

7.3.1 - Formules simplifiées (1)

Différentes formulations permettent d'appréhender simplement la teneur en monoxyde de carbone dans une rue du centre ville appelée rue en U (rue bordée d'immeubles).

Schéma de principe

$$CO = 6.10^{-4} T - 9 \log V - 1,1 U + 17 \quad (\text{JURUD G.B. 1975})$$

$$CO = 0,04 \frac{QT}{U.V.n.} \quad (\text{DEUBER RFA 1977})$$

$$CO_{AV} = 7. \frac{Q}{L (U+0,5)} \cdot \frac{H-Z}{H} \quad (\text{DABBER DT G.B. 1975})$$

$$CO_{SV} = 7. \frac{Q}{(U+0,5) (d+2)} \quad "$$

$$CO_{VP} = \frac{CO_{AV} + CO_{SV}}{2} \quad "$$

$$CO_{SV} = 0,77 \frac{T (1 + \frac{T}{TMAX})}{V^{0,8} (U+0,5) (d+2)} \quad (\text{DELSEY Fce INRETS 1979})$$

$$CO_{AV} = 11. \frac{Q}{(U+0,5) L} \frac{H-z}{H} \quad (\text{JOURMARD Fce INRETS 1980})$$

$$CO_{SV} = CO_{VP} = 15. \frac{Q}{(U+0,5) D}$$

avec

CO : concentration en monoxyde de carbone exprimé en p.p.m.

d : distance du point de mesure au milieu de la voie la plus proche (en mètres)

D : distance point de mesure au centre de la rue

H : hauteur de la rue (mètres)

L : largeur de la rue (mètres)

n : nombre de voies

Q : émission du flot en mg/m/S

T : trafic total horaire

T_{MAX} : trafic maximal possible

U : vitesse du vent au-dessus des toits

Z : hauteur du point de mesure

CO_{AV} : concentration au vent

CO_{SV} : concentration sous le vent

CO_{VP} : concentration avec vent parallèle à la rue

7.3.2 - Modèle POLKA (3)

A la demande du CETUR, l'INREST a mis au point à partir d'un programme réalisé par DEUBER (Zurich) un modèle de calcul tri-dimensionnel permettant de caractériser les niveaux de pollution dans un ensemble bâti quelconque.

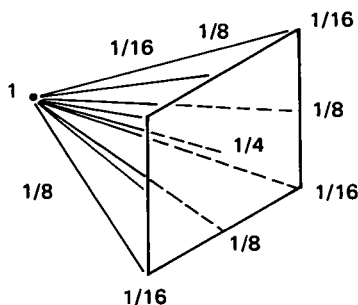
Le programme "pollution d'un quartier" permet de prendre en compte l'ensemble des voies de circulation d'un quartier du centre ville, la totalité du bâti. Il permet de calculer la concentration en polluant en un point quelconque de l'espace ainsi dimensionné, que ce soit sur les façades principales des immeubles ou les façades arrières (cours, jardins etc.). Des essais de calage et de validation de ce modèle à partir de mesures expérimentales ont été réalisés à Marseille place Félix Barret et place de la Bourse (cf. chapitre 6.2). Les entrées de ce programme sont compatibles avec le logiciel "BRUIT" du CETUR.

Le principe du calcul repose sur la définition en (x, y, z) d'un espace en 3 dimensions, orientées dans le sens du vent et dont le pas de calcul est égal au module de la vitesse du vent. Chaque point du site représente soit les sources de polluant, soit l'orographie, soit des immeubles.

A partir d'un point source quelconque (les routes sont représentées par une succession de points sources) la pollution se répartit dans le sens du vent sur les 9 points en aval les plus proches, ceux-ci devenant à leur tour des points d'émissions et se répartissant à leur tour de la même manière selon le principe ci-après.

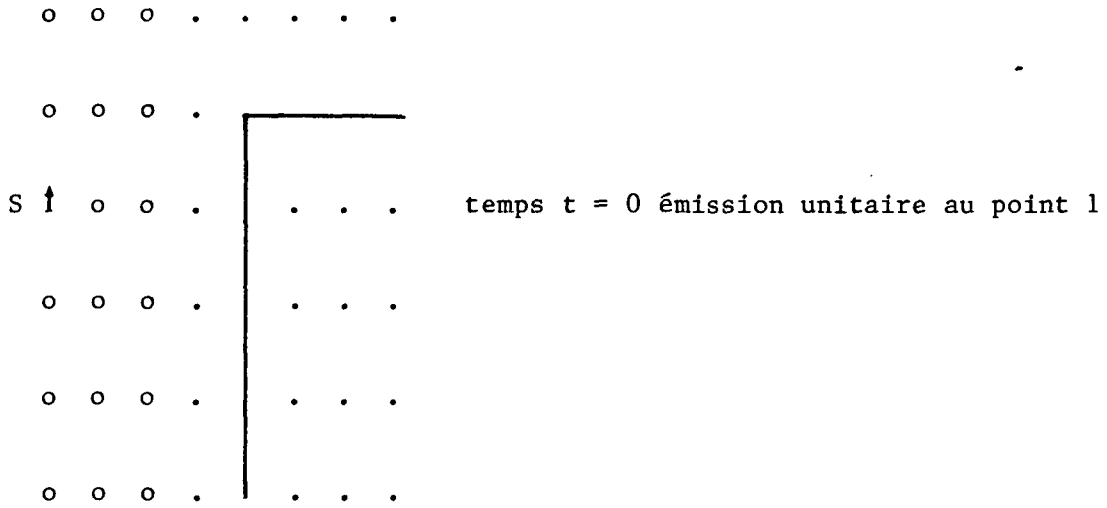
Cette distribution binomiale se rapproche progressivement avec la distance d'une distribution gaussienne.

Répartition dans l'espace.



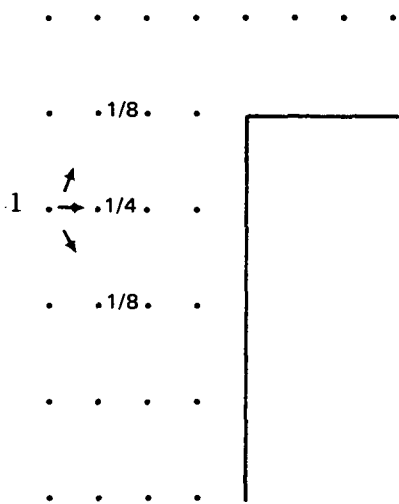
Visualisation du processus en 2 dimensions
 (plan vertical - parallèle à l'écoulement)

t = 0

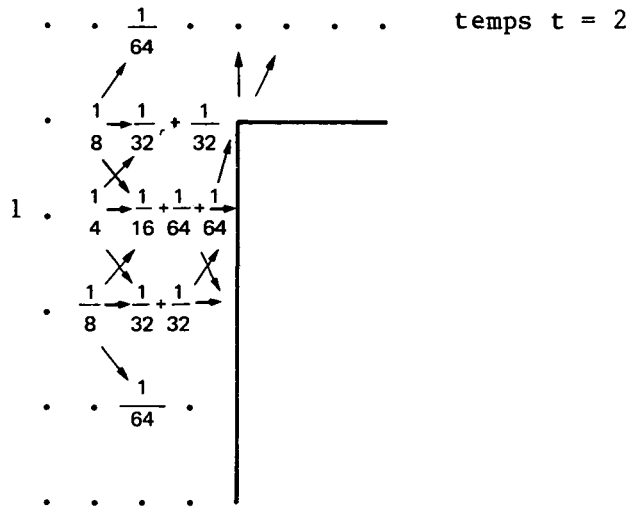


Vent $\bar{v} = x$ temps t = 1
 →

t = 1



t = 2



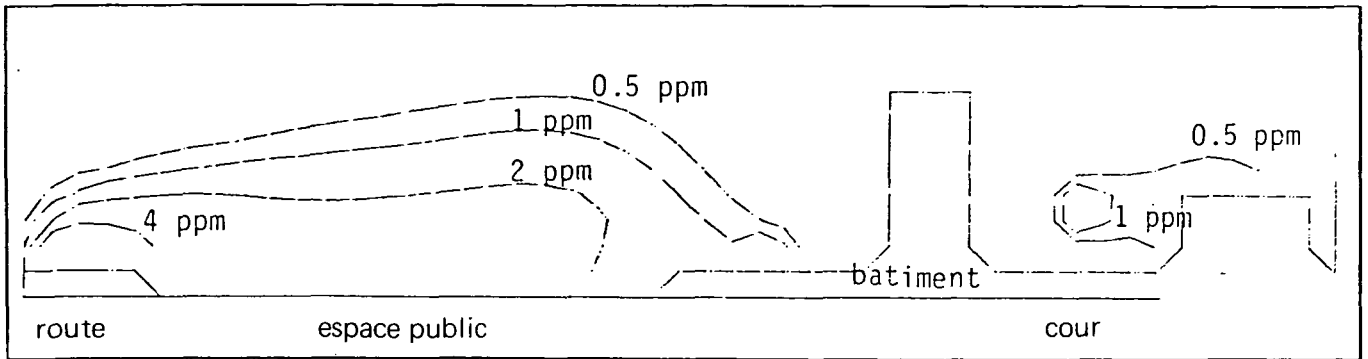
à t = 0 la source vaut 1, les autres points de l'espace appelés récepteurs valent 0

à t = 1 les 3 points avals reçoivent $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{4}$, $\frac{1}{8}$ de la source précédente

à t = 2 les 3 points avals deviennent à leur tour des sources qui se répartissent sur les 5 points avals

Ceci se poursuit jusqu'à ce que tous les points de l'espace E (x, y, z) soient affectés d'un niveau de pollution. Lorsqu'il y a rencontre avec un obstacle (bâtiment par exemple), des algorithmes de calcul réaffectent la pollution soit autour de cet obstacle, soit en façade du bâtiment (accumulation).

Ce modèle de calcul est relativement long à utiliser ; les temps de calcul sont importants ; néanmoins, il permet sur un site complexe d'évaluer la répartition sur l'ensemble de l'espace étudié des flux de pollution.



Programme POLKA sortie de courbes isoconcentrations

7.3.2 - Modèle CANYON (2)

A la demande du Centre d'Etude des Transports Urbains (CETUR), l'Institut de Recherche des Transports (IRT) a mis au point un modèle de dispersion applicable dans une rue canyon (rue d'un centre ville, bordée d'immeubles).

Ce modèle permet de calculer sur un plan quelconque, perpendiculaire à la voie, les niveaux de pollution issues de la circulation automobile. Des essais de calage et de validation du modèle ont été réalisés rue Dusquène à Lyon, rue Paradis, rue de Rome et rue de la République à Marseille (cf. chapitre 6.2).

