



Les études d'environnement dans les projets routiers "volet air"

Annexe technique à la note méthodologique sur les études
d'environnement dans les projets routiers "volet air"



Page laissée blanche intentionnellement

Études d'environnement dans les projets routiers « volet air »

Annexe technique à la note méthodologique sur les études
d'environnement dans les projets routiers « volet air »

juin 2001

Ministère de l'Équipement,
des Transports et du Logement



Centre d'études sur les réseaux, les transports,
l'urbanisme et les constructions publiques



Service d'Études Techniques
des Routes et Autoroutes



Ademe

Agence de l'Environnement
et de la maîtrise de l'Énergie



Ont participé à la rédaction :

V. Bernardon-Billon (Setra)
J. Bertin (Cete Méditerranée)
L. Carrie (Ademe)
C. Chaffanjon (DDE 67)
Dr. M. Chiron (Inrets)
J.P. Clair (Certu)
L. Clément (Certu)
J.F. Fritsche (Certu)
R. Lagache (Cete Nord Picardie)
S. Larose (Cete de l'Est)
J.P. Marsault (Cetu)
J. Noppe (Ademe)
B. Kibkalo (Cete Normandie-Centre)
J. Sampic (Cete de Lyon)
D. Stark (Cete de l'Ouest)
P. Vigne (Cete Normandie-Centre)
J.P. Vinot (Certu)

Coordination :

J.P. Vinot (Certu)

Comité restreint de rédaction finale :

V. Bernardon – Billon (Setra)
R. Lagache (Cete Nord Picardie)
S. Larose (Cete de l'Est)
J. Noppe (Ademe)
J.P. Vinot (Certu)

Tous les rédacteurs sont vivement remerciés ainsi que toutes les personnes qui, par leur contribution, ont permis la réalisation de ce guide, particulièrement M. Sacré du CSTB et celles qui appartiennent aux services de l'Ademe, de la DNP et de la DPPR.

Sommaire

■	Préambule	5
PREMIÈRE PARTIE		
■	Les études «air» de l'étude d'environnement à l'étude d'impact	9
1.	Organisation des études «air» aux différents stades d'études	10
2.	Aire géographique d'étude	14
3.	Consistance de l'étude d'environnement «air»	18
4.	Passage de l'étude d'environnement «air» à l'étude d'impact «air»	21
DEUXIÈME PARTIE		
■	Caractérisation des polluants	25
	De la définition à la détermination des concentrations	26
5.	Les polluants à prendre en compte	31
6.	Météorologie	35
7.	Inventaires d'émissions liées au trafic	42
8.	Modélisation des concentrations de polluants	54
9.	Les autres pollutions	
TROISIÈME PARTIE		
■	Les effets	61
	Identification, évaluation et mesures de prévention	62
10.	État initial	66
11.	L'indice d'exposition de la population	73
12.	Effets sur la santé	83
13.	Effets sur la flore, la faune et les sols	91
14.	Effets sur les bâtiments	93
15.	Les effets globaux	97
16.	Monétarisation des effets de la pollution	
17.	Mesures de réduction de la pollution atmosphérique de proximité	101
18.	Impact des chantiers	106
■	Conclusions	109
■	Annexes	111
■	Bibliographie	199
■	Sigles utilisés	205

Préambule

Le guide *Études d'environnement dans les projets routiers*, publié en octobre 1997 (volume projets interurbains) et en janvier 1998 (volume projets urbains), n'a volontairement évoqué que sommairement le thème de la pollution atmosphérique, en raison de la promulgation trop récente de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 et notamment de son article 19 qui définit de nouvelles contraintes réglementaires s'appliquant au contenu des études d'impact. L'absence d'un recul suffisant entre la promulgation de la loi et la sortie du guide précité ne permettait pas, en effet, de dépasser le niveau des généralités. Cette loi a déjà été complétée par des textes d'application. En particulier, la circulaire 98-36 du 17 février 1998 du Mate précise de multiples points sur l'application de l'article 19, relatifs aux études d'impact des infrastructures de transport.

Face à ces exigences réglementaires, il était nécessaire d'élaborer un document d'aide à la réalisation des études d'environnement et d'impact «air» obligatoires depuis le 1^{er} août 1997 pour les infrastructures routières. La première étape a consisté à établir une note méthodologique, à l'attention des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre, qui fixe le contenu technique des études d'environnement «air» et donc de l'étude d'impact associée.

Afin d'offrir rapidement les premiers éléments de ces investigations, le Certu et le Setra ont entrepris la rédaction du présent guide technique, en collaboration avec l'Ademe, tous les Cete, la Dreif et diverses DDE. Ce guide, bien qu'incomplet et provisoire, présente un condensé des connaissances techniques actuelles dans le domaine de la pollution atmosphérique. Par souci de simplification, il regroupe les milieux urbain et interurbain dont les spécificités sont clairement identifiées.

La bonne compréhension de ce document nécessite cependant des connaissances générales, développées dans un autre ouvrage édité par le Certu : *Pollutions atmosphériques et circulation routière - données de base* - novembre 1997.

La prise en compte de la pollution atmosphérique dans les projets routiers est une démarche continue qui débute aux études préliminaires et qui se poursuit tout au long du processus de conception et de réalisation des infrastructures. Telle est, en vérité, la philosophie de cet ouvrage. L'étude d'impact n'est que la photographie à un instant donné - l'enquête publique - de la composante environnementale du projet routier. Il convient, en conséquence, d'élargir l'utilité de cet outil à toute la durée de vie des études, mais aussi d'accorder une attention toute particulière à cet instant privilégié qu'est l'étude d'impact, qui doit répondre aux exigences de la nouvelle réglementation.

Certaines décisions (dont le choix de l'aire d'étude) ont un retentissement évident dans le processus d'étude. Elles doivent donc être approuvées par le maître d'ouvrage et le maître d'œuvre et entraînent logiquement des engagements financiers non négligeables. Enfin, la maîtrise de la connaissance du trafic routier est une composante indissociable du thème de la pollution atmosphérique. La coordination de ces deux disciplines doit d'évidence être réalisée dès les phases préliminaires.

La problématique de l'étude d'environnement «air» et de l'étude d'impact qui en découle est ici abordée sous trois aspects :

- les recommandations,
- le point des connaissances actuelles,
- la justification de certaines décisions techniques.

Les différents chapitres et annexes de ce document sont toutefois très inégaux quant à leur consistance et à la connaissance du sujet traité. Cet état de fait ne saurait être satisfaisant pour un véritable guide technique mais, compte tenu de la jeunesse française sur le domaine de l'«air» il nous est apparu actuellement comme la meilleure solution aux réponses qu'attendent les bureaux d'études qui ont à entreprendre une étude d'environnement «air».

L'étude d'environnement dont est issue l'étude d'impact est à la disposition de tous en un lieu clairement identifié. L'objectif de ce présent guide est de présenter les éléments conduisant à l'étude d'environnement «air» des infrastructures routières et à sa traduction dans l'étude d'impact, à l'exception des ouvrages souterrains (on pourra se rapprocher du Centre d'études des tunnels pour les tunnels et les tranchées couvertes).

Ce guide a été établi en coopération et en concertation avec les services du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement – direction de la Nature et des Paysages, direction de la Prévention des pollutions et des risques.

Rappels sur les textes réglementaires

L'étude d'impact (ou évaluation environnementale) a été introduite comme élément de conception des projets d'aménagement ou d'équipements par la loi du 10 juillet 1976. Son contenu a été précisé par le décret n°77-1141 du 12 octobre 1977, modifié par le décret n°93-245 du 25 février 1993 introduisant notamment l'air dans la liste des domaines à étudier.

Les opérations soumises à étude d'impact sont celles dont le montant financier est supérieur à 12 millions de francs (montant révisable). Dans le cas contraire (opération non soumise à étude d'impact), aucun document n'est exigé en matière d'impact.

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, n°96-1236 du 30 décembre 1996, précise en son article 19 les éléments suivants :

«L'étude d'impact comprend au minimum une analyse de l'état initial du site et de son environnement, l'étude des modifications que le projet y engendrerait, l'étude de ses effets sur la santé... et les mesures envisagées pour supprimer, réduire et si possible compenser les conséquences dommageables pour l'environnement et la santé (modification de la loi n° 76-629 du 10/7/76 relative à la protection de la nature). En outre, pour les infrastructures de transport, l'étude d'impact comprend une analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances et des avantages induits pour la collectivité ainsi qu'une évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet, notamment du fait des déplacements qu'elle entraîne ou permet d'éviter.»

Cet article 19 a été complété par la circulaire d'application 98-36 en date du 17 février 1998 en provenance du Mate.

La lettre du directeur des Routes, du 10 juin 1999, précise que les études d'impact doivent être conduites conformément à l'esprit de la loi et de sa circulaire d'application depuis le 1^{er} août 1999 et qu'elles doivent s'appuyer sur la note méthodologique des études d'environnement «air», à destination des maîtres d'ouvrage et des maîtres d'œuvre.

Définitions légales

Au sens de la loi sur l'air et de l'utilisation rationnelle de l'énergie, la pollution atmosphérique est «l'introduction par l'homme, directement ou indirectement, dans l'atmosphère et les espaces clos, de substances ayant des conséquences préjudiciables de nature à mettre en danger la santé humaine, à nuire aux ressources biologiques et aux écosystèmes, à influencer sur les changements climatiques, à détériorer les biens matériels, à provoquer des nuisances olfactives excessives.»

La prise en compte de l'environnement, et de l'«air» en particulier, intervient à chacun des stades de conception, de réalisation et de gestion des infrastructures routières et fait l'objet, au plan formel, de dossiers successifs.

Le dossier d'étude d'impact constitue la formulation explicite, à un moment privilégié de la procédure d'enquête publique, de la façon dont la prise en compte de l'environnement a contribué à la conception générale de l'opération et des dispositions envisagées pour en maîtriser les impacts.

P R E M I È R E P A R T I E

**Les études « air »
de l'étude
d'environnement
à l'étude d'impact**

1. Organisation des études «air» aux différents stades d'études

Les études «air» font partie des études techniques à réaliser dans le cadre des études générales d'environnement accompagnant la conception et la réalisation des infrastructures. La circulaire du 11 mars 1996 et son instruction en précisent, en de nombreux points, l'esprit et le contenu aux différentes phases d'études.

Ce guide étant consacré plus spécifiquement aux études d'environnement préalables à la déclaration d'utilité publique, nous indiquerons dans ce chapitre des éléments permettant de prendre en compte la pollution atmosphérique dès les études préliminaires.

1.1 Rappel sur l'organisation des études d'environnement aux différents stades du projet

L'organisation des études d'environnement dans les procédures d'études et d'instruction des projets routiers est précisée dans deux textes : la circulaire du 27 octobre 1987 pour les autoroutes concédées et la circulaire du 5 mai 1994 pour le réseau national non concédé.

1.1.1 Les autoroutes concédées

Niveau I	Étude préliminaire d'APS	Elle fixe les grandes options, intègre la prise en compte des éléments majeurs dans le domaine de l'environnement et permet de définir le cahier des charges de l'APS ou des opérations de rattrapage.
Niveau II	Avant projet sommaire (APS) Dossier de voirie d'agglomération (DVA)	Les études d'environnement servent de base à la rédaction de l'étude d'impact, document dont l'objectif principal est de préparer l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique, d'où l'importance d'une approche bien ciblée.
Déclaration d'utilité publique		
Niveau III	Avant projet autoroutier (APA)	Ce dossier est établi sous la responsabilité de la société concessionnaire. Il définit avec précision les caractéristiques du projet et son implantation, en conformité avec le dossier d'APS.

1.1.2 Le réseau routier national non concédé

Niveau I	Étude préliminaire (APSI 1 ^{ère} phase / SMO)	Elle fixe les grandes options de l'aménagement routier et intègre la prise en compte des éléments majeurs dans le domaine de l'environnement et de l'aménagement du territoire.
Niveau II	Avant projet sommaire (APS / APSI 2 ^e phase) Dossier de voirie d'agglomération (DVA)	Il a pour principal objectif de préparer l'enquête préalable à la déclaration d'utilité publique ou à l'inscription dans les documents d'urbanisme. Il comporte tous les éléments nécessaires à la réalisation de l'étude d'impact.
Déclaration d'utilité publique		
Niveau III	Études de projet	Elles ont pour objectif de définir de façon précise tout ou partie de l'ouvrage, de vérifier que le coût d'objectif peut être tenu, d'engager les acquisitions foncières et de préparer les dossiers de consultation des entreprises.

Dans la suite de ce chapitre, nous détaillerons donc le volet «air» dans les études de niveau I (études préliminaires), les études de niveau II faisant l'objet de ce guide.

1.2 Le volet «air» des études préliminaires

1.2.1 Les principes

Les études d'environnement des phases préliminaires constituent le premier niveau d'études techniques en vue de la réalisation d'un projet routier. Elles doivent, par conséquent, s'inscrire dans les trois principes fixés par la circulaire du 11 mars 1996 : continuité, progressivité et sélectivité.

■ Continuité

La prise en compte de la pollution atmosphérique doit se faire en continu tout au long des différentes phases des études. C'est pourquoi ce thème de la pollution atmosphérique doit faire l'objet, comme tous les autres thèmes, d'un recueil de données dès les études préliminaires.

■ Progressivité

Au fur et à mesure de l'avancement des études, les données recueillies devront être affinées indépendamment de la nature du projet et de l'aire géographique concernée. Les études préliminaires doivent, avant tout, identifier la présence d'enjeux forts ou de zones délicates par rapport à la qualité de l'air dans la zone d'étude, justifiant d'une analyse plus précise dans la phase ultérieure.

■ Sélectivité

Le recueil correspondant à cette première phase peut difficilement être sélectif. Il devra même essayer d'être le plus exhaustif possible de façon à ce que, dans la phase suivante (APS), la sélectivité soit la plus pertinente possible.

■ Le principe de précaution, le développement durable

Comme pour tous les thèmes qui traitent de nuisances et de pollution, les études doivent s'appuyer sur le principe de précaution. Ainsi, on veillera à développer une approche du sujet permettant de prendre des décisions visant à écarter tout risque de dommages graves ou irréversibles, même en cas d'incertitudes scientifiques.

1.2.2 Recueil et sources des données

La démarche consiste à recenser les zones où la pollution atmosphérique représente un enjeu fort, que ce soit pour la santé publique ou pour le milieu naturel, et les données disponibles auprès de différents organismes, en vue des études plus détaillées dans la phase suivante :

- définition des surfaces denses en secteur sensible: répartition des lieux habités, en s'appuyant sur l'orientation des documents d'urbanisme et, éventuellement, la typologie de bâtiments vulnérables (cf. chapitre 10).
- localisation des équipements et des espaces sensibles; la nature de l'usage, la fréquentation et les contraintes particulières. Certains équipements, de par leur fonction ou leur usage collectif, ont une forte sensibilité à la qualité de l'air (établissements scolaires, médicaux, de retraite, espaces sportifs, culturels); à considérer également, la présence rapprochée de la voirie en urbain (rue en U, voie surélevée au niveau des fenêtres...).
- identification, en interurbain ou en conurbation, des zones de protection réglementaires (ZPS, réserve naturelle, arrêté Biotope, principe de précaution), des cultures à risque, de l'agriculture biologique... (cf. chapitre 13).

- qualification de la qualité actuelle de l'air:
 - recensement des principales sources émettrices (industrielles et routières) et de leurs natures, caractéristiques, incidences potentielles (se baser sur le PRQA s'il existe). Ces données peuvent être fournies par la Drire.
 - bilan de la qualité de l'air dans la zone d'étude (dans la mesure où il existe un réseau de surveillance de la qualité de l'air).
- identification des principales composantes topographiques et climatiques: topographie générale, rose des vents (vents dominants), températures moyennes.

Les données sont disponibles auprès de services tels que Ddaf (cultures), Drire (émetteurs industriels), DDE, département, intercommunalité et commune pour les comptages routiers, Ddass (étude santé locale ou nationale), Météo France, etc.

Les données utilisées pour traiter de la pollution atmosphérique peuvent être communes à d'autres thèmes des études d'environnement ou socio-économiques. Il convient, par conséquent, de les regrouper (sous Sig, par exemple) afin d'éviter une double investigation dans un même domaine (études récentes déjà réalisées dans le secteur, occupation du sol, agriculture, aménagement, urbanisme, documents de caractère réglementaire, cartes existantes, photo interprétation).

1.2.3 Traitement des données

Toutes ces données seront traitées et analysées en terme de zones à enjeux environnementaux (ou de difficultés techniques prévisibles) plus ou moins forts, dans une logique d'évitement optimal par les fuseaux ou tracés recherchés (limitation des risques).

L'étude « pollution atmosphérique », pour cette phase, devra contenir un inventaire des émissions polluantes et de la consommation énergétique liées

aux transports routiers. Ces données pourront être complétées par des mesures sur le terrain (mesures des polluants gazeux ou dans les sols) et des modélisations mathématiques de la dispersion des polluants si ce volet des études d'environnement, en raison du contexte local, a un poids important dans le choix de la (ou des) variante(s).

Il convient également de réfléchir à la méthode de traitement des données. Un Système d'information géographique (Sig) semble être un outil tout à fait adapté pour l'étude de la pollution, en interaction avec les autres thèmes étudiés.

2. Aire géographique d'étude

2.1 En milieu urbain

Le choix de l'aire d'étude (ou périmètre d'étude) sur laquelle sera évalué l'impact du projet sur l'environnement est, pour le maître d'ouvrage, une étape primordiale qui conditionne la pertinence des analyses et donc des résultats.

La réflexion préalable à la détermination de cette aire permet d'orienter le contenu, l'étendu et la finesse de l'ensemble des études qui s'avéreront nécessaires pour mener le projet.

Cette aire n'est évidemment pas unique et varie selon le thème environnemental abordé.

Les émissions de polluants dans l'atmosphère sont générées par le trafic routier. L'impact d'un projet d'infrastructure routière se mesurera donc partout où ce projet entraînera des modifications sensibles du trafic, en plus ou en moins.

L'aire géographique d'étude sera délimitée par l'ensemble des axes routiers dont les trafics varieront de + ou - 10 % à la suite de la réalisation du projet. Cette modification de trafic sera appréciée en évaluant la situation à un certain horizon sans aménagement et la situation au même horizon avec l'aménagement, tant pour les heures de pointe que pour les heures moyennes.

La majorité des modèles de trafic en urbain permet automatiquement d'avoir accès à cette information par comparaison de scénarios ou de variantes. Toutefois, dans le cadre de zones toujours congestionnées, une certaine liberté sera donnée au projecteur pour déterminer l'aire géographique d'étude.

Selon l'importance du projet, les aires concernées peuvent s'étendre de la simple déviation localisée d'une voie existante jusqu'à la totalité d'une agglomération.

La bande d'étude considérée sous l'influence des polluants gazeux issus du trafic (de part et d'autre de l'axe de l'infrastructure routière) est fixée à :

- 300 m pour une voirie supportant plus de 5000 uvp/h
- 200 m pour un trafic compris entre 2500 et 5000
- 100 m pour un trafic inférieur à 2500.

Pour la pollution particulaire par les métaux lourds, la largeur de la bande d'étude, de part et d'autre de l'axe, sera de 50 m (trafic inférieur à 5000 uvp/h) ou de 100 m (trafic supérieur à 5000 uvp/h), pour l'étude des sols et des végétaux.

2.2 En milieu interurbain

Les projets d'infrastructures en milieu interurbain peuvent aller du simple aménagement, sur place, d'une voie à la construction d'une autoroute sur un tracé neuf pouvant affecter les trafics au niveau régional voire national. En fait, il est nécessaire de distinguer deux aires d'études différentes selon l'impact que l'on souhaite étudier.