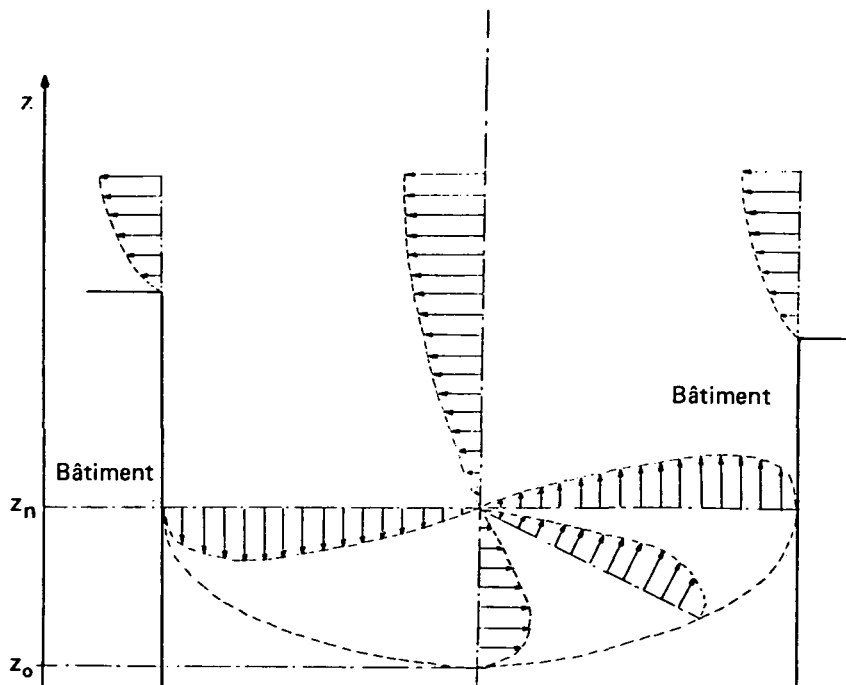
Ce modèle de dispersion est basé sur les équations de Sutton (modèle statistique).

$$C(x, y, z) = \frac{2Q}{\pi C_y C_z U x^{2-n}} \exp \left[-\frac{1}{x^{2-n}} \left(\frac{y^2}{C_y^2} + \frac{z^2}{C_z^2} \right) \right]$$

Ce modèle analytique propre au calcul de la pollution dans une rue en U fait intervenir :

- les caractéristiques du site (hauteur des bâtiments - largeur de la voie - nombre de files de circulation),
- la vitesse et la direction du vent aéroport,
- les émissions de chaque voie en gramme/minute/100 mètres de voie,
- la vitesse moyenne des véhicules.

Une relation empirique donne le seuil minimal de la vitesse de vent (à l'aéroport) pour qu'un vortex se forme. On considère un régime stationnaire, où les lignes de courant décrivent des ellipses centrées en Z_n , dans le plan médian de la rue.



Champ de vent dans une rue canyon

Le champ de vent, sous l'altitude Z_n , est entièrement défini par la composante maximale de la vitesse du vent au milieu de la rue (pour un vent perpendiculaire à la rue).

Au-dessus de Z_n et sous le niveau des toits, le champ de vent est estimé en appliquant le principe de conservation de la masse et en supposant un profil logarithmique de vent.

La composante de vent parallèle à la rue est extrapolée au centre de la rue, à partir du vent en altitude.

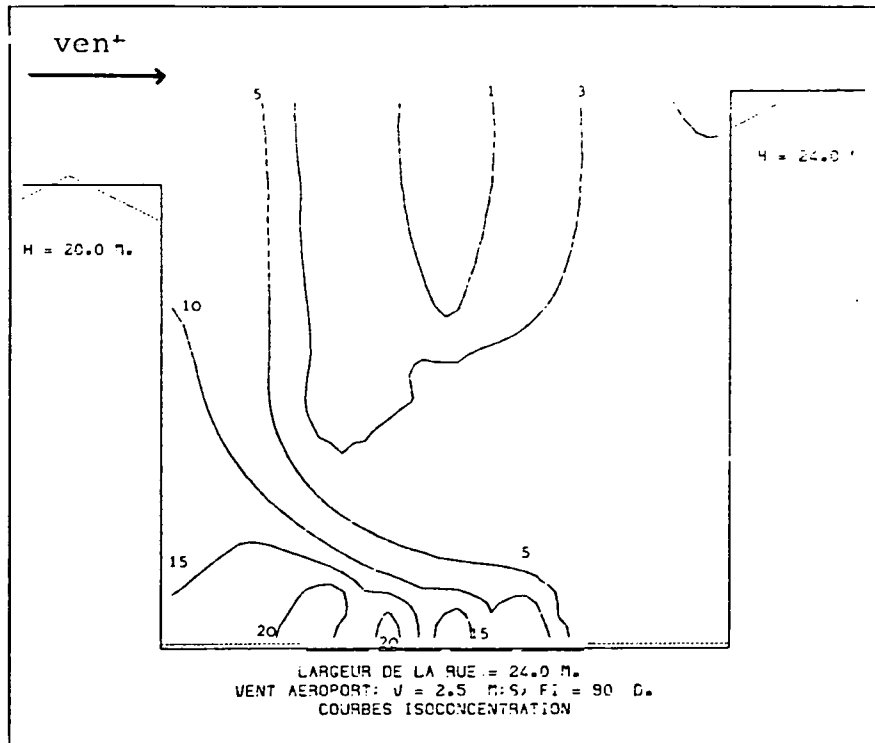
Les coefficients de diffusion sont estimés par extrapolation linéaire entre :

- une valeur au sol, fonction de la vitesse moyenne du trafic et des dimensions des véhicules et,
- la valeur au-dessus des toits, fonction de la vitesse moyenne du vent et de l'altitude.

Les résultats sont présentés sous forme de tableaux et de graphiques :

- vecteur vent en chaque point d'un maillage perpendiculaire à la rue ;
- courbes d'isoconcentrations dans un même plan transversal.

Ce modèle est d'une utilisation très simple et ne nécessite pas des temps de calcul importants.



7.3.3 - Modèle multisource (4)

Partant d'un modèle statistique applicable aux sources ponctuelles, on assimile la route à une ligne source dont l'intégration point par point conduit à déterminer en un point récepteur la contribution de chaque source élémentaire.

La ligne source est droite, infinie, située au niveau du sol considéré comme plan ; la dispersion se fait dans un demi espace.

La concentration C d'un polluant déterminé en un point de ce demi espace s'écrit :

$$C(x_0, y_0, z_0) = \frac{2 Q}{\sqrt{2 \pi} \vec{u} \sigma_z} \left[\text{Exp} - \frac{z^2}{2 \sigma_z^2} \right]$$

L'équation fait intervenir :

- . l'émission Q du polluant considéré (cf. chapitre 2)
- . le vent \vec{u} (vitesse en m/s)
 - l'altitude en mètre du point récepteur (z)
 - la distance à la source $\sigma_z = Ax^B$; x distance en mètre
 - les conditions générales de l'atmosphère (stabilité de l'air) σ_z (cf. chapitre 3, parag. 3.3).

NOTA : ce modèle comporte de très nombreuses hypothèses simplificatrices et a été calé sur un nombre restreint de mesures, on doit le considérer comme donnant un ordre de grandeur sans chercher à plus de précision ; des campagnes de mesures complémentaires sont encore nécessaires pour le valider et le caler.

Le paramètre \vec{u} se définit comme la force du vent perpendiculaire à la route. Quel que soit la direction du vent, lorsque celui-ci souffle de la route vers le milieu récepteur, l'expression de u est

$$u = u' \sin \alpha$$

- u : vitesse du vent orthogonal à la route
- u' : vitesse du vent en mètre/seconde
- α : angle que fait la composante du vent avec la route

7.3.4 - Modèle Unisource

Ce modèle s'applique à une source ponctuelle ; il est testé pour définir les caractéristiques géométriques d'une cheminée de ventilation d'un tunnel routier.

- Equation de base

Formule de dispersion gaussienne dans le sens de l'écoulement

$$C(x,y,z,h) = \frac{Q}{2\pi\sigma_y\sigma_z\vec{u}} \exp\left[-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right] \left[\exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z-H}{\sigma_z}\right)^2\right] + \exp\left[-\frac{1}{2}\left(\frac{z+H}{\sigma_z}\right)^2\right] \right]$$

$C(x, y, z, h)$ = concentration en p.p.m. dans le panache au point de coordonnées x, y, z , pour un rejet de hauteur effective h

Q Emission du polluant (concentration p.p.m. x débit)

\vec{u} vitesse du vent à l'aéroport le plus proche : ce paramètre oblige à considérer que le gradient de la vitesse du vent est uniforme dans tout le panache.

$\sigma_y \sigma_z$ coefficient de dispersion (cf. chapitre 3)

La première exponentielle détermine la concentration en un point quelconque situé perpendiculairement à l'écoulement et à l'intérieur du panache.

La deuxième a l'attitude z .

Les coefficients de dispersion

Les coefficients de dispersion y et z varient en fonction de 3 paramètres :

- la rugosité du sol
- l'état de l'atmosphère

Dans la couche limite ou couche turbulente, l'interaction vent - température de l'air influe sur la dispersion. Ainsi, selon que l'atmosphère est instable, neutre ou stable, la diffusion turbulente sera bonne, moyenne, ou faible.

- la distance à la source

Plus on s'éloigne de la source, plus la diffusion devient prédominante par rapport aux conditions initiales d'émission.

Caractéristiques du rejet

Les cheminées de ventilation appartiennent à la même famille que les cheminées industrielles : si à une distance relativement éloignée, les phénomènes climatiques sont prédominants, en champ proche, la phase aérodynamique issue du type de fonctionnement (débit, vitesse d'éjection) conditionne la forme du panache par une surélévation (t° d'éjection) de celui-ci.

Ainsi, la hauteur d'une cheminée s'apprécie comme la somme de sa hauteur géométriques et d'une surélévation due aux caractéristiques de l'émission et des conditions ambiantes $H = H_G + H$.

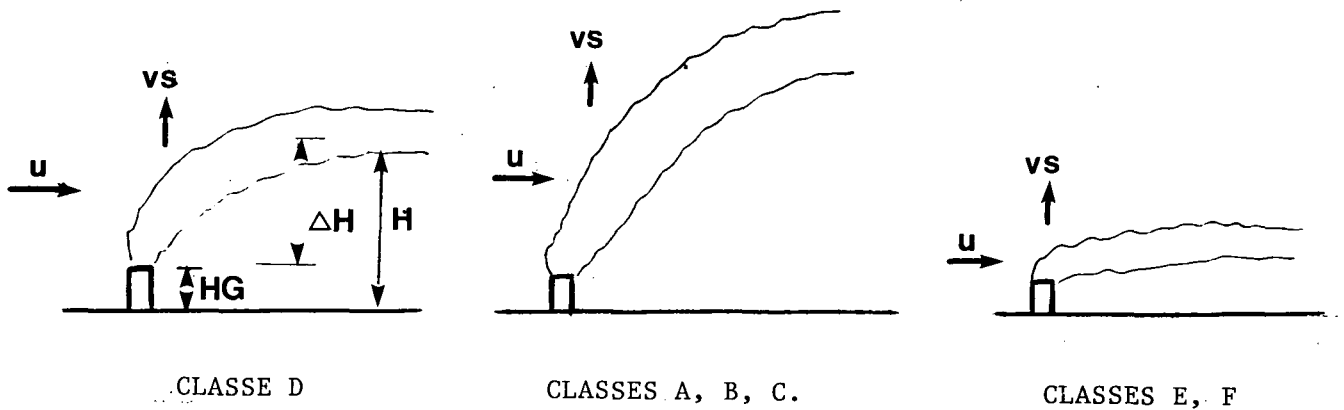
H : étant la hauteur du panache lorsque son axe est à peu près horizontal.

Plus le rapport $\frac{VS}{u}$ est grand,

(VS, vitesse d'éjection, u vitesse du vent), plus le panache a tendance à monter ; inversement, si $\frac{VS}{u} < 1,5$ le panache est rabattu.

D'autre part la stabilité de l'air interfère également sur la hauteur du jet : en classe neutre (D), c'est le seul rapport $(\frac{VS}{u} ; t^\circ)$ qui est

important, en classe instable (A, B, C) il y a accentuation du phénomène de sur hauteur, en chaque point, les particules émises étant à une température supérieure à l'air ayant tendance à monter. Le phénomène inverse se produit en cas de stabilité (E, F).