Pour l'analyse des coûts collectifs des nuisances et des pollutions, l'analyse des avantages induits et l'évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet, notamment du fait des déplacements qu'elle entraîne ou permet d'éviter, l'aire d'étude doit être la plus large possible et inclure, comme pour le milieu urbain, tout le réseau routier subissant une modification du trafic de plus de 10%.

Pour l'analyse des impacts sur la qualité de l'air et des effets sur les autres thèmes de l'environnement, l'aire géographique d'étude doit être réduite à une bande autour de l'infrastructure nouvelle ou nouvellement aménagée. La longueur de la bande devra couvrir l'ensemble du projet en milieu interurbain. La largeur sera à moduler en fonction de la pollution étudiée.

La bande d'étude considérée sous l'influence des polluants gazeux issus du trafic est de (de part et d'autre de l'axe de l'infrastructure routière) :

- 300 m pour une voirie supportant plus de 50 000 véh/j,
- 200 m pour un trafic compris entre 25 000 et 50 000 véh/j,
- 100 m pour un trafic inférieur à 25 000 véh/j.

Pour la pollution particulaire par les métaux lourds, la largeur de la bande d'étude sera, de part et d'autre de l'axe, de 50 m (trafic inférieur à 50 000 véh/j) ou de 100 m (trafic supérieur à 50 000 véh/j), pour l'étude des sols et des végétaux.

Remarque :

La définition de l'aire d'étude reste toutefois indicative. Notamment, pour les parties du réseau routier subissant une variation inférieure à 10% des flux de trafic, il appartient au chef de projet et au responsable de l'étude d'apprécier si les conditions locales (niveaux de pollution, présence de bâtiments, nature du trafic, sensibilités particulières des populations ou des écosystèmes,...) justifient d'une extension de l'aire d'études.

2.3 Exemples d'application

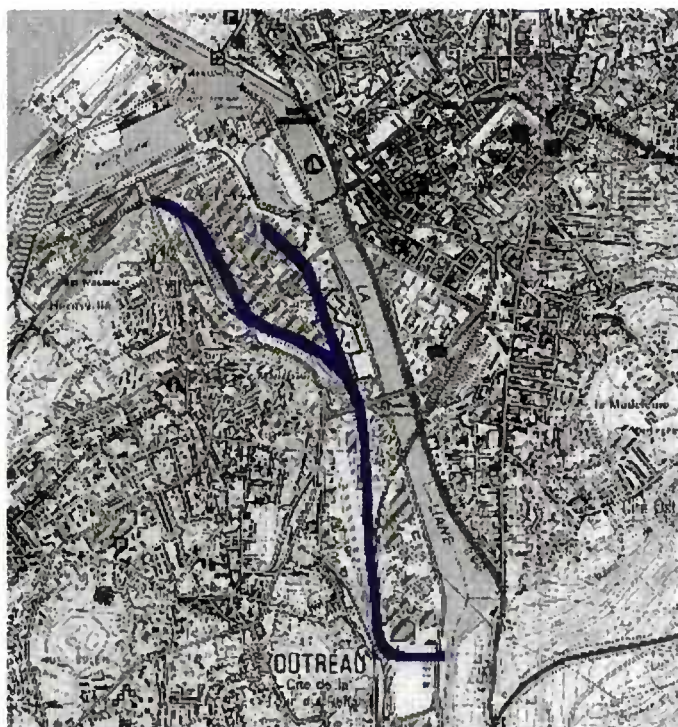
2.3.1 Exemple urbain

Le projet côtoie principalement des zones d'activités commerciales ou d'entrepôts. Le trafic prévu en 2015 sur cette nouvelle voie est de 1400 unités de voitures particulières (uvp) par heure à l'heure de pointe du soir – heure supposée concernée par le plus fort trafic de la journée ouvrable.

Le trafic prévisible en 2015 induit une typologie d'étude de niveau III comme on le verra au chapitre 3.

L'aire d'étude définit l'ensemble du réseau à prendre en compte afin d'étudier de la façon la plus logique et précise les évolutions induites par le projet. Sa taille

est adaptée au projet et à l'étude de ses effets globaux, sans toutefois inclure les effets régionaux (pollution photochimique) ou supra-régionaux (effet de serre).



Principe de l'aménagement (source : Cete Nord Picardie) - Carte n° 2104 E au 1/25 000 © IGN Paris - 1995 autorisation n° 50-0165

Selon le présent guide, elle comprend « l'ensemble du réseau routier subissant une modification (augmentation ou réduction) des flux de trafic de plus de 10% du fait de la réalisation du projet, et le projet lui-même. En milieu urbain, cette modification sera examinée à l'heure de pointe la plus chargée ».

Les cas modélisés sont les suivants :

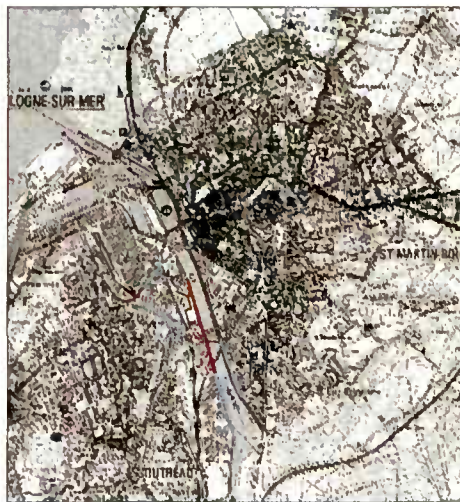
- état initial : trafic en 1997 – dite variante initiale
- situation de référence (ou fil de l'eau) : trafic en 2015 sans l'aménagement
- variante projet : trafic en 2015 avec réalisation de l'aménagement

Cette modélisation est effectuée sur 393 tronçons différents, couvrant l'intégralité des communes concernées ainsi que les grands axes d'approche.

La définition de l'aire d'étude peut donc être appréhendée par les deux cartographies suivantes :

Modification du trafic de + ou - 10% entre la situation de référence et la variante projet.

Pour les tronçons supportant un trafic > 1000 uvp/h



Carte n° 2104 E au 1/25 000 © IGN Paris - 1995 autorisation n° 50-0165

Pour tous les tronçons



Source: Cete Nord Picardie - Carte n° 2104 E au 1/25 000 © IGN Paris - 1995 autorisation n° 50-0165

L'évolution de trafic induite par le projet est donc principalement localisée sur le projet lui-même, sur les voies en bordure du cours d'eau et sur le cœur historique de la cité concernée ainsi que, dans une moindre proportion, sur la voie d'accès Nord. Les trafics des grands axes ne seront pas notablement modifiés.

Dans un souci d'homogénéité et de représentativité, l'ensemble des tronçons urbains sera retenu dans la définition de l'aire d'étude, comme indiqué sur la carte ci-après :



Source: Cete Nord Picardie - Carte n° 2104 E au 1/25 000 © IGN Paris - 1995 autorisation n° 50-0165

2.3.2 Exemple interurbain

On trouvera ci-après un exemple de calcul des effets sur le trafic (majoration ou minoration de 10 %) en 2030 d'un projet autoroutier d'une longueur de 40 km permettant ainsi de déterminer l'aire d'étude correspondante.

Le programme d'affectation Ariane permet de comparer, au même horizon, les trafics sur le réseau avec et sans le projet (source : Cete de Lyon).

3. Consistance de l'étude d'environnement « air »

3.1 Cas général

L'importance de l'étude est fonction de la charge prévisionnelle de trafic qui sera supportée par le projet. Son environnement immédiat intervient pour orienter les sujets à aborder : en ville, plutôt les problèmes de santé (pollution gazeuse et poussières) ; en rase campagne, les effets sur la végétation (pollution particulaire par les métaux lourds).

Le contenu de l'étude, en application du principe de précaution et de proportionnalité évoqué par la circulaire MATE 98-36 du 17/2/98, est défini par le plus contraignant des trois critères suivants :

- le trafic moyen journalier prévu à terme,
- le futur classement sonore de l'infrastructure en projet, effectué en application de la loi n° 92-1444 du 31 décembre 1992 relative à la lutte contre le bruit ; il est directement fonction de l'importance du trafic prévu à terme et constitue ainsi un élément pertinent pour déterminer le contenu de l'étude à mener,
- en milieu urbain, le trafic à l'heure de pointe la plus chargée.

Le type d'étude est donc défini par le tableau ci-après :

Classement sonore de l'infrastructure Loi n° 92-1444 Arrêté du 30/5/96	uvp / h heure de pointe (2 sens) la plus chargée	véh / jour TMJA (2 sens)	type d'étude	largeur d'étude
1	> 5 000	> 50 000	I	300 m
2	≤ 5 000	≤ 50 000	II	200 m
3	≤ 2 500	≤ 25 000	III	100 m
4 et 5	≤ 1 000	≤ 10 000	IV	100 m

Le contenu correspondant aux différents types d'étude présentés ci-dessus est le suivant :

a - étude type IV

- estimation des émissions des principaux polluants et de la consommation énergétique au niveau de l'aire d'étude,
- analyse des coûts collectifs et des avantages induits,
- informations sur la pollution atmosphérique et ses effets sur la santé.

b - étude type III

- estimation des émissions des principaux polluants et de la consommation énergétique au niveau de l'aire d'étude,
- analyse des coûts collectifs des pollutions et des nuisances et des avantages induits pour la collectivité,
- rappel sommaire des effets sur la santé,
- rappel sommaire des effets sur la végétation et le sol.

c - étude type II

- estimation des émissions des principaux polluants et de la consommation énergétique au niveau de l'aire d'étude,
- estimation simple des concentrations aux abords de la voie (bande d'étude),
- analyse des coûts collectifs des pollutions et des nuisances et des avantages induits pour la collectivité,
- étude simplifiée des effets sur la santé avec utilisation de l'IPP (cf chap.11),
- étude légère des effets sur la végétation et le sol.

d - étude type I

- estimation des émissions des principaux polluants et de la consommation énergétique au niveau de l'aire d'étude,
- estimation des concentrations dans la bande d'étude,
- analyse des coûts collectifs des pollutions et des nuisances et des avantages induits pour la collectivité,
- étude détaillée « santé », avec une comparaison des valeurs de qualité de l'air,
- étude des effets sur la végétation et les sols,
- mise en place, pour les très gros projets où des problèmes de pollution sont à attendre, de capteurs de pollution à demeure (en liaison avec l'organisme de surveillance de la qualité de l'air).

Remarques :

Dans les types d'étude présentés en page précédente, les études sur les effets sur la santé et sur la végétation pourront ne pas être menées de façon systématique. Leur réalisation est fonction des enjeux locaux liés au projet. La présence d'habitations et/ou de cultures dans l'aire géographique d'étude devra orienter la réflexion vers le (ou les) volet(s) le(s) plus pertinent(s) (principe de sélectivité de l'étude d'impact). De même, un volet qu'il n'était pas indispensable de traiter a priori, d'après les types précédents, peut trouver tout son sens dans un contexte local particulier.

Il convient de rappeler que l'étude des effets sur la végétation ne doit pas se limiter aux seules cultures, mais doit également prendre en compte, de manière qualitative, la végétation naturelle.

3.2 Différents cas d'espace**3.2.1 Configurations exceptionnelles en zone urbaine**

Elles se caractérisent soit par des implantations géographiques particulières (rue en U, tête de tunnel ou d'ouvrage souterrain et cheminée de rejet d'air vicié, voies surélevées à proximité de fenêtres...), soit par des populations sensibles (crèches, écoles, hôpitaux...) ou très proches de l'infrastructure.

Dans ce cas, l'utilisation d'un modèle de dispersion de polluants est fortement recommandée et une étude des effets sur la santé est indispensable.

3.2.2 Cas de très grosses opérations

Pour des opérations importantes, affectant le fonctionnement global du trafic à l'intérieur d'une ou plusieurs agglomérations ou entre plusieurs agglomérations, des études de pollution à l'échelle régionale (pluies acides, pollution photochimique)

pourront être envisagées dans la mesure où il existe localement un modèle régional de prévision permettant de traiter ce genre de phénomène.

3.2.3 Cas d'aménagements sur place

Dans le cas de l'aménagement d'une voirie existante (élargissement, création d'un giratoire...), les études peuvent se limiter à une comparaison des émissions et de la consommation énergétique, complétée par une campagne de mesure de la pollution à proximité de l'existant. L'application des ratios calculés permettra d'obtenir directement les concentrations que l'on observera après réalisation des travaux. Les autres exigences du type d'étude déterminé sont également à satisfaire.

3.2.4 Présence de cultures agricoles à vocation alimentaire dans la bande d'étude

Dans ce cas, il est souhaitable d'étudier les effets du projet sur les sols et les cultures (dans les limites des connaissances scientifiques du moment). Il est également recommandé de réaliser un état initial le plus complet possible afin d'éviter des contestations après la mise en service.

3.3 Délais et coûts d'études**3.3.1 Délais d'études**

Les délais d'étude sont extrêmement variables suivant l'importance de l'étude d'environnement à réaliser. Il est souhaitable que les spécialistes « air » interviennent dès le départ afin de fixer, d'une part le travail des spécialistes « trafic » et, d'autre part d'arrêter très rapidement le choix de l'aire d'étude (cf chap.2) dont on a vu l'importance et qui doit être approuvé par le maître d'œuvre et le maître d'ouvrage (l'aire d'étude fait partie intégrante du « programme » officiel de l'étude). Parallèlement, il conviendra de prévoir les délais de réalisation de la campagne de

mesure afin de disposer du temps nécessaire pour établir l'état initial, obtenir les modélisations éventuelles et récupérer les données des Sig.

Le délai d'études peut varier de 2 à 15 mois.

3.3.2 Coûts d'études

Suivant l'importance de l'étude, de la mesure de l'état initial et des possibilités existantes en modélisation du trafic et de la pollution atmosphérique (par exemple modèle de trafic et de pollution régionale ou photochimique), les coûts d'études peuvent être extrêmement variables. En outre, compte tenu de la jeunesse de la prise en compte la qualité de l'air dans les études d'impact et d'environnement, il est difficile de cerner avec précision les coûts d'études « air ».

Pour l'état initial (mesures), on peut estimer le coût entre 50 et 200 kF.

Pour l'étude proprement dite, le coût d'ingénierie s'élève de 50 à 250 kF.

Ces coûts ne comprennent pas l'achat des capteurs de pollution que l'on sera éventuellement amené à acquérir dans le cadre des très gros projets où les valeurs de qualité de l'air seraient proches des valeurs limites.

Passage de l'étude d'environnement «air» **4.** à l'étude d'impact «air»

Ce chapitre présente la façon dont doivent être intégrés les résultats du volet «air» de l'étude d'environnement dans l'étude d'impact dont la composition et l'organisation (pour les infrastructures de transport) sont précisées dans l'annexe 2 de l'instruction du 11 mars 1996. Il convient de noter que, compte tenu de la spécificité des opérations routières, une composition légèrement différente de celle prévue par le décret n° 77-1141 du 12 octobre 1977 modifié par le décret n° 93-245 du 25 février 1993 a été retenue.

L'étude d'impact sera dorénavant à compléter par un 9^e chapitre, consacré à la santé, conformément à la circulaire 98-36, du 17 février 1998, du ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement.

Il reste bien entendu que chaque chapitre sera rédigé en adéquation avec les enjeux du projet et avec l'importance donnée à l'étude d'environnement.

4.1 Généralités sur l'étude d'impact

Conformément à l'annexe 2 de l'instruction du 11 mars 1996, le dossier d'étude d'impact doit présenter la composition ci-après. L'importance de ses diverses composantes est à adapter en fonction de la nature de l'opération.

- 1 - Résumé non technique de l'étude d'impact
- 2 - Appréciation des impacts du programme
- 3 - Auteurs des études
- 4 - Étude de variantes larges :
 - 4.1 établissement de l'état initial - carte des enjeux et des contraintes
 - 4.2 analyse des variantes au plan de l'environnement
 - 4.3 synthèse des études, résultats de la concertation, décision sur le choix de la variante et conditions dont ce choix est assorti
- 5 - Définition de la solution proposée :
 - 5.1 affinement de l'état initial - carte des enjeux et des contraintes

5.2 analyse des sous-variantes au plan de l'environnement

5.3 synthèse des études, résultats de la concertation, décision sur le choix de la solution présentée

6 - Présentation du projet soumis à enquête, de ses effets sur l'environnement et des mesures d'insertion envisagées

7 - Coût des mesures d'insertion

8 - Analyse des méthodes d'évaluation utilisées

9 - Influence sur la santé

En effet, il convient de rajouter un neuvième chapitre, consacré à la santé, en application de la circulaire précitée, même si, dans un certain nombre de chapitres, il doit être également fait mention de la santé.

4.2 Passage de l'étude d'environnement à l'étude d'impact «air»

On trouvera ci-après la déclinaison vis-à-vis de l'air des résultats de l'étude d'environnement «air» à prendre en considération dans l'étude d'impact.

4.2.1 Résumé non technique de l'étude d'impact

Dans ce chapitre, il sera simplement explicité que l'étude d'impact «air» a été conduite conformément à l'article 19 de la loi sur l'air et de l'utilisation rationnelle de l'énergie. En outre, on mentionnera la conclusion générale sur la qualité de l'air ainsi que le bilan «santé».

4.2.2 Appréciation des impacts du programme

On mentionnera d'abord les 6 impacts de la pollution automobile (cf. document Certu: *Pollutions atmosphériques et circulation routière - données de base*).

Sur chaque point, on donnera un aperçu de l'impact du programme. Les différents aspects de la pollution automobile sont les suivants :

- les effets de proximité (santé et végétation, pollution sensible)
- les effets régionaux (smog : pollution photochimique, pluies acides)
- les effets planétaires (trou dans la couche d'ozone, effet de serre).

L'étude d'impact s'attache davantage à connaître les effets de proximité et les consommations énergétiques plutôt que les effets régionaux ou planétaires. Ces derniers points sont davantage abordés lors des grandes décisions d'aménagement du territoire.

4.2.3 Auteurs des études

Tous les participants à l'étude d'environnement « air » seront mentionnés.

4.2.4 Étude de variantes larges

■ Établissement de l'état initial – carte des enjeux et des contraintes

On indiquera les conclusions de l'analyse de l'état initial de l'existant et sur son évolution prévisible en l'absence du projet considéré, cette dernière constituant la situation de référence à laquelle seront comparées les variantes. On n'oubliera pas de faire mention d'une appréciation sur les résultats de qualité de l'air en provenance des réseaux de mesure au niveau de l'agglomération (s'ils existent). On n'oubliera pas, également, de donner, pour chaque polluant, la part des transports dans les inventaires globaux au niveau de l'agglomération considérée (donnée disponible auprès des Drire chargé des Plans régionaux de qualité de l'air ou PRQA en application de la loi sur l'air et de l'utilisation rationnelle de l'énergie).

■ Analyse des variantes au plan de l'environnement

On rappellera la comparaison entre les différentes variantes au niveau de chaque polluant. Il en sera fait de même pour les bilans santé et coûts.

■ Synthèse des études, résultats de la concertation, décision sur le choix de la variante et conditions dont ce choix est assorti

On explicitera les résultats de la concertation et l'importance de la problématique « air » dans le cadre de la négociation. On rappellera la position de la partie « air » (y compris la consommation énergétique) et « santé » pour le choix de la solution finale par rapport aux autres scénarios ou variantes.

4.2.5 Définition de la solution proposée :

■ Affinement de l'état initial – carte des enjeux et des contraintes

On présentera :

- les conclusions de l'analyse fine de l'état initial dans le secteur géographique concerné par le projet et de son évolution prévisible en l'absence de tout projet, situation de référence des impacts,
- les résultats des mesures métrologiques effectuées pour l'établissement de l'état initial ainsi que leur transposition aux teneurs moyennes afin de tenir compte des conditions météorologiques présentes lors des relevés de polluants,
- dans le cas où un PRQA ou un PDU existe ou est en cours d'élaboration, il conviendra d'en rappeler les grandes lignes et de corrélérer l'étude avec ces deux dernières.