Différents auteurs ont proposé des formules de surhauteur toutes calées sur des cas courants et notamment des centrales thermiques : il est à noter que les différents calculs proposés diffèrent entre-eux essentiellement par le terme thermique (température d'éjection \neq température ambiante), nous citerons pour mémoire MM. MOSSE et CARSON qui proposent :

$$\Delta H = 1,96 \frac{VS}{u} d + 3,06 \sqrt{\frac{Q}{u} + 11}$$

M. BRIGHT qui propose différentes formulations tenant compte de l'état de l'atmosphère.

Au niveau méthode de calcul prévisionnel nous prendrons comme formule de base HOLLAND.

$$\begin{array}{l}
 \text{- formule de base :} \\
 \hline
 : \\
 : \Delta H = 1,5 \frac{VS d}{u} + 4,1 \times 10^{-2} q. h : \\
 : \qquad \qquad \qquad u \qquad \qquad \qquad : \\
 : \\
 \hline
 :
 \end{array}$$

- hypothèses simplificatrices :

. lors du fonctionnement des usines de ventilation, à chaque instant, les usines d'air frais injectent dans le tunnel de l'air extérieur pendant que les usines d'air vicié rejettent de l'air aspiré dans le tunnel. On peut considérer ainsi que ces échanges air-frais - air-vicié induisent à l'intérieur du tunnel une température voisine de celle de l'air ambiant : la différence t° extérieure - t° sortie des gaz étant voisine de 0 degré, on peut négliger le terme thermique pour ne se préoccuper que du terme dynamique.

ΔH devient

$$\begin{array}{l}
 \hline
 : \\
 : \Delta H = 1,5 \frac{VS d}{u} : \\
 : \qquad \qquad \qquad u \qquad \qquad \qquad : \\
 : \\
 \hline
 :
 \end{array}$$

ΔH : surhauteur en mètre

VS : vitesse d'éjection en m/s

d : diamètre de la cheminée

u : vitesse du vent en m/s

. Pour tenir compte de l'état de l'atmosphère, M. BOWNE propose d'affecter à ΔH un terme correctif fonction des différentes classes de stabilité rencontrées.

STABILITE	SUR HAUTEUR
A et B	$\Delta H = \Delta H \times 1,2$
C	$\Delta H = \Delta H \times 1,1$
D (neutre)	ΔH
E	$\Delta H = \Delta H \times 0,9$
F	$\Delta H = \Delta H \times 0,8$

Calcul de la diffusion

Travaillant par plage de 20° sur la rose des vents, on ne s'intéresse qu'à la concentration observée sur l'axe du panache au niveau du sol étant entendu qu'à la distance x la concentration maximale est située sur l'axe. Ainsi, dans la formule de base, les termes en y et en z disparaissent :

$$C(x, 0, 0, H) = \frac{Q}{\pi \vec{u} \sigma_y(x) \sigma_z(x)} \exp \left[\frac{-H^2(u)}{2 \sigma_z^2(x)} \right]$$

$C(x)$ = concentration au sol dans l'axe du panache est fonction de l'émission.

Q = concentration x débit.

Le débit pour ce type d'installation peut être modulé en deux classes :

- classe 1, débit maximal, vitesse d'éjection 8 m/s

concentration 200 p.p.m. (co),

- classe 2, demi puissance, vitesse d'éjection 4 m/s

concentration 150 p.p.m. (co).

Ainsi, si seules les conditions de fonctionnement changent, la concentration au point x diminue d'un facteur 2 (débit) et d'un facteur 0,25 (concentration - émission).

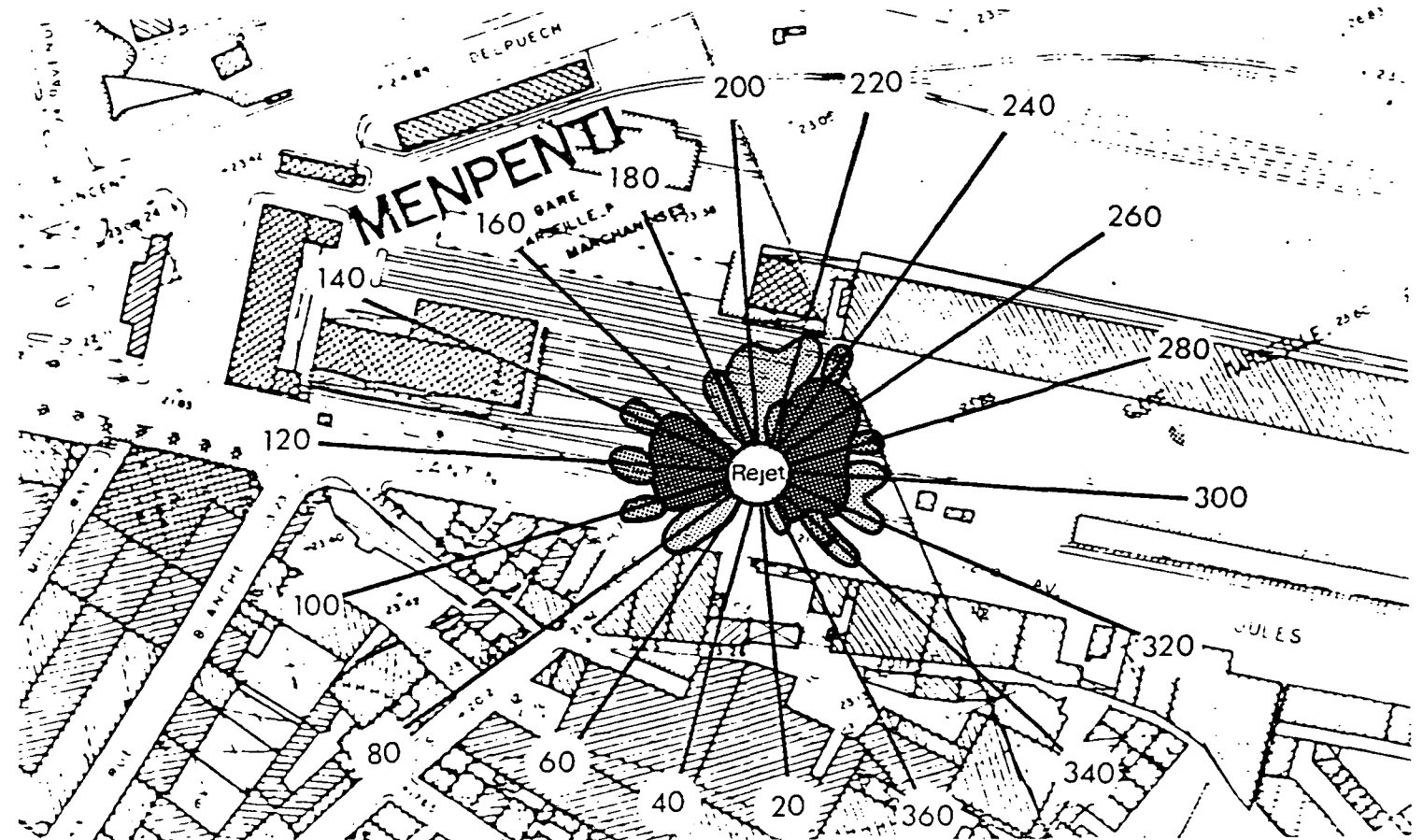
- de la distance à l'émission par l'intermédiaire de $y(x)$ et $z(x)$

- de la vitesse du vent par un calcul de sur hauteur H (u)

- du type de rugosité par un choix approprié des y et z


- des différentes classes de stabilité par un deuxième choix de y (A....E)
et z (A....E).


EXEMPLE DE SIMULATION MATHÉMATIQUE




GARE DU PRADO - ROSE DE POLLUTION (statistiques 1982) $H = 0$ m 9 h à 15 h
(Temps universel) fonctionnement à 1/2 régime $w = 4$ m/s

Fréquence de dépassement du seuil 2 p.p.m. de CO exprimé en nombre de jours par an.

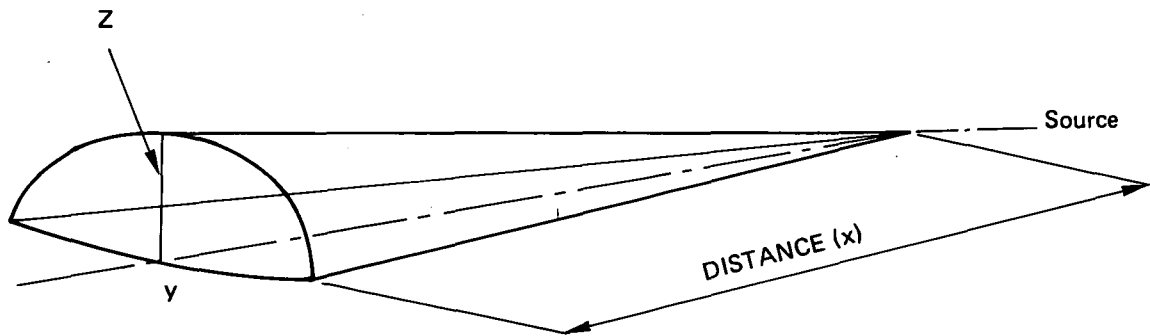
 2 à 4 j

 5 à 9 j

 10 à 37 j

7.3.5 - Modèle Tunnel (7)

On peut représenter la diffusion de la pollution émise par une source ponctuelle type tête de tunnel sous la forme d'un demi cône.



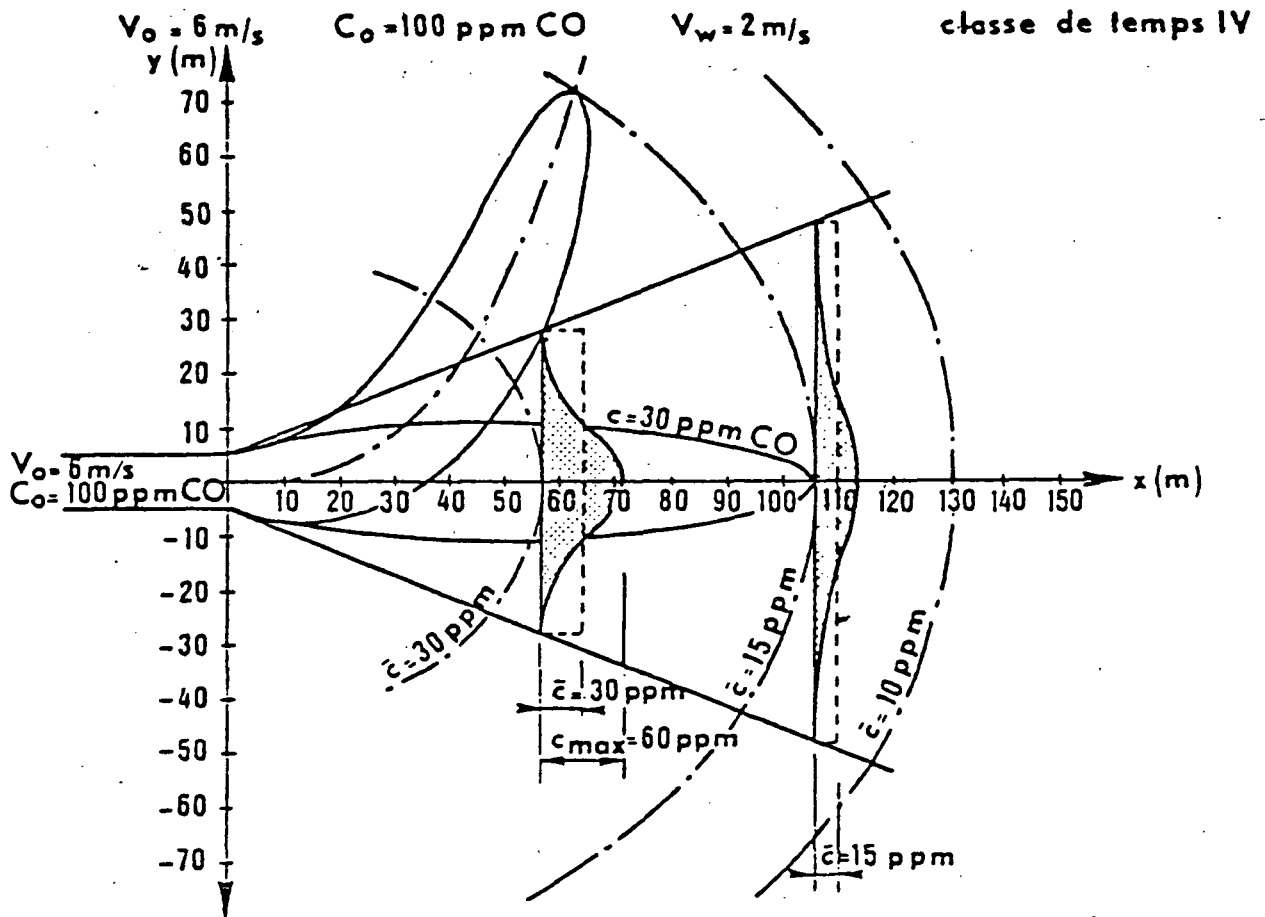
A l'intérieur du panache on estime que la répartition du polluant obéit à une distribution GAUSSIENNE (cf. 7.3 et 7.4).