■ Analyse des sous-variantes au plan de l'environnement

Les sous-variantes seront décrites sur le plan de la qualité de l'air et de la consommation énergétique (comparaison d'inventaires ou de concentrations) ainsi que sur le plan de la santé.

■ Synthèse des études, résultats de la concertation, décision sur le choix de la solution présentée

On indiquera les conclusions générales de l'étude d'environnement quant à la qualité de l'air et à la consommation énergétique.

4.2.6 Présentation du projet soumis à enquête, de ses effets sur l'environnement et des mesures d'insertion envisagées

On présentera les conclusions générales du projet sur les plans de l'analyse des coûts et nuisances, de l'influence de la qualité de l'air sur la santé et autres formes de «pollution atmosphérique» (bâtiments, pollutions sensibles, action sur la flore, pluies acides et effet de serre). Le problème de la consommation énergétique sera également abordé.

4.2.7 Coût des mesures d'insertion

Dans le cas où l'on met en œuvre un écran antipollution ou un écran antibruit sur-dimensionné par rapport à cette spécialité, il sera indiqué les coûts ou surcoûts entraînés par l'«air».

4.2.8 Analyse des méthodes d'évaluation utilisées

Les études d'impact «air» et les études d'environnement correspondantes sont relativement jeunes en France. Le travail sur la standardisation et l'homologation des outils (émissions unitaires, parc roulant, inventaires

d'émissions, diffusion, photochimie, action sur la santé de la population de proximité, coûts collectifs...) est actuellement en cours. C'est la raison pour laquelle la prudence reste conseillée quant à la précision et à l'interprétation des résultats.

Il conviendra cependant de prendre contact avec les services centraux (Cetu, Certu et Setra) afin de vérifier que les méthodes utilisées lors de l'étude d'environnement sont bien le reflet des dernières connaissances en la matière.

Le choix des méthodes employées sera également bien exposé.

4.2.9 Effets sur la santé

Par rapport à la composition type de l'étude d'impact précisée à l'annexe 2 de l'instruction du 11 mars 1996, on introduira ce chapitre supplémentaire afin de traiter le problème «santé». Pour le thème de l'«air», on abordera le problème santé relatif d'une part, à la zone d'étude (au niveau local) et, d'autre part, à la bande d'étude (en proximité de l'infrastructure).

D E U X I È M E P A R T I E

Caractérisation des polluants de la définition à la mesure des concentrations

5. Les polluants à prendre en compte

5.1 Généralités

L'activité humaine génère l'émission de nombreux polluants dans l'atmosphère. Les véhicules à moteur en émettent un grand nombre; certains sont bien connus et d'autres moins. Les résultats des recherches menées au niveau international permettent de calculer les quantités de polluants émises par le trafic.

Devant les risques que représentent certaines de ces substances pour la santé humaine, pour la faune et la flore, diverses réglementations nationales et internationales (Union européenne, Organisation mondiale de la santé, US EPA...) spécifient des valeurs de concentrations des polluants atmosphériques à respecter dans l'air ambiant, tant en pollution chronique qu'en épisode de pointe (les directives européennes et françaises, ainsi que les recommandations OMS actuelles sont présentées au 12.3).

Actuellement, 7 polluants font l'objet d'une réglementation européenne (contre 28 pour les recommandations de l'OMS):

- le dioxyde de soufre (SO₂)
- les particules en suspension PM10
- le plomb
- le dioxyde d'azote (NO₂)
- l'ozone (O₃)
- le monoxyde de carbone (CO)
- le benzène (C₆H₆).

Prochainement, 5 nouvelles substances feront l'objet d'une réglementation européenne. Les nouveaux polluants sont les suivants:

- les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)
- le cadmium (Cd)
- l'arsenic (As)
- le nickel (Ni)
- le mercure (Hg)

Cependant, compte tenu de nos connaissances actuelles sur leur évolution dans l'atmosphère et sur leurs différents impacts, il serait présomptueux de

vouloir être exhaustif dans les études d'impact. Par conséquent, nous devons faire un choix.

Les polluants que l'on doit retenir pour ce genre d'études sont prioritairement:

- ceux dont la prise en compte est imposée par la loi
- ceux dont le trafic est reconnu pour en être la principale source
- ceux dont l'impact sur la santé est avéré
- ceux dont l'impact sur la faune et la flore est avéré.

Nous verrons, ci-après, parmi les 13 polluants qui font ou feront l'objet d'une directive européenne ceux qui sont à prendre en compte dans les études d'impact.

5.2 Le dioxyde de soufre (SO₂)

Il provient essentiellement des installations de combustion (chauffages domestiques au fuel ou charbon et industries). Pendant de nombreuses années, les véhicules Diesel ont contribué à la pollution par le SO₂. Mais les décrets récents réduisant la teneur en soufre des carburants ont permis de réduire de façon importante les émissions soufrées des automobiles.

Par conséquent, la prise en compte de ce polluant dans les études d'infrastructures routières se limitera aux implantations à proximité de gros émetteurs industriels. En effet, le cumul des différentes contributions peut faire en sorte que les valeurs limites de qualité de l'air soient atteintes ou dépassées.

5.3 Les oxydes d'azote (NO et NO₂, aussi notés NO_x)

En 1997, 52% de ces polluants étaient émis par les véhicules à moteur (surtout par les véhicules non catalysés), le reste étant dû aux chauffages et, principalement, à l'industrie. Seul le dioxyde d'azote (NO₂)

est réglementé par une directive européenne, intégrée dans la législation française par un décret.

Le dioxyde d'azote est reconnu pour son impact sur la santé, notamment sur les voies respiratoires. Mais ses effets sur la faune ou la flore ne sont pas clairement identifiés. Les oxydes d'azote interviennent également dans la formation d'ozone, phénomène plus important en milieu interurbain qu'en milieu urbain mais moins bien connu que l'action directe de ces polluants.

Par conséquent, quel que soit le projet étudié, les oxydes d'azote, et surtout le dioxyde, sont les polluants incontournables pour une étude d'impact.

5.4 Les poussières en suspension

Ce sont des particules solides de dimensions et d'origines diverses (chauffages, industries et véhicules Diesel) pouvant rester un certain temps en suspension dans un gaz. Elles regroupent toutes les particules de diamètre inférieur à 100 μm . À noter qu'un projet de directive européenne prévoit de distinguer les suies (particules les plus grosses) et les particules de diamètre aérodynamique moyen inférieur à 10 μm (type PM 10).

Parmi les véhicules à moteur, les véhicules Diesel sont les principaux émetteurs de particules (suies et fines). Elles contiennent des substances toxiques comme des métaux lourds ou des hydrocarbures. Les particules fines (type PM10 et plus petites) peuvent pénétrer profondément dans les alvéoles pulmonaires et entraîner des conséquences graves sur la santé humaine. Dans le milieu naturel, ces substances toxiques sont libérées au point de chute des particules, avec un risque d'impact indirect sur l'homme si des cultures sont présentes à proximité d'une infrastructure.

Par conséquent, il est fortement souhaitable d'en tenir compte dans les études d'impact.

5.5 L'ozone (O_3)

Il s'agit d'un polluant secondaire, issu de la réaction du dioxyde d'azote et des hydrocarbures sous l'effet du soleil. On parle de pollution photochimique. Le monoxyde d'azote, par contre, limite la formation de l'ozone. C'est la raison pour laquelle les niveaux d'ozone mesurés à proximité immédiate des infrastructures routières sont souvent très inférieurs aux valeurs limites. On en trouve toutefois en agglomération, dans des zones à faible trafic ou en périphérie. Il s'agit donc d'un problème urbain et interurbain, puisque des infrastructures urbaines comme des autoroutes sont susceptibles de générer de l'ozone à plusieurs kilomètres de distance.

La formation de l'ozone est un mécanisme très complexe faisant intervenir de nombreux paramètres chimiques (plus d'une centaine de réactions chimiques) et climatiques (température, ensoleillement...). Actuellement, on sait mesurer les concentrations en ozone dans l'atmosphère troposphérique mais on les modélise difficilement compte tenu de la complexité de la photochimie. Malgré tout l'intérêt que présente ce polluant pour la connaissance de la qualité de l'air, nous ne sommes donc pas en mesure d'en tenir compte de façon pertinente dans nos études d'impact.

Il convient de se rappeler que l'ozone n'est pas un polluant de proximité. Il réagit presque instantanément avec le monoxyde d'azote (NO) émis par les véhicules automobiles pour former le dioxyde d'azote (NO_2). C'est un polluant à caractère plutôt régional.

5.6 Le monoxyde de carbone (CO)

Il provient de la combustion incomplète des produits carbonés, que ce soit dans les véhicules (carburants) ou dans les installations de chauffage. Le monoxyde de carbone est, avant tout, un problème

du milieu urbain puisqu'il a surtout une influence en proximité routière. Dès que l'on s'éloigne de la source, il se dilue et se transforme en gaz carbonique (CO₂).

Il s'agit d'un polluant bien connu, tant du point de vue physico-chimique que du point de vue risque sanitaire. Par conséquent, il est relativement aisé d'en tenir compte dans les études d'impacts.

5.7 Le benzène (C₆H₆)

Le benzène, un des constituants d'origine des produits pétroliers, est aussi produit par leur combustion. Bien qu'émis également dans les autres activités industrielles, on estime (J.M. Tims – 1983 – Benzene emissions from passengers cars – Concawe Report n° 12/83 – 27 p.) que 80 à 85% du benzène émis dans l'atmosphère provient de l'automobile (évaporation ou gaz d'échappement). Sa présence est autorisée dans les carburants jusqu'à hauteur de 0,8% en volume (Directive européenne «carburant» 2000).

Le benzène est classé par l'OMS parmi les «cancérogènes certains pour l'homme». Il est donc très souhaitable de le prendre en compte dans les études d'impact.

5.8 Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)

Cette appellation générique regroupe des substances chimiques constituées de 2 à 6 cycles aromatiques (voire 8) juxtaposés. Selon le nombre de cycles, ils sont classés en HAP légers (jusqu'à 3 cycles) ou lourds (4 et plus) et présentent des caractéristiques physico-chimiques et toxicologiques différentes. Dans l'air, l'essentiel de ces substances est absorbé sur les poussières en suspension de toutes tailles (notamment celles issues des moteurs Diesel).

En milieu urbain, l'automobile est la principale source de ces substances. Et, bien que le caractère cancérigène de plusieurs d'entre elles soit avéré,

les faibles capacités de mesure actuellement en place dans les villes, une connaissance encore limitée des teneurs dans l'air urbain et l'absence de valeurs limites font que, pour l'instant, il n'est pas envisageable de prendre en compte ces substances, en tant que telles, dans les études d'impact. De même en milieu interurbain, les teneurs et les différentes substances présentes ainsi que leurs impacts sur la faune et la flore font encore, à ce jour, l'objet de recherches. Des progrès rapides devraient permettre dans un avenir assez proche de les prendre en considération dans les études d'environnement car les HAP représentent un enjeu assez fort en terme de conservation des ressources naturelles renouvelables (faune, flore) et non renouvelables (le sol).

Nota Bene :

Les données disponibles pour calculer les émissions liées au trafic routier ne concernent que les hydrocarbures totaux non méthaniques. Cette appellation très générale regroupe tous les hydrocarbures, sauf le méthane. Les émissions de benzène et d'HAP sont déduites à l'aide d'une spéciation des émissions d'hydrocarbures. Malgré l'imprécision inhérente à ce type de calcul, il est souhaitable de prendre en compte les hydrocarbures totaux et le benzène dans les études d'impact en raison, d'une part, de la réglementation et, d'autre part, de leur influence sur la formation de l'ozone.

5.9 Le plomb (Pb)

En milieu urbain, avant l'introduction progressive des carburants sans plomb et la diminution des teneurs autorisées, la contamination de l'air par le plomb provenait essentiellement des émissions automobiles. Depuis, une baisse significative des concentrations moyennes annuelles a été notée. Actuellement, elles sont généralement inférieures à la valeur limite de 0,5 µg/m³ fixée par la norme européenne, mais certaines stations de proximité peuvent encore enregistrer des moyennes annuelles supérieures à la

recommandation de l'OMS de $0,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. En milieu interurbain, l'air contient moins de $0,1 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de plomb.

Le plomb atmosphérique ne représente donc plus un enjeu fort pour la qualité de l'air. Toutefois, compte tenu des phénomènes de bio-accumulation possibles dans les plantes et dans les sols, sa prise en compte dans les études d'impacts sera limitée aux projets en milieu interurbain, la connaissance du milieu urbain en étant à ses débuts.

5.10 Le cadmium (Cd)

Le cadmium et ses sels sont utilisés pour leurs propriétés physiques, chimiques et électrochimiques, plus particulièrement dans la fabrication d'alliages métalliques, d'accumulateurs nickel-cadmium, de pigments, de stabilisants ou de colorants de matières plastiques et de traitement de surface. C'est un élément trace largement répandu dans l'environnement.

Les principales sources dans notre environnement sont soit naturelles, soit liées à l'incinération des ordures ménagères et aux activités industrielles (métallurgie, raffinage du zinc...) et agricoles (amendement).

Par rapport aux autres activités, l'automobile émet très peu de cadmium. On en trouve essentiellement dans les additifs des lubrifiants et dans les pneumatiques. En milieu urbain, la prise en compte de ce polluant n'est pas utile dans une optique transport. En milieu interurbain, l'accumulation de ce métal par les plantes peut entraîner un risque indirect pour l'homme, dans la mesure où ce sont des plantes à vocation alimentaire. Aujourd'hui, des recherches sont en cours pour déterminer la zone influencée par l'infrastructure et les teneurs en cadmium, dans le sol et les végétaux, imputables au trafic. Bien que les premiers résultats nous indiquent que les niveaux de pollution restent faibles, il est nécessaire

de suivre le cadmium au niveau des sols, compte tenu des dangers que présente ce métal et de son utilisation probable encore dans les années futures.

5.11 L'arsenic (As), le nickel (Ni) et le mercure (Hg)

Ces polluants, dans l'état des connaissances actuelles, ne sont pas émis par les véhicules à moteur, que ce soit dans les gaz d'échappement ou par usure de pièces. Par conséquent, nous ne nous en préoccupons pas actuellement dans les études d'impact.

5.12 Le zinc (Zn)

Le zinc est un métal qui ne sera pas réglementé dans les années à venir au titre de la loi sur l'air. Actuellement, on suit sa présence surtout dans les eaux de ruissellement des routes. Or, on en retrouve des quantités importantes dans les sols des emprises routières.

Les émissions automobiles de ce métal sont essentiellement dues à des fuites de lubrifiants et à l'érosion des glissières de sécurité. On peut aussi en retrouver dans les gaz d'échappement sous forme de particules. Des recherches sont en cours pour tenter d'évaluer la responsabilité des véhicules dans les concentrations en zinc relevées dans les emprises.

Le zinc reflète encore mieux que les autres métaux la pollution d'origine routière (émissions des véhicules et des équipements de la route). Il est donc intéressant en terme d'indicateur. On en tiendra compte au niveau des sols.

5.13 Divers

En plus des 13 polluants bientôt réglementés par des directives européennes, la loi sur l'air demande que l'on prenne en compte d'autres « polluants »

dans les études d'impacts : les émissions de gaz carbonique (CO₂) et la consommation énergétique (ou consommation de carburant des véhicules).

Le gaz carbonique n'a pas d'impact direct sur la qualité de l'air aux abords des projets, ni sur la santé publique, mais il intervient dans l'effet de serre. Quant à la consommation énergétique, il s'agit d'un indicateur pour estimer « l'utilisation rationnelle de l'énergie » et l'épuisement des ressources en énergie non renouvelable.

5.14 Conclusions

En conséquence, les polluants qui peuvent être raisonnablement pris en compte aujourd'hui dans une étude d'impact, afin d'étudier la pollution gazeuse, sont :

- les oxydes d'azote (NO_x)
- le monoxyde de carbone (CO)
- les hydrocarbures totaux non méthaniques (HCNM ou COVNM)
- le benzène (C₆H₆)
- les poussières émises par les véhicules
- le dioxyde de soufre (SO₂).

Le sur-échauffement de la planète (effet de serre) sera appréhendé par l'intermédiaire du dioxyde de carbone (CO₂).

La consommation énergétique (carburant) doit également être prise en considération et quantifiée.

Si nécessaire, la pollution particulaire devra être examinée, afin d'analyser son influence sur les sols et les végétaux à travers trois éléments métalliques (le plomb, le zinc et le cadmium). Pour les sols, on étudiera systématiquement ces trois éléments alors que, pour les végétaux, l'analyse se limitera aux secteurs particulièrement sensibles (cultures spécifiques...).

L'ozone (O₃) n'apparaît pas dans cette liste car c'est un polluant secondaire, c'est-à-dire qu'il n'est pas émis directement par les véhicules. On ne peut donc pas évaluer directement les quantités produites par le trafic automobile. Toutefois, l'étude devra évoquer la contribution de ce trafic routier à la formation de l'ozone au niveau régional à la lumière des données et connaissances scientifiques disponibles.

Cette liste sera complétée ultérieurement, au fur et à mesure de l'évolution de la réglementation, tant européenne que française, et de l'état des connaissances scientifiques.

Métrologie 6.

6.1 Généralités

L'état initial nécessite d'être complété et étayé par des mesures in situ. Toutefois, dans le cadre de la pollution atmosphérique, cette phase est relativement délicate et onéreuse. De plus, entrent en ligne de compte la météorologie propre à l'instant de la mesure (température, pression, régime et force des vents, inversion de température...), la pollution de «fond» présente à cet instant et la métrologie appliquée. La mesure effectuée et les concentrations relevées ne sont pas propres à la seule voie routière mais sont le reflet de la pollution globale, toutes sources confondues, ce qui ne simplifie pas la tâche du rédacteur du rapport de constatations.

Cependant, la mesure faisant appel à la métrologie est une étape nécessaire et obligatoire dans l'étude d'impact. Elle constitue, de plus, un élément de calage pour l'utilisation éventuelle de modèles et un élément de référence pour les suivis environnementaux ou les engagements du maître d'ouvrage.

À chaque site et à chaque problème, nous avons à notre disposition différentes possibilités d'analyse, impliquant des coûts et délais d'études totalement différents. Cet aspect est à étudier dès l'établissement du programme, afin que cela soit bien cerné et qu'aucune surprise de dernière minute ne vienne perturber le bon déroulement de l'étude d'environnement «air» et de sa conclusion, à savoir l'étude d'impact.

6.2 Polluants pris en compte

Le présent chapitre ne traitera que des polluants définis au chapitre 5, soit les oxydes d'azotes (NO_x), les hydrocarbures (HC), les particules fines (PM₁₀), le monoxyde de carbone (CO), le benzène (C₆H₆) et, éventuellement, le dioxyde de soufre (SO₂) lorsque nous sommes en proximité immédiate de gros émetteurs industriels.

CO₂ et O₃ seront traités dans les études d'environnement et d'impact par des chapitres généraux. La consommation énergétique ne peut être directement mesurée mais calculée.

6.3 La métrologie

L'annexe n° VI traite de la métrologie actuellement disponible sur le marché afin d'effectuer l'état initial.

Il est bon de rappeler l'existence des stations de mesures des réseaux de surveillance de la qualité de l'air qui pourront apporter soit des mesures directement liées à l'aire d'étude, soit des mesures permettant une estimation de la pollution de fond.