On détermine le niveau de polluant à chaque point par l'équation suivante :

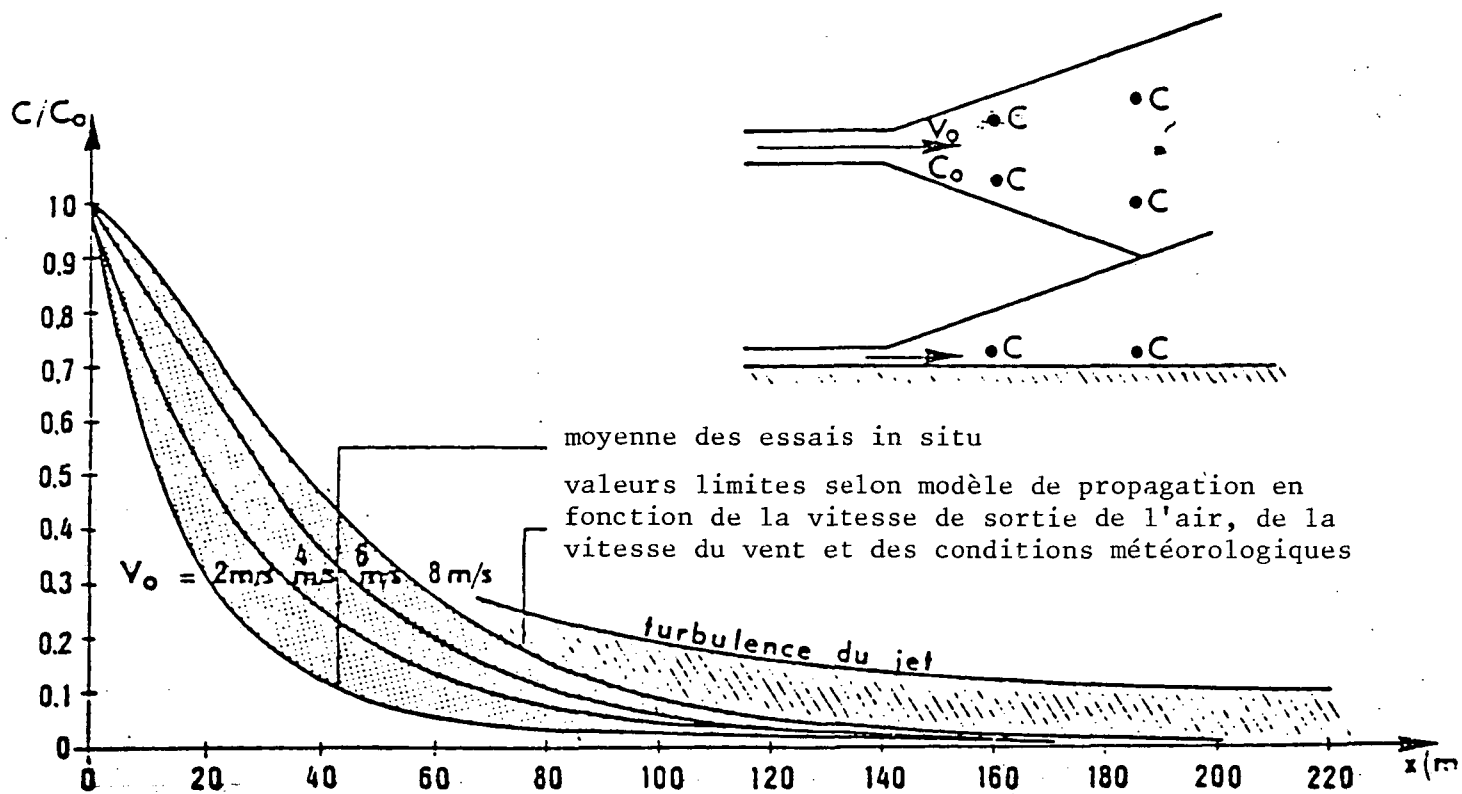
$$C(x, y, z) = \frac{Q}{\pi u \sigma_y \sigma_z} \exp \left[- \frac{1}{2} \left(\frac{y^2}{\sigma_y^2} + \frac{z^2}{\sigma_z^2} \right) \right]$$

Au point source, on admet une concentration unitaire de 100 p.p.m. pour le CO, qui correspond à une valeur seuil de concentration à partir de laquelle généralement la ventilation se met en marche.

EVOLUTION DU PANACHE D'AIR VICIE
A LA SORTIE D'UN TUNNEL



CONCENTRATIONS EN POLLUANTS
 AU DEBOUCHE D'UN JET D'AIR VICIE



7.3.6 - Modèle Poleau (6)

Le modèle explicité ci-après concerne la pollution des eaux de ruissellement.

La route, caractérisée par son profil en travers et son profil en long, s'apparente à une surface imperméable sur laquelle va venir se déposer, par temps sec, un certain nombre de substances. Lors d'un épisode pluvieux, la chaussée est lessivée par la pluie : cette eau chargée s'évacue par gravitation et se retrouve dans le milieu récepteur.

Ces différents processus d'accumulation, de lessivage et de rejet, peuvent être quantifiés afin d'évaluer et le cas échéant minimiser l'impact de ces rejets sur le milieu environnant qui est constitué essentiellement des eaux superficielles (rivière) et des eaux souterraines (nappes phréatiques).

A titre d'illustration nous donnons des valeurs de concentrations en polluants mesurées dans les eaux de ruissellement sur autoroute et les valeurs guides et impératives relatives à la qualité des eaux.

Site	MES	DB05	DCO	Pb	ZINC	Cd	HC
Autoroute A10				0,2	2,8	0,12	
Autoroute A6	4-313	1-6	20-74	0,005-0,45	0,02-0,11	< 0,03	
Autoroute A1	8-1680	3-35	23-394	0,005-1,4	0,12-2	-	
Autoroute A4	8-1125	-	7-2913	0,01-2	0,04-25,5	-	
Autoroute A61	15-505	-	18-459	0,01-1,5	0,13-1,6	-	
Valeurs courantes	280 mg/l	3-6	30	0,03 à 3	0,3 à 2	0,001 à 0,005	0,05 à 1
Eau potable	25	< 3	30	0,05	0,5 à 3	0,05	0,0002
Eaux salmonicoles	25	3			0,03		

7.3.6.1 - Origine des polluants

- Usure de la chaussée

Celle-ci dépend : du trafic, des pneumatiques utilisés, de la nature et de l'âge du revêtement. Elle se traduit par l'émission de poussières composées d'environ 5 % de bitume et 95 % de granulats et substances minérales.

A titre d'exemple citons :

- 10.000 véhicules/jour et un revêtement béton entraînant 50 kg/jour/kilomètre de poussières
- 10.000 véhicules/jour et un revêtement bitumineux entraînant 100 kg/jour/kilomètre de poussières

- Corrosion

Corrosion des véhicules mais aussi des éléments de sécurité de la route (glissières, panneaux, etc.) avec émission de particules de fer, chrome, nickel, zinc, cadmium, etc.

- Usure des pneumatiques

Emission de particules de carbone, de zinc et de cadmium. On estime ces rejets, pour un trafic de 10.000 véhicules par jour à :

- 10 à 20 g/j/km pour le zinc
- 10 à 60 mg/j/km pour le cadmium
- 0,6 à 1,2 kg/j/km pour le carbone

- Rejet des gaz d'échappement

CO, HC, NOx, SO2, Plomb, etc. (cf. chapitre 2).

7.3.6.2 - Cinétique d'accumulation

Ces différents polluants s'accumulent sur la chaussée et sédimentent jusqu'à l'arrivée d'une pluie.

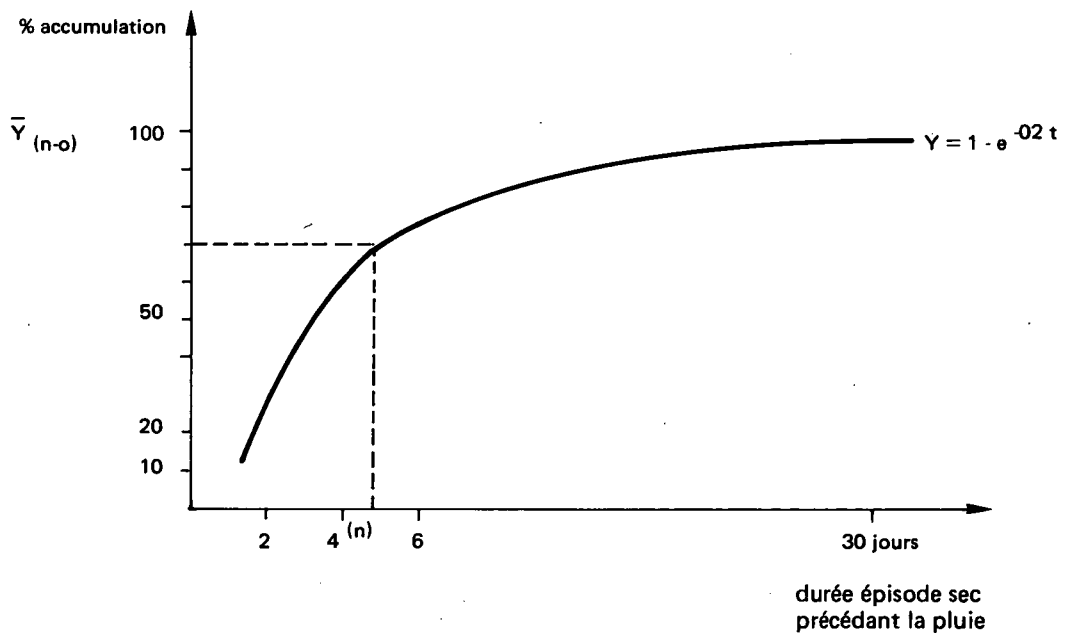
La cinétique d'accumulation des poussières durant cette période de temps sec suit une loi de la forme :

$$Y = 1 - e^{-kt}$$

pourcentage accumulé avec $k = 0,2$ = coefficient de rugosité

t = durée de l'épisode sec

Elle peut donc être représentée par la courbe suivante :



On constate une accumulation rapide de la charge polluante durant les premiers jours (85 % des poussières s'accumulent en 10 jours environ).

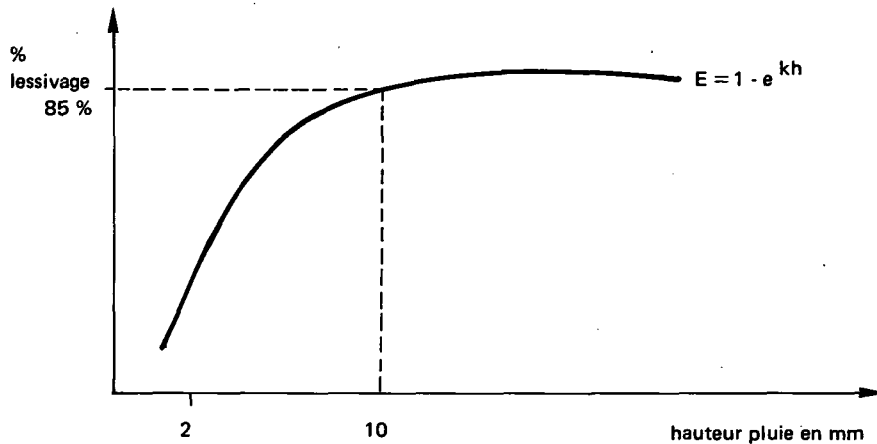
7.3.6.3 - Lessivage de la chaussée

Lors d'un épisode pluvieux donné, le lessivage de la surface considérée permet l'entraînement des particules polluantes accumulées, leur cinétique d'entraînement se traduit par l'équation :

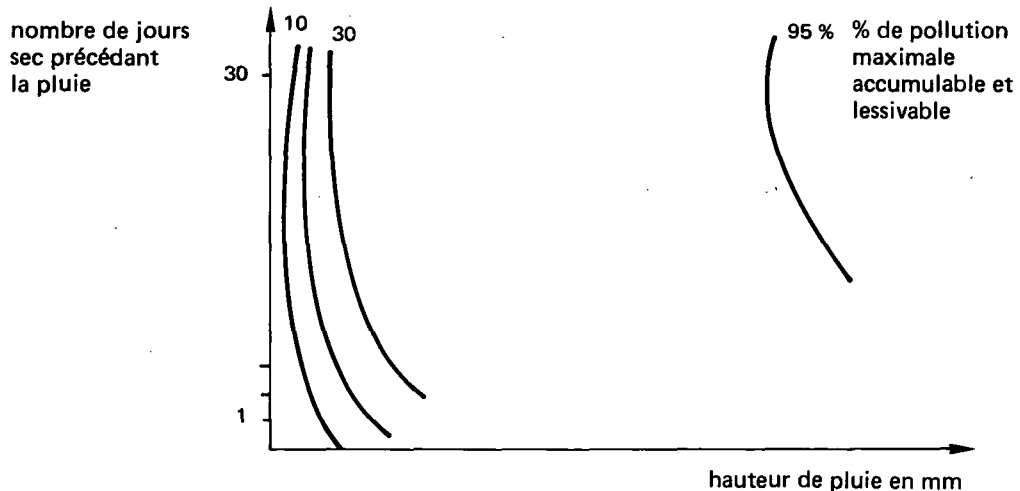
$$E = 1 - e^{-kh}$$

h = hauteur de pluie tombée pendant un temps Δt

lorsque l'on trace la courbe des pourcentages lessivés en fonction de la hauteur de pluie tombée, on s'aperçoit que quelles que soient son intensité et sa durée, les 10 premiers millimètres tombés entraînent près de 85 % de la pollution.



On peut donc dresser une abaque de pollution en fonction de la hauteur de la pluie et de la durée de l'épisode sec précédent.



Conventionnellement la valeur de la charge polluante ($Y_n - n$) est fonction de la charge maximale accumulable et lessivable ($Y = Y_{30} - 30$) où Y = charge correspondant à une pluie de 30 mm consécutive à 30 jours secs.

Relations entre la charge totale de pollution annuelle relarguée et la charge éliminée après (n) jours de temps sec

La formule établie par COYNE et BELLIER permet de comparer les charges polluantes de plusieurs sites :

$$\begin{array}{l} \text{---} \\ : \\ : \quad \bar{S} = \bar{Y} \frac{\alpha^k}{\alpha + k} \times \bar{P} \quad : \\ : \\ : \quad \alpha + k \quad : \\ : \quad : \\ \text{---} \end{array} \quad \begin{array}{l} \text{avec } S = \text{pollution annuelle moyenne} \\ \\ = \frac{n}{P} = \frac{\text{nbr épisodes pluvieux}}{\text{hauteur de pluie annuelle}} \end{array}$$

Les courbes enveloppes

Les données météorologiques locales permettent d'établir les courbes intensité - durée - fréquence pour différentes périodes de retour. En effet :
 $H(t, T) = I(t, T) \times t$
 avec $H(t, T)$ = hauteur maximale de pluie de période de retour T , tombée au bout d'un temps (t) et $I(t, T)$ l'intensité moyenne maximale.

Ces courbes sont de la forme :

$$\begin{array}{l} \text{---} \\ : \\ : \quad y = a t^b \quad : \quad (\text{équation de MONTANA}) \\ : \\ \text{---} \end{array}$$

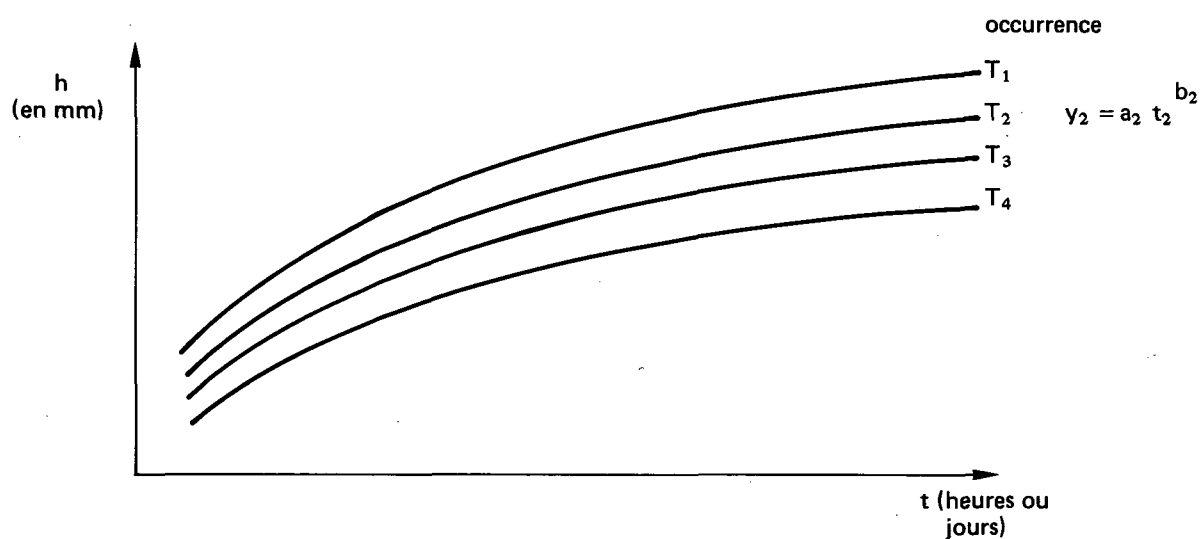
L'établissement de ces courbes nécessite des données portant sur plus de 20 ans.

Après avoir classé par année, les hauteurs (en mm) maximales de pluies tombées en (n) jours, on classe ces valeurs par ordre croissant et par durée de référence. Après conversion en mm/h, elles sont affectées d'une fréquence empirique d'après leur classement (donc d'après le nombre d'épisodes pluvieux).

Une première série de courbes permet de classer les intensités (mm/h) en fonction de ces fréquences et pour différentes périodes de retour.

Les courbes enveloppes (temps, hauteur), sont extraites de cette série pour des fréquences décrivant des occurrences diverses.

A partir de ces courbes on peut donc obtenir les hauteurs maximales de pluie tombées sur un secteur précis pour des périodes de retour déterminées (l'ajustement étant plus ou moins élevé en fonction du pas de temps considéré).



7.3.6.4 - Concentration à l'exutoire

La charge polluante lessivée dépend des volumes d'eau écoulée (cf. ci-dessus) et des émissions.

Les valeurs à prendre en compte pour le calcul des concentrations en polluants au niveau de l'exutoire pour un kilomètre de chaussée à 2 voies et pour des trafics de 5.000 à 15.000 véhicules/jour sont :

$\bar{Y}_{5-0} =$	DCO	: 40 kg
	MES	: 80 kg
	Plomb	: 0,12 kg
	Zinc	: 0,23 kg

7.3.6.5 - Le bassin de rétention

Pour éviter un rejet direct des eaux de ruissellement, on imagine des bassins de stockage pour recueillir les eaux issues des 10 premiers millimètres de pluies tombées donc les plus chargées en substances polluantes ; on peut de manière théorique, dimensionner ces bassins afin de permettre une décantation optimale.

A partir de la surface considérée, surface de la chaussée et de la perméabilité de la route, on calcule les débits à évacuer dans le bassin en fonction de la hauteur d'eau moyenne d'où :

$$(\text{concentrations des effluents}) = \frac{A}{V} \text{ avec :}$$

A = pollution provenant d'une surface S

V = volume à stocker.

La charge polluante étant véhiculée en majeure partie par les 10 premiers millimètres de pluie tombée (80 % environ), si l'on décide de stocker uniquement les volumes correspondant à cette charge on aura une charge B

$$B = 80 \% A$$

En fonction du nombre d'épisodes pluvieux (constatés sur une région donnée) et susceptibles d'entraîner un ruissellement suffisant, on calcule les volumes d'eau à évacuer.

En ne stockant que les 10 premiers millimètres d'eau on rejette dans le milieu :

$$\text{Pollution résiduelle} = \frac{A - B}{BV - V'}$$

où V' = volume total à évacuer consécutivement à une pluie donnée).

Le bassin récepteur des eaux devra donc fonctionner comme un décanteur. En optimisant la vitesse de sédimentation son dimensionnement doit répondre à :

$$S \geq \frac{QE - QS}{V_s \ln \frac{QE}{QS}}$$

S = Surface du décanteur

Q = débit E = entrée

S = sortie

V_s = vitesse de sédimentation

Le temps de concentration est calculé suivant la formule :

$$T = 1/v$$

T_c = longueur du bassin / vitesse d'écoulement
(en j) (m) (m/s)

Le débit d'entrée : pour $h = it$ ou $h = A t^\alpha$ on a :

$$i = \frac{h}{t} = \frac{A t^\alpha}{t} = A t^{(\alpha - 1)}$$

Pour une occurrence de 1, 5, 10 ... an), l'équation de la courbe enveloppe correspondante permet de calculer l'intensité en mm/j

$$\begin{array}{l} \text{---} \\ : \\ : i \times S \text{ (à drainer) } = Q_e \text{ m}^3/\text{h} : \\ : \\ \text{---} \end{array}$$

Dans ce volume sera stocké 80 % de la charge polluante consécutive à l'épisode sec considéré.

Ce calcul permet ainsi d'optimiser un bassin de rétention et par là, minimiser la pollution rejetée directement dans le milieu environnant ; néanmoins, on constate que ces dispositifs mis en place sont peu ou pas efficaces vis-à-vis de ce type de pollution les causes en sont :

- . la difficulté de conception des bassins efficaces ;
- . le coût des bassins ;
- . la difficulté ou l'absence d'entretien des bassins ;
- . le devenir des boues issues de ces bassins.

La conception des ouvrages

Les dispositifs de traitement sont très rarement conçus par des ingénieurs maîtrisant les techniques d'épuration des eaux. Souvent, les ouvrages présentent des écoulements préférentiels ou des temps de séjour de l'effluent ne permettant pas une décantation convenable. Il en va de même pour le déshuilage. Il apparaît, de plus, difficilement compatible de vouloir traiter avec un seul type d'ouvrage la pollution chronique et la pollution accidentelle.

L'entretien des bassins

Il apparaît dans la plupart des cas que les matières décantées sont remises en suspension lors d'événements pluvieux quelque peu importants et rejetées dans le milieu. Il faut donc entretenir les bassins très souvent, beaucoup plus souvent semble-t-il que le concepteur ne l'avait prévu. Cet entretien n'est possible que si le bassin a été prévu en conséquence (accès facile, résistance de l'ouvrage aux outils mécaniques, ...).

Le devenir des boues

Par leurs teneurs en métaux lourds, les boues issues des bassins ne peuvent être déposées que dans des sites agréés. Mais par défaut de décharge de type industriel ou par négligence, c'est très rarement le cas et ces boues concentrées en métaux lourds contaminent après épandage les milieux que l'on avait voulu protéger.