6.4 Détermination des conditions météorologiques

Celles-ci sont obligatoires pour l'établissement d'un diagnostic extrapolable, en partie, aux conditions annuelles du site. Elles sont facilement accessibles dans le cas d'une station Météo-France peu éloignée du site d'étude ; on pourra alors disposer des valeurs de température au sol, pression atmosphérique, vitesse et direction du vent, nébulosité, humidité relative et données pluviométriques à des pas de temps compatibles avec les exigences des capteurs évoqués ci-avant. Ces données sont suffisantes et assez abondantes pour permettre un jugement a posteriori sur la représentativité de la période d'étude. De même, on s'en contentera pour les études de simulation de dispersion des polluants atmosphériques. Les modèles exigent, de plus, le gradient thermique, donnée extrêmement coûteuse et difficile d'obtention ; on prendra alors une valeur moyenne plausible suivant les autres caractéristiques du site.

Pour une meilleure précision, en particulier en cas d'étude strictement urbaine, il est souhaitable de

disposer *in situ* d'une station de mesure (anémomètre/ girouette/thermomètre au minimum).

6.5 Stratégies d'analyses

Les métrologies précédemment décrites doivent trouver leur emploi pour des exigences différentes relatives à l'étude d'impact :

- si celle-ci doit se limiter à un observatoire, les diagnostics de type bio-indication ou tubes (passifs/ actifs) doivent être privilégiés. Le fait de produire des données agrégées ne nuit pas à l'intérêt de l'étude et leur faible coût permet un zonage important ainsi qu'un plus grand nombre de périodes d'observation.
- si l'étude préliminaire a permis la détection de zones particulièrement sensibles, de par leur exposition et les trafics attendus, le zonage par bio-indication ou tubes doit être complété par des mesures par analyseurs. Le choix d'analyseurs fixes ou mobiles dépendra de l'étendue de l'aire d'étude. En cas de simulation informatique poussée, un analyseur de référence sera obligatoire.
- en cas de projet strictement urbain et de faible aire avec de fortes contraintes d'exposition de la population, les mesures par analyseurs seront à privilégier afin de pouvoir estimer avec précision les concentrations de polluants et les corrélations trafic/pollution atmosphérique. Elles permettront, de plus, d'alimenter correctement les éventuels modèles numériques de dispersion de ces polluants.

En tout état de cause, les campagnes de mesure devront comporter au moins une période estivale et une période hivernale. Le nombre exact de ces campagnes est à moduler en fonction du type et du nombre de capteurs disponibles, leur durée ne pouvant toutefois être inférieure à 7 jours complets de mesures.

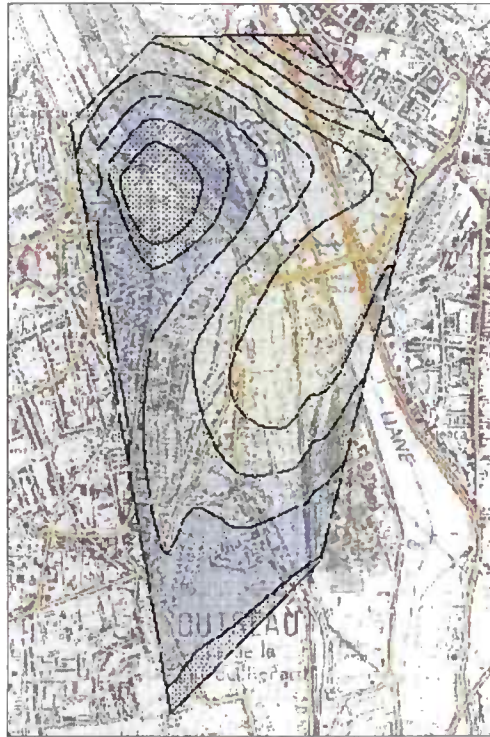
Suivant les stratégies de mesures, les possibilités d'implanter un grand nombre de capteurs pourront être limitées. Deux possibilités sont envisageables :

a) La cartographie complète en 2 dimensions

Cette cartographie permet, à l'aide d'un maillage serré de la zone d'étude par un grand nombre de capteurs, d'estimer les concentrations en tout point du domaine d'étude. Il est nécessaire, pour ce faire, d'utiliser des programmes d'interpolation géostatistiques dont l'usage doit être réservé aux spécialistes. À titre d'exemple, les deux cartographies après représentation une interpolation par deux méthodes différentes (distance inverse et TIN) des mêmes données initiales :



Source : Cete Nord Picardie - Cartes n° 2104 E ou 1/25 000 © IGN - Paris 1995 autorisation n° 50-0165 - Méthode distance inverse.



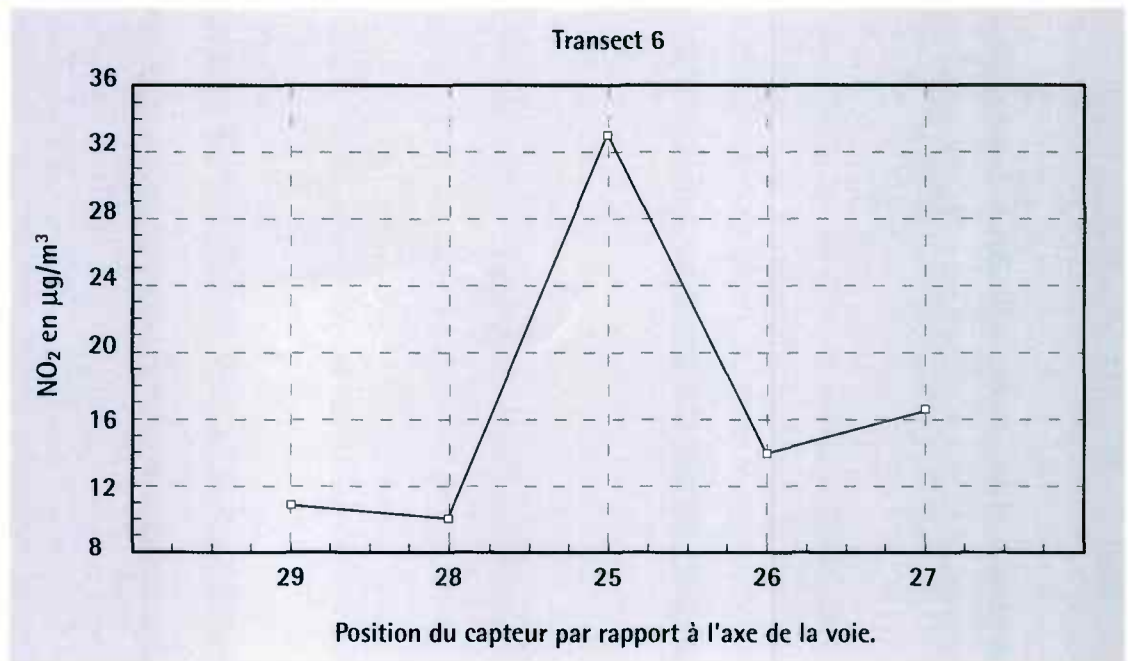
Cartes n° 2104 E ou 1/25 000 © IGN - Paris 1995 autorisation n° 50-0165 - Méthode TIN.

b) La représentation par transects

Cette méthode, plus économique en capteurs, ne donne pas le même niveau de renseignement sur la totalité de l'aire d'étude mais peut apporter un degré supplémentaire dans l'analyse de la pollution à proximité de la voie. Un exemple de cette méthode est reproduit ci-après :



Positionnement des capteurs sur un transect.



6.6 Influence de la météorologie sur l'interprétation de la mesure

Il convient de veiller à ce que les conditions météorologiques soient normales pendant la durée des mesures. Dans certains cas, il sera possible de corriger les résultats (méthode en cours d'élaboration). Toutefois, si les conditions sont aux extrêmes (vitesse du vent trop élevée ou absence de vent), il conviendra de refuser les résultats et d'entreprendre alors une autre série de mesures.

6.7 Stratégie de surveillance

Dans le cadre de futures recommandations européennes, il est actuellement envisagé d'obliger à effectuer une surveillance par station fixe dans les endroits où les concentrations en polluants atteindraient un certain pourcentage (à fixer) des valeurs limites. Il est prévu d'installer à demeure des moyens de surveillance, à déterminer en liaison avec le réseau local de surveillance de la qualité de l'air (cf. niveau I d'études).

Inventaires d'émissions liées au trafic 7.

7.1 Données de trafic

7.1.1 Modèles de trafic

Dans le domaine de la prévision de trafic, il est nécessaire de distinguer les milieux urbain et inter-urbain pour lesquels les besoins, et donc les approches, sont assez différents.

a - en milieu urbain

Les différents maîtres d'ouvrage ont historiquement souhaité gérer, avant tout, les épisodes de saturation de leur réseau pour limiter ou éviter si possible les périodes de congestion. Ces épisodes se produisant généralement à l'heure de pointe du soir (HPS) ou à l'heure de pointe du matin (HPM), la méthodologie développée depuis plus de 25 ans s'intéresse donc, en priorité, à ces heures de pointe, en ne considérant les véhicules que par l'encombrement qu'ils représentent dans le réseau. Tous les types de véhicules sont comptabilisés en unité de véhicule particulier (**uvp**), dans laquelle une voiture ou une camionnette comptent pour 1 uvp et un poids lourd compte pour **k** uvp (de 2 à 9 suivant la déclivité). D'autre part, dans les villes, la saturation se produisant plutôt en semaine, les études et la modélisation sont donc basées sur un jour moyen de semaine hors week-end.

En règle générale, pour le milieu urbain, les données prévisionnelles de trafic exprimées en uvp/heure sont représentatives des trafics d'une heure de pointe (HPS en général), d'un jour moyen d'une semaine moyenne.

L'approche par l'HPS (heure de pointe du soir) ou l'HPM (heure de pointe du matin) est intéressante car le trafic est le plus important à ces périodes de la journée, d'où des émissions maximales, induisant des concentrations maximales à proximité des axes de circulation. Il faut cependant garder à l'esprit que le trafic total sur 24 h est environ 10 à 12 fois plus important que celui d'une seule heure de pointe;

cette considération est particulièrement importante en ce qui concerne l'émission de CO₂ qui contribue à aggraver l'effet de serre, quel que soit le moment de la journée où ce polluant est émis.

De nombreux logiciels de calcul de la demande de déplacements et d'affectation du trafic à la voirie en milieu urbain sont disponibles sur le marché. Pour mémoire, les plus couramment rencontrés sont Trips, Minutp, Polydrom, Davisum, Emme2...