Des études récentes montrent que les bas côtés en terre et les fossés enherbés de faible pentes ont des capacités de stockage d'hydrocarbures et de métaux lourds suffisantes pour limiter la contamination aux abords immédiats de la chaussée. La conception quand cela est possible d'un assainissement avec des rejets diffus ou semi diffus peut être une des solutions. Ce système présente l'avantage de jouer le rôle "d'éponge" en cas de pollution accidentelle.

Les rejets de type diffus sont efficaces vis-à-vis de la pollution, il faut les favoriser dans la mesure du possible.

BIBLIOGRAPHIE

- (1) Article de R. JOURMARD et R. VIDON dans la revue pollution atmosphérique n° 88 - Octobre-décembre 1980 (extrait de rapport de recherche IRT/CERNE cf. chapitre 9).
- (2) Dispersion de polluants dans une rue en U - Modèle de dispersion canyon - R. JOURMARD - IRT-CERNE - 1980
- (3) Dispersion des polluants dans un ensemble bâti quelconque, modèle Polka - JOURMARD, DEUBER, NADEAU - IRT-CERNE - 1983
- (4) La pollution de l'air par les transports - P. NADEAU - CETE MEDITERRANEE - 1985
- (5) Tunnel centre-ville - Section Carinage Cantini - Etude d'impact - P. NADEAU - D. MARCHAND CETE MEDITERRANEE - 1983
- (6) Protection des eaux contre la pollution d'origine routière - SETRA - Avril 1980
- (7) Note sur l'étude de la diffusion de la pollution - J.P. MARSAULT - CETU 1982

CHAPITRE 8

LES MESURES PROPRES A REDUIRE

LA POLLUTION AUTOMOBILE

LES MESURES PROPRES A REDUIRE LA POLLUTION (1) (2)

La réduction de la pollution automobile conduit à des choix technologiques consécutifs au respect des normes d'émission de plus en plus sévères, accompagnés par des aménagements ponctuels liés à la conception et à l'exploitation de la route.

Nous distinguerons dans ce chapitre les moyens d'actions qui relèvent des motoristes, de ceux mis à la disposition des ingénieurs routiers.

8.1 - REDUCTION DES EMISSIONS

8.1.1 - Choix technologiques dans les pays industrialisés

Aux Etats-Unis, poussés par une opinion publique très sensibilisée, les pouvoirs publics ont décidé en 1970, qu'en 10 ans, les émissions de monoxyde de carbone, dioxyde d'azote et hydrocarbures imbrûlés devraient diminuer de 90 %.

Pour ce faire, les constructeurs automobiles ont utilisé la technique des convertisseurs catalytiques qui nécessitent l'usage de carburant sans plomb.

Depuis 1982, les véhicules neufs atteignent des niveaux d'émission en diminution de 96, 95 et 75 % respectivement pour CO, HC et NOx par rapport aux années 1960.

Au Japon, les normes américaines ont été adoptées et rendues obligatoires à partir de 1977. Là aussi, le choix du convertisseur catalytique a été adopté.

Actuellement au Japon, 98 % des véhicules utilisent de l'essence sans plomb. Dans la Communauté Economique Européenne, l'évolution s'est fait progressivement.

En 1971 et 1984, les émissions ont diminué de 50 % pour le CO et de 15 à 25 % pour les NOx et HC. Ces gains ont été obtenus par des améliorations successives, sans remise en cause des principes généraux de fonctionnement.

- Appauvrissement du mélange air-carburant (diminution sensible du CO et HC mais accroissement des NOx).
- Contrôle de l'allumage (pilotage électronique de l'allumage).
- Modification des chambres de combustion.

Le Conseil des Ministres de l'Environnement de la CEE a adopté, le 28 juin 1985, de nouvelles normes plus sévères qui devraient permettre une diminution des émissions de 62 à 87 % pour le CO et les HC + NOx et de 45 à 70 % pour les NOx, pour les véhicules neufs construits à partir de 1988 (cf. chapitres 2 et 4).

Ces normes n'ayant pas été adoptées par le Danemark, elles ne sont pas actuellement applicables.

Les choix technologiques permettant le respect de ces normes impliquent :

- au niveau des carburants : l'introduction de l'essence sans plomb (décret d'application 1er octobre 1989)

- Pour les cylindrées supérieures à 2 litres :

Mise en place d'un convertisseur catalytique 3 voies

Recirculation des gaz d'échappement (RGE)

- Pour les cylindrées de 1,4 à 2 litres :

Mise en place d'un pot catalytique d'oxydation avec recirculation des gaz d'échappement

Moteur à mélange pauvre

- Pour les cylindrées inférieures à 1,4 litre :

Amélioration des recyclages conventionnels (rapport air-carburant, retard à l'allumage, régime, refroidissement, ...)

Moteur à mélange pauvre à partir de 1997

8.1.2 - Les technologies de la voiture propre

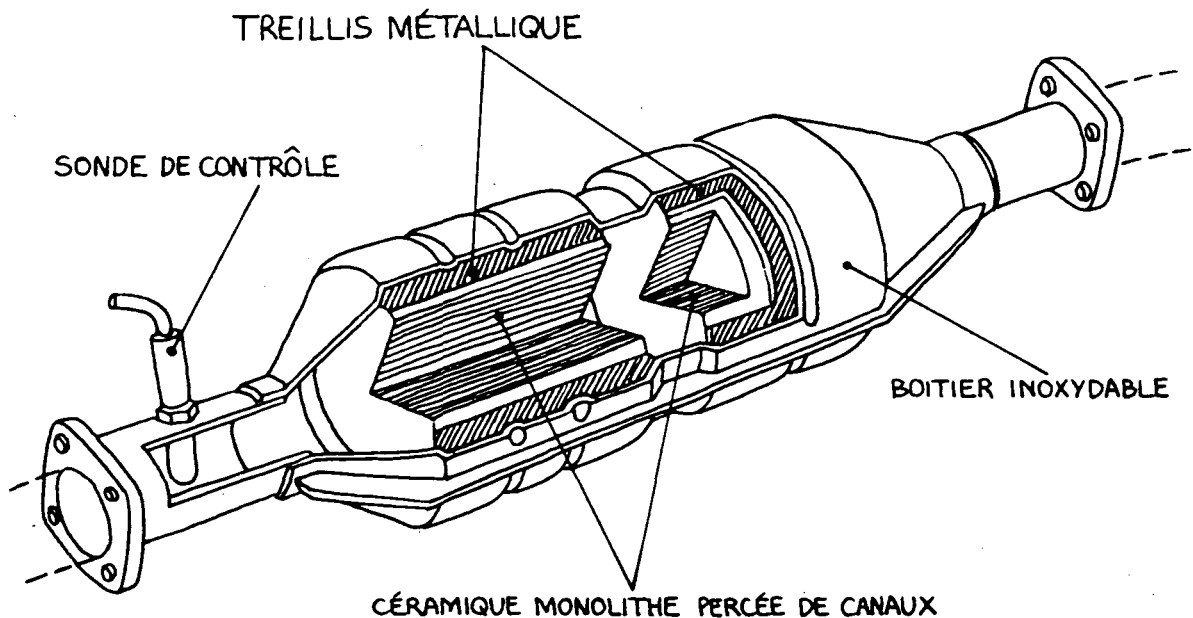
8.1.2.1 - Essence sans plomb

A qualité maintenue des carburants, l'absence de plomb ne pose pas de problème aux moteurs, mais seulement au niveau du raffinage où les contraintes de fabrication seront plus sévères, les coûts légèrement plus élevés. L'absence de plomb permet en outre d'augmenter la durée de vie des bougies, des pots d'échappement et de l'huile.

8.1.2.2 - Convertisseur catalytique 3 voies

C'est actuellement la seule technique au point permettant le respect des normes posées par le projet de directive pour les véhicules essence de plus de 2 litres.

Le convertisseur catalytique 3 voies, qui oxyde CO et HC pour donner du gaz carbonique et de la vapeur d'eau et réduit NOx, est un bloc rond ou ovale en céramique (monolithe), de structure nid d'abeille, perforé dans le sens de la longueur d'un grand nombre de canalisations très étroites. Cette structure est imprégnée de métaux précieux catalyseurs : platine, palladium et rhodium.



SCHEMA DE PRINCIPE

Les températures normales de fonctionnement (300 à 700°) seraient atteintes dans le cas de la circulation habituelle en Europe en 30 secondes ou 500 mètres. Ce catalyseur impose surtout un réglage très précis (à 1 %) et permanent de la richesse du mélange air-carburant autour de la stoechiométrie. Ce réglage précis exige de disposer d'un système bouclé échappement-injecteurs :

- une sonde à oxygène (sonde lambda) qui mesure la teneur en oxygène des gaz d'échappement,

- une injection électronique composée de 3 éléments : des capteurs de débit et pression des gaz, un calculateur, des injecteurs commandés par le calculateur (monopoint : un injecteur pour tous les cylindres, multipoints : un injecteur par cylindre).

Les autres contraintes du catalyseur concernent son implantation physique qui peut être assez difficile à résoudre (proximité du moteur, protection thermique, garde au sol), ainsi qu'une mise automatique hors circuit en cas de mauvais fonctionnement du moteur.

Le prix de vente approximatif d'un convertisseur 3 voies s'établit entre 3.900 et 5.400 F H.T. (janvier 1986).

Dans les conditions optimales de fonctionnement (t° surtout), l'efficacité d'un convertisseur 3 voies est très élevée, proche de 100 % pour les polluants réglementés comme pour les polluants non réglementés. Mais il convient de s'assurer périodiquement de son bon fonctionnement. L'utilisation d'essence plombée le détruit en effet très rapidement et il vieillit sous l'effet de la température ou d'empoisonnements divers. Aux Etats-Unis, les convertisseurs doivent tenir 80.000 km et 5 ans, mais 40 % seulement des véhicules respectent la norme.

Un contrôle périodique des véhicules (tous les 5 ans puis tous les 2 ans) serait en outre très positif pour la consommation, la sécurité...

8.1.2.3 - La recirculation des gaz d'échappement (RGE)

Ce système développé vers 1973 aux Etats-Unis et au Japon réinjecte à l'admission une part des gaz d'échappement ; cela entraîne une réduction de la teneur en oxygène et de la température des gaz dans la chambre de combustion donc une baisse des émissions de NOx : un taux de recirculation de 10 % entraîne une diminution des émissions de NOx de l'ordre de 40 %. L'incidence de la RGE sur la consommation est faible, variable, parfois favorable, les accroissements de consommation ne dépassent pas 2 à 3 % ; le fonctionnement du moteur en régularité et performance peut être légèrement affecté. Son coût est de 600 F H.T.

8.1.2.4 - Les catalyseurs d'oxydation

La technologie en est déjà ancienne aux Etats-Unis où ils furent installés en série en 1975 ; ils n'agissent que sur les polluants réglementés HC et CO. Ils sont constitués d'un support identique à celui du catalyseur 3 voies, l'imprégnation est faite avec du palladium et du platine sans rhodium. L'utilisation courante d'essence plombée entraîne sa destruction comme le catalyseur trifonctionnel.

Contrairement au catalyseur trifonctionnel, le catalyseur d'oxydation n'exige pas que le rapport air-carburant à l'alimentation du moteur soit dans le rapport stoechiométrique, ce qui n'entraîne pas de modifications des performances ou de la consommation par rapport à un moteur classique ; le léger accroissement de consommation 2 - 3 % résulte de la perte de charge à l'échappement et de la nécessité d'injecter de l'air dans l'échappement pour assurer l'oxydation ; en pratique cependant, la liberté donnée au motoriste qui subit moins de contraintes pour la conception et les réglages du moteur amène une réduction de la consommation.