Le trafic de poids lourds est une donnée importante pour juger de l'opportunité, de l'efficacité et de l'intérêt d'un aménagement. Le développement d'un premier type de modèles de génération de trafic de marchandises est actuellement en cours.

b - en milieu interurbain

Les préoccupations et les objectifs sont surtout centrés autour du bon fonctionnement d'un grand réseau maillé, soit en période dite normale, soit en période de grande fréquentation, touristique par exemple. Comme en interurbain les périodes de saturation sont finalement assez peu nombreuses (surtout présentes pendant les périodes de week-ends et de vacances) et elles ressortent plutôt du domaine de l'exploitation et de la gestion de l'infrastructure, les méthodes développées s'intéressent davantage au trafic moyen journalier annuel (ou TMJA).

De même qu'en milieu urbain, le trafic des poids lourds en rase campagne est une donnée importante pour juger de l'opportunité, de l'efficacité et de l'intérêt d'un aménagement. Les études menées dans ce milieu distinguent toujours les véhicules légers et les poids lourds.

En milieu interurbain, les données prévisionnelles de trafic, différenciées pour les véhicules légers et pour les poids lourds, sont représentatives des trafics d'une journée moyenne de l'année.

Les modèles de trafic en interurbain les plus rencontrés sont Ariane et Sami.

7.1.2 Limites et ajustement des modèles

La prévision de trafic à moyen terme dépend de nombreuses hypothèses économiques, sociales, démographiques, ainsi que de l'offre de transport en terme d'infrastructure. Dans ces conditions, l'exercice de prévision est très difficile et ne pourra, en aucun cas, prétendre représenter de manière parfaite la situation à l'horizon étudié. Si ce travail est difficile, il n'en est pas moins indispensable pour engager, avec l'ensemble des acteurs, une réflexion qui permette de dégager un consensus minimum sur les données d'évolution possible.

Les données de flux et de vitesse d'écoulement des véhicules fournies par les études de trafic, si elles peuvent toujours être soumises à une lecture critique, doivent être adoptées sans modification, sauf peut-être dans le cas d'une déclivité importante où la vitesse des PL doit être ajustée, ainsi que la vitesse de circulation générale dans la voie correspondante.

Ceci est d'autant plus indispensable que les éléments de trafic serviront pour une multitude d'autres aspects et assureront une cohérence générale au projet.

Pour obtenir toutes les données utiles à la conduite des études de qualité de l'air, il est souvent nécessaire d'établir une correspondance entre les informations brutes des modèles basés sur l'heure de pointe et des données de trafic, heure par heure, ceci afin d'obtenir les 24 heures d'une journée moyenne. Cette opération peut généralement s'effectuer sur la base d'observations disponibles soit localement, soit sur des sites similaires. En effet, plusieurs études méthodologiques (en cours au Certu et au Setra) ont mis en évidence des profils de trafic caractéristiques d'un milieu ou d'un type de voie, pour les véhicules

légers et pour les poids lourds. Un guide est en cours de préparation au Certu qui présentera les éléments de trafic nécessaires à l'étude « pollution atmosphérique », lorsque des données précises ne seront pas disponibles localement (% de PL, distribution 0-24 h des trafics, rapports entre TMJA et HPS tant en VL qu'en PL, tonnage des PL...).

La prise en compte de points singuliers comme les écoles, hôpitaux, centres commerciaux est généralement effectuée sauf si le découpage géographique du modèle ne le permet pas. Des données spécifiques sur la génération (en terme de trafic) de ce genre de points singuliers devront être considérées pour la modélisation (données en cours de mise en forme au Certu).

De manière générale, une coordination avec le spécialiste « trafic » devra être recherchée.

Il convient de vérifier auprès du spécialiste « trafic » que le modèle a été correctement calé, tant en débit de circulation qu'en temps de parcours (ce qui est très rarement le cas). Dans le cas contraire, des vitesses trop faibles sur voie fluide ou des vitesses trop fortes sur voies congestionnées pourraient alors être obtenues, faussant complètement les flux et/ou les vitesses de circulation, donc les résultats de l'étude « air ».

Il convient de vérifier qu'aux nœuds du maillage, il y a équilibrage des débits, particulièrement en cas de congestion. Dans le cas contraire, on introduira un tronçon de circulation rétablissant l'équilibre des débits avec une vitesse de congestion.

7.1.3 Trafic VP, VUL, VL et PL

a - trafic de véhicules légers

Les véhicules légers de PTAC < 3,5 t sont répartis en deux catégories: les voitures particulières (VP) et les

véhicules utilitaires légers (VUL) qui ne se comportent pas de la même façon du point de vue de l'émission de polluants. Les caractéristiques de trafic spécifiques des VUL sont actuellement mal connues : en effet, aucune distinction n'est généralement faite entre l'utilisation d'un VP et celle d'un VUL pour un déplacement donné et les boucles de comptage sur voirie ne permettent pas, non plus, d'en faire la distinction. Les données de trafic des VP et des VUL sont donc agrégées en une seule catégorie : les VL. Pour le calcul des émissions et de la consommation énergétique, on utilisera des clés de répartition standard entre le trafic VP et le trafic VUL, déterminées au niveau national.

b - trafic PL

Le service Économique et Statistique du ministère des Transports dispose de statistiques sur les trafics routiers de marchandises au niveau national, au niveau régional et par grand axe, mais ces données sont rarement utilisables dans le cadre d'une étude d'impact locale. Pour les études d'infrastructure routière interurbaine, on dispose souvent de données actuelles et prévisionnelles de TMJA, établies à partir de comptages locaux et d'hypothèses d'accroissement de trafic.

Par contre, le domaine du trafic de marchandises en ville, notamment des PL, était assez mal connu jusqu'à une époque récente. La première étude approfondie a été lancée en 1993 sur l'agglomération de Bordeaux, dans le cadre du programme de recherche Ademe-METL sur le transport des marchandises en ville.

L'enquête a porté sur les données quantitatives des flux urbains de marchandises et des parcours de véhicules utilitaires (légers et lourds, compte propre et compte d'autrui, tournée et trace directe). Un redressement statistique a permis d'affecter le trafic marchandises aux principaux tronçons de voie et ce, pour trois moments de la journée :

- trafic moyen journalier
- trafic heure de pointe marchandises du matin
- trafic heure de pointe VP du soir.

Ainsi, la contribution du transport de marchandises à la pollution de l'air en ville a pu être étudiée pour Bordeaux ; il s'agit d'une étude complexe qui relève du domaine de la recherche, non transposable, pour l'instant, à d'autres agglomérations, car elle exige une bonne connaissance du trafic TMV (trafic marchandises en ville) nécessitant la réalisation d'enquêtes spécifiques sur les tournées de marchandises, notamment pour connaître les vitesses et horaires de circulation, les caractéristiques des véhicules, la charge embarquée.

De nouvelles études s'achèvent, toujours sous l'égide de l'Ademe et du METL, sur Marseille et Dijon. L'analyse des résultats sur ces agglomérations permettra de définir quelques invariants transposables sur d'autres agglomérations.

Pour de plus amples informations sur les émissions de la circulation routière, on se reportera à l'annexe IV.

7.1.4 Horizons d'études

Sur ce sujet, l'instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport (jointe à la circulaire du 3 octobre 1995 du secrétaire d'État aux Transports) apporte les précisions suivantes au paragraphe 4.3 : « L'horizon de l'étude doit être défini selon plusieurs points de vue : l'évaluation socio-économique des projets des infrastructures nécessite une perspective de très long terme, souvent supérieure à 30 ans. Dans le cas d'un recours à la concession, l'équilibre financier n'est souvent atteint qu'au bout d'une quinzaine d'années après la mise en service de l'ouvrage. L'horizon de l'étude sera, si possible, égal à la durée de vie technique de l'investissement : on prendra toutefois le même horizon pour comparer des projets. »

Les difficultés d'une analyse prospective des trafics et des futurs niveaux d'émissions amènent toutefois à limiter l'horizon d'études à des durées inférieures, car les fluctuations de l'activité économique influent fortement sur la demande de transport et sont difficiles à prévoir. Aussi, on restreindra à moyen terme (5 – 10 ans) les prévisions de trafic détaillées tout en indiquant les tendances à long terme.

On notera que les gains obtenus grâce aux améliorations technologiques des véhicules peuvent être plus importants que la croissance des émissions dues à une augmentation de trafic (sauf pour le CO₂ et la consommation énergétique). Ainsi, l'impact maximum en terme de qualité de l'air ne coïncidera pas forcément avec le trafic maximum.

Pour le réseau national, dans les études «bruit», la circulaire (DPPR, DR) relative à la prise en compte du bruit dans la construction des routes nouvelles ou l'aménagement de routes existantes du réseau national (du 12/12/97) fixe un horizon d'étude de 20 ans après la mise en service.

En conclusion, pour l'étude «air», on retiendra les mêmes horizons d'étude que pour la simulation de prévision du trafic (donnée du programme), soit 20 ans pour le réseau national en règle générale.

7.2 Émissions des véhicules

Les émissions à chaud des véhicules sont différentes, suivant :

- le type (VP, VUL et PL)
- la motorisation (essence ou Diesel)
- l'âge
- la cylindrée
- le système de post-traitement (catalyseur 3-voies, catalyseur oxydant...)
- la composition du carburant (teneur en plomb, en soufre, en benzène)
- la charge autorisée des poids lourds...

Différents facteurs modifient les émissions à chaud.

On peut citer par exemple :

- la température du moteur et du pot catalytique
- les déclivités
- la température extérieure
- la charge embarquée des utilitaires...

La quantification des émissions unitaires des différents véhicules présents sur l'infrastructure sera basée sur la méthodologie européenne Copert, disponible à l'Agence européenne de l'environnement.

7.3 Composition du parc de véhicules

La composition du **parc automobile roulant** (tant VL que PL) pour les différentes catégories de voirie (autoroute, route et en urbaine) est très importante pour la détermination de l'émission unitaire moyenne des VL et des PL. En effet, la