8.1.2.5 - Moteur à mélange pauvre

Lorsqu'il y a excès d'air, le mélange est dit pauvre. Une richesse inférieure à 0,9 entraîne la réduction simultanée des émissions de CO et NOx ainsi que de la consommation. Une pauvreté excessive entraîne une émission croissante de HC mais surtout un mauvais fonctionnement du moteur par défaut d'inflammation du mélange carburé et irrégularité du couple développé. Si la richesse est inférieure à 0,8, les moteurs classiques ne fonctionnent plus, la consommation remonte.

La mise au point d'un moteur acceptant un mélange de plus en plus pauvre nécessite une amélioration de l'allumage, de l'alimentation avec enrichissement du mélange, de la combustion.

Il n'existe pas actuellement de moteur à mélange pauvre performant. Seul Toyota a construit en petite série un véhicule équipé d'un moteur de richesse 0,77, ce qui lui permet de respecter les normes japonaises avec une réduction de consommation de près de 20 % par rapport à un véhicule identique équipé d'un catalyseur 3 voies.

8.1.2.6 - Le moteur à charge stratifiée

Le principe du moteur à charge stratifiée consiste à utiliser un mélange riche autour de la bougie et un mélange plus pauvre dans le reste de la chambre de combustion.

Ce système a d'abord été étudié parce qu'il permettait une importante économie de carburant, puis à partir de 1970 pour ses réductions d'émissions de polluants. Dans le milieu des années soixante-dix, Honda a commercialisé son modèle "CIVIC" équipé d'un moteur à préchambre, qu'il a dû abandonner car il ne permettait pas de réductions d'émissions de 30 à 40 %.

Aujourd'hui ce moteur semble loin de voir le jour.

8.1.2.7 - Le problème des Diesels

Les améliorations de détail du moteur Diesel peuvent porter comme pour le moteur à essence sur de nombreux paramètres. Actuellement, on améliore surtout l'injection et la commande électronique. Mais on ne peut espérer plus de 20 % de réduction des émissions si on ne veut pas perdre les avantages de consommations du moteur Diesel.

La RGE est aussi applicable aux Diesels, mais le recyclage constant entraîne l'accroissement des émissions de particules.

Pour séparer le problème des NOx de celui des particules, les constructeurs (Mercedes-Benz notamment) et équipementiers étudient activement des pièges à particules à régénération, qui brûlent les particules après les avoir bloquées. Dans le cas du filtre en céramique, une efficacité d'environ 75 % a été constatée.

Néanmoins, les pots catalytiques actuels réducteurs de NOx ne fonctionnent pas avec le moteur Diesel car les températures des gaz d'échappement sont trop faibles et la présence d'oxygène empêche la réduction.

Les voies de recherche portent notamment sur la régulation électronique de l'injection et de la RGE, l'assistance d'un allumage électronique, l'utilisation de méthanol, voire du GPL, ...

8.1.2.8 - Utilisation des gaz de pétrole liquéfiés - Gaz naturel - Hydrogène

L'emploi de carburants gazeux permet de réaliser un mélange air-carburant homogène et de fonctionner correctement en mélange légèrement pauvre, ce qui apporte une réduction très importante des émissions de CO et, dans une moindre mesure, de celles d'hydrocarbures, une réduction de consommation, mais a tendance à accroître les émissions d'oxydes d'azote ; il est généralement possible de pousser suffisamment loin l'appauvrissement pour réduire également les émissions d'oxydes d'azote mais au prix d'un relèvement des émissions d'hydrocarbures.

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

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

8.1.2.9 - Les véhicules hybrides

Il s'agit de véhicules bi-modes c'est-à-dire qui utilisent alternativement 2 modes différents de traction :

- les trolleys (alimentation électrique ou gazole)
- les autobus (gazole et gazole + GPL) expérience en cours à NANCY.

8.1.2.10 - Synthèse

Toutes ces technologies oeuvreront dans les prochaines années à la mise en service d'une voiture propre en France ; néanmoins, la mise en service à partir des années 90 de ce type de véhicules ne devrait pas donner de résultats significatifs sur les niveaux globaux d'émission du parc automobile avant l'an 2000 car on estime à plus de 10 ans le renouvellement à 50 % du parc.

Dans ces conditions, réduire les émissions ou favoriser la dispersion à partir de la route (conception et exploitation) ne peut que favoriser ce processus avec, en cas de réussite sur tel ou tel site, des résultats immédiats.

8.2 - LA ROUTE ET LA POLLUTION AUTOMOBILE

Après s'être intéressé à la voiture et à ses développements technologiques pour la rendre plus propre, on évalue l'impact d'une route sur son environnement immédiat en ce qui concerne les possibilités de réduire cette pollution globale.

L'ingénieur routier responsable d'un réseau d'infrastructure peut, ponctuellement, favoriser une diminution de la pollution automobile. Il dispose pour cela de différents moyens liés à la construction de la route, et à son exploitation. Selon les cas, il s'agira soit de favoriser la dispersion, soit de réduire, voire de supprimer les émissions globales.

Il est nécessaire avant tout de travailler sur un secteur parfaitement identifié et limité géographiquement sur lequel on aura préalablement évalué l'enjeu de cette réduction avant de l'attaquer à des modifications plus ou moins importantes de l'aménagement considéré.

Si l'on excepte la contribution à la pollution générale (cf. chapitre 5 pluies acides) qui concerne la globalité du réseau routier, on doit s'interroger sur les critères suivants :

+ Typologie de la voie

Voie urbaine, VRU, autoroute de liaison, route nationale, trafic, etc.

+ Définition de l'environnement sensible

Automobilistes, piétons, riverains, consommateurs

Végétaux (plantations ornementales ou agricoles)

Eau (rivière, nappe phréatique)

+ Pollution gazeuse, particulaires, par les eaux de ruissellement

et enfin mettre en oeuvre des solutions compatibles avec cet environnement.

8.2.1 - Environnement interurbain

Les voiries considérées sont les autoroutes de liaison, les routes nationales et chemins départementaux.

L'environnement sensible est constitué, pour l'essentiel, par les végétaux implantés en bord de voie (plantations et culture) et par les risques de contamination d'un cours d'eau ou d'une nappe phréatique à proximité de la voie.

La pollution gazeuse a peu d'effet du fait d'une dispersion importante dans un site en général dégagé d'obstacles.

La pollution particulaire agit de manière directe et indirecte : les particules en suspension (poussières, plomb, zinc, etc.) se déposent soit sur les végétaux sous l'action du vent, soit sur la chaussée ; dans ce dernier cas, lors d'une pluie, les eaux de ruissellement chargées en substances toxiques se retrouvent dans le milieu environnant.

8.2.2 - Environnement urbain

Le réseau de voiries considérées regroupe l'ensemble des rues, avenues, boulevards, VRU, tranchées couvertes, tunnel du centre ville.

L'environnement sensible est constitué par :

- les individus : automobilistes, piétons, riverains
- la végétation : arbres, espaces verts, jardins familiaux, privés, végétation spontanée...
- les bâtiments proches des voies.

La pollution gazeuse agit essentiellement sur les individus et le cas échéant sur les plantes.

La pollution particulaire se dépose sur les végétaux et sur les façades des habitations.

8.2.3 - Les possibilités d'action à partir de la route

L'aménageur peut selon les cas diminuer les émissions, favoriser la dispersion ou bien avoir une action globale sur l'environnement des voies de circulation.

8.2.3.1 - Diminution des émissions

+ La régulation du trafic

En zone urbaine, la mise en place d'une régulation du trafic de type "onde verte" (cf. chapitre 2) peut permettre une réduction sensible des émissions de l'ordre de 20 %.

+ La régulation des flottes captives

En ville également, l'étude fine, d'une ligne d'autobus par exemple, doit permettre de déceler des situations particulières et de trouver des solutions soit au niveau d'un meilleur réglage des moteurs, soit par une optimisation des conditions de circulation : déplacement de certains arrêts, arrêt du moteur en fin de ligne, etc.

+ Choix des modes de traction

En centre urbain dense, pour les transports en commun, possibilité de substituer aux carburants traditionnels des modes de traction non polluants type trolleybus (exemple de TOURS) ou autobus bi-mode (exemple de NANCY)..

+ Suppression du trafic automobile

En centre urbain dense, limiter la circulation de transit par transfert du flot ou d'une partie seulement sur d'autres voies (zones piétonnes ou semi-piétonnes).

+ Limitation de vitesse

Sur autoroute, une diminution de la vitesse devrait permettre une diminution importante des NOx ; cependant des études réalisées en République Fédérale d'Allemagne montrent que les résultats escomptés sont loin de répondre aux attentes.

8.2.3.2 - Favoriser la dispersion

+ Projets neufs

Il n'est pas inutile, lors de la conception d'un projet, de regarder le critère pollution de l'air. Des actions sur le profil en long, le ripage du tracé, le profil en travers, sont de nature à favoriser la dispersion et par là diminuer les concentrations potentielles sur le milieu sensible.

+ Cas des tunnels et tranchées couvertes

Réfléchir vis-à-vis des riverains potentiels du type de ventilation à mettre en place ; optimiser les cheminées de rejet d'air vicié ; abaisser le cas échéant les seuils de déclenchement de la ventilation à l'intérieur des tunnels et tranchées couvertes.

+ Aménagement - réaménagement

Chercher à maintenir la végétation existante et notamment celle qui est susceptible de jouer un rôle de filtre vis à vis des particules.

+ Espaces publics - Jardins - Promenade piétonne

En milieu urbain, proche des grandes voiries de circulation ou aux abords des têtes de tunnel, il y a lieu soit de privilégier les espaces verts visuels non accessibles, soit d'implanter des haies pour faire écran à la pollution particulaire. Il semble que des hauteurs de 2 mètres ou davantage constituent des barrières valables contre la dispersion des poussières chargées en plomb.

+ Bassins tampons

Contre les risques de pollution chronique ou accidentelle, en fonction de la sensibilité des sites traversés, on peut implanter en amont de la zone sensible, des bassins décanteurs déshuileurs susceptibles de stocker soit un rejet accidentel de type hydrocarbures, soit le premier flux de pollution consécutif à une pluie. Si ce type d'ouvrage existe en milieu interurbain et fonctionne de manière plus ou moins efficace, il y a lieu de se préoccuper du milieu urbain où aucun système comparable n'existe, le rejet (accidentel) se retrouvant dans le réseau d'assainissement avec tous les problèmes que cela peut poser.

8.2.3.3 - Action sur les végétaux

+ Les jardins familiaux

En attendant la généralisation de l'essence sans plomb, il nous paraît souhaitable d'éviter la culture de légumes foliacés (laitue, épinard, endive, etc.) dans la zone des 40 ou 50 premiers mètres de part et d'autre de l'autoroute. Toute réduction des apports de plomb dans la ration alimentaire quotidienne est une mesure préventive efficace.

+ Arbres fruitiers et vignes

Pour les végétaux en place de type arbres fruitiers ou vignes, une protection pourrait être envisagée par la plantation de haies à base de conifères ou de feuillus à feuillage dense.

Les espèces utilisables pour constituer ces haies pourraient être choisies parmi les suivantes :

- *Thuja occidentalis*
- *Thuja plicata*
- *Acer campestre*
- *Eleagnus angustifolia*
- *Euonymus europaeus*
- *Ligustrum ovalifolium*

Les endroits où cette implantation de haies est la plus souhaitable sont à déterminer en fonction des conditions locales (trafic, profil en travers, types de cultures).

Néanmoins, on peut penser que la première rangée de vigne ou de fruitiers donne des fruits qui doivent être lavés soigneusement avant consommation.

+ Végétaux de bord de voie

Pour les végétaux utilisés dans les aménagements paysagers, il faut éviter de choisir pour les endroits les plus exposés aux dépôts et projections, les conifères, les arbustes à feuilles persistantes ou à feuilles rugueuses ou poilues et les arbustes recherchés pour leur floraison décorative.

Néanmoins certaines espèces sont réputées pour résister davantage aux polluants atmosphériques. Parmi celles-ci, on peut recommander :

CONIFERES

- . *Gingko biloba* : Arbre aux 40 écus
- . *Juniperus* (dont *J. virginiana*) : Genevrier
- . *Picea glauca* : Sapinette blanche ou Epinette blanche
- . *Picea pungens* : Epicea du Colorado
- . *Pinus nigra* : Pin noir
- . *Pseudotsuga Menziesii* : Sapin de Douglas
- . *Thuja occidentalis* : Thuya du Canada
- . *Thuja plicata* : Thuya plicata

ARBRES A FEUILLES CADUQUES

- . *Acer campestre* : Erable champêtre
- . *Acer pseudoplatanus* : Erable sycomore
- . *Ailanthus altissima* : Faux vernis du Japon ou Ailante du Japon
- . *Alnus incana* : Aulne blanc
- . *Quercus pedunculata* : Chêne pédonculé
- . *Robinia pseudoacacia* : Robinier faux acacia
- . *Sophora japonica* : Sophora du Japon
- . *Sorbus aucuparia* : Sorbier des oiseaux

ARBUSTES A FEUILLES CADUQUES

- . *Cornus florida* : Cornouiller à fleurs ou Bois de chien
- . *Cornus sanguinea* : Cornouiller sanguin
- . *Forsythia* (dont *intermedia* et *suspensa*) : Forsythia
- . *Philadelphus coronarius* : Seringat à bouquets
- . *Ribes aureum* : Groseillier doré
- . *Eleagnus angustifolia* : Olivier de Bohême
- . *Euonymus europaeus* : Fusain d'Europe
- . *Lonicera tatarica* : Chèvrefeuille

ARBUSTES A FEUILLES PERSISTANTES

- . *Ilex aquifolium* : Houx
- . *Ligustrum ovalifolium* : Troëne à feuilles ovales

PLANTES GRIMPANTES

- . *Hedera helix* : Lierre

BIBLIOGRAPHIE

(1) Une voiture propre à l'aube de l'an 2000 - Conférence de R. JOURMARD -
INREST - Journée IIGEE Aix-les-Bains - 30 janvier 1986

(2) Impact des routes sur la végétation - SETRA - DLI - Août 1983

CHAPITRE 9

LES ACTIONS DE RECHERCHE DU C.E.T.U.R.

PROGRAMME 1976 - 1985

LISTE DES ACTIONS DE RECHERCHE

SUR LA POLLUTION

PAR LES TRANSPORTS FINANCES PAR LE C.E.T.U.R.

POUR LE COMPTE DES DIRECTIONS

DU MINISTERE DE L'EQUIPEMENT DU LOGEMENT DE L'AMENAGEMENT

DU TERRITOIRE ET DES TRANSPORTS

RECAPITULATIF

ANNEE	MONTANT	MONTANT ACTUALISE EN FRF 1985
1976	415 000	936 860
1977	350 000	735 000
1978	220 000	429 660
1979	260 000	455 910
1980	515 000	805 710
1981	760 000	1 029 420
1982	366 000	449 630
1983	478 000	537 000
1984	315 000	336 000
1985	315 000	315 000
1986	150 000	150 000
Total actualisé		6 180 190

1976

415 KF/TTC

- Pollution, programme de prévision campagnes de mesures près des voies rapides urbaines. Participation à la rédaction d'un guide (IRT 174 KF/HT).
- Evaluation du bruit et de la pollution produit par divers régimes de trafic automobile sur VRU. (IRT 107 KF/HT).
- Choix de critères d'impact bruit et Pollution (IRT 70 KF/HT).

1977

350 KF/TTC

- Impact sur le bruit, la pollution, la consommation d'une intersection. (IRT 150 KF)
- Prédiction de la pollution aux abords des voies de circulation (IRT 120 KF)
- Etude des nuisances, produit par la rocade Ouest à Toulouse. Bruit Pollution de l'Air. (CETE de Bordeaux 80 KF)

1978

220 KF/TTC

- Pollution de la route en milieu urbain Bibliographie. (CETE de Metz 30 KF)
- Modélisation et prédiction de la pollution dans un ensemble bâti à proximité des voies de circulation (modèle de diffusion) (IRT 190 KF)

1979

260 KF

-
- Monographie - Réseau de surveillance de la pollution atmosphérique à TOULOUSE
(CETE de Bordeaux 30 KF)
 - Modélisation de la pollution due à la circulation routière.
(IRT 120 KF)
 - Etude de l'établissement d'indices de pollution.
(IRT 80 KF)
 - Conseil Scientifique aux CETE (Pollution)
(IRT 30 KF)

1980

515 KF

-
- Etude de l'établissement d'indices pollution
(IRT 185 KF)
 - Modélisation de la pollution due à la circulation automobile.
(IRT 200 KF)
 - Conseil Scientifique aux CETE (Pollution)
(IRT 30 KF)
 - Pollution atmosphérique près des autoroutes et voies rapides urbaines.
(CETE Méditerranée 100 KF).

1981

760 KF

-
- Vérification et calage de programmes de dispersion CANYON et POLKA
(CETE Méditerranée 160 KF)
 - Assistance technique IRT/CERNE pour le calage des programmes de dispersion.
(CETE Méditerranée 70 KF)
 - Compléments aux études de 1980 relative à la pollution atmosphérique près des autoroutes et VRU
(CETE Méditerranée 100 KF)
 - Impact de la pollution par les gaz d'échappement sur les matériaux de construction, analyse bibliographique.
(CETE Rouen 30 KF)
 - Pollution sensible
(IRT 200 KF)

.../...

1981

760 KF

-
- Indices de pollution mise au point définitive
(IRT 100 KF)
 - Journées CETUR sur la pollution de l'air par
les transports.
(20.30 Septembre 1981 : CETE Méditerranée)
(CETUR 100 KF)

1982

366 KF

-
- Influence des plans de circulation sur la pollution
urbaine.
(IRT 74 KF)
 - Pollution sensible, odeurs, particules
(IRT 67 KF)
 - Influence de la largeur de voie dans l'émission
de la pollution atmosphérique (contribution de
chaque source d'émission).
(CETE Méditerranée 50 KF)
 - Pollution atmosphérique due à la circulation
routière. Influence des écrans anti-bruit et
végétaux sur le transports atmosphérique des
poussières.
(Laboratoire Régional de Lille 75 KF)
 - journée CETUR sur la pollution de l'Air
par les transports.
(Novembre 1982 - CSTB de Nantes)
(CETUR 100 KF)

1983

478 KF

-
- Influence des plans de déplacement sur la pollution
urbaine
(IRT 47 KF)
 - Pollution sensible par le trafic : odeurs et
particules.
(IRT 201 KF)
 - Etude d'environnement d'un Tunnel : bruit et
pollution atmosphérique.
(CETE Méditerranée 150 KF)
 - Pollution atmosphérique due à la circulation
routière.
(Laboratoire régional de Lille 80 KF)

1984

320 KF

- Pollution atmosphérique - Note de synthèse
(CETE Méditerranée 50 KF)
- Prise en compte de la pollution de l'air par
les transports dans les plans de déplacement
et la régulation du trafic (étude en cours)
(CETE de Bordeaux, antenne de Toulouse 140 KF)
- Contamination des végétaux consommables aux
abords des routes et voies rapides urbaines
(Labo. Régional de l'Ouest parisien 70 KF)
- Dispersion des polluants d'origine automobile
en milieu urbain (mémoire de DEA)
(CETUR 30 KF)
- Influence de la régulation du trafic sur les
émissions des véhicules (mémoire de DEA)
(CETUR 30 KF)

1985

315 KF

- Moyens de réduire la pollution des Transports en
commun.
(IRT 125 KF)
- Mesure des émissions de 5 véhicules types sur
banc à rouleaux.
(IRT p.m.)
- Impact d'une déviation d'agglomération sur la
pollution de l'air en centre ville (mesures
avant-après mise en service).
(CETE Méditerranée 190 KF)

1986

150 KF

- Etude de faisabilité d'un observatoire
de la pollution
(LRPC de Strasbourg)..... 50 KF)
- Mesures des émissions sur banc à rouleaux -
La pollution sensible
(INRETS100 KF)

DOSSIERS DU C.E.T.U.R. DEJA PARUS

- Dossier N° 1 : Le bruit routier :
Le bruit dans l'exploitation des routes urbaines
- Dossier N° 2 : Etudes économiques et tarification :
Sensibilité de la demande au niveau et à la structure
tarifaires dans les transports collectifs urbains
- Dossier N° 3 : Efficacité des équipements :
Méthodologie des suivis d'efficacité
- Dossier N° 4 : Matériel de régulation : Armoires de commande à logique
câblée : analyse fonctionnelle
- Dossier N° 5 : Réseaux de transports collectifs : Le self-service
- Dossier N° 6 : Les Deux Roues légers : Economie, usage et sécurité des
Deux-Roues légers
- Dossier N° 7 : Equipements spécifiques de sécurité :
Le dispositif dos d'âne.- Le point sur les recherches
- Dossier N° 8 : Les Deux Roues légers : Aménagements spécifiques :
actualisation des recommandations
- Dossier N° 9 : Equipements spécifiques de sécurité :
Les dispositifs de protection pour les piétons
- Dossier N° 10 : Voirie urbaine - Les épures de giration :
comment les tracer, comment s'en servir ?
- Dossier N° 11 : Sécurité routière
Les indicateurs de sécurité en milieu urbain
- Dossier N° 12 : Etudes économiques : Analyser les comptes d'exploitation des
réseaux de Transports Collectifs Urbains
- Dossier N° 13 : Actions de sécurité : L'amélioration de l'adhérence des
chaussées en milieu urbain
- Dossier n° 14 : Matériel de régulation : Armoires de commande à logique
micro-programmée - Analyse Fonctionnelle
- Dossier n° 15 : Paysage urbain :
Aménagements paysagers des voiries urbaines
- Dossier n° 16 : Voies Rapides Urbaines : Le profil en travers
- Dossier n° 17 : Le bruit routier : Acoustique et végétation
- Dossier n° 18 : Transports Collectifs
Les rues mixtes Piétons / Transports Collectifs
- Dossier n° 19 : Voirie urbaine : Les Séparateurs physiques de couloirs BUS
Etat des connaissances actuelles

- Dossier n° 20 : Circulation et Stationnement
Approches et études de stationnement
- Dossier n° 21 : Sécurité Routière : Sécurité des Piétons lors de leurs
traversées de chaussées
- Dossier n° 22 : Equipements de Sécurité : Les feux à commande manuelle
- Dossier n° 23 : Entretien : Le Nettoyement des Villes
- Dossier n° 24 : Matériel de Régulation
Matériels et Techniques de Coordination
- Dossier n° 25 : Régulation de trafic : Carrefours à feux :
Villes de petite et moyenne importance
- Dossier n° 26 : Bruit des Transports Terrestres :
Effet du bruit sur la santé et les comportements
- Dossier n° 27 : Voirie urbaine : Les pavés en béton
- Dossier n° 28 : Transports Collectifs d'intérêt local :
Le Conventionnement des services routiers

Ministère de l'Équipement, du Logement
de l'Aménagement du Territoire et des Transports

C.E.T.U.R.

Ce document est propriété de l'Administration.
Il ne pourra être utilisé ou reproduit, même gratuitement,
sans l'autorisation du C.E.T.U.R.

Cet ouvrage est en vente au C.E.T.U.R.
Bureau de Vente 8 Avenue Aristide Briand
92220 BAGNEUX - Tél. (1) 46.57.11.47.

ISBN n° 2-11 085448 0
Achévé d'imprimer le : 15 Octobre 1986
Dépôt légal : 4° trimestre 1986
IMPRESSION : POLYCOLOR - (1) 46.64.04.89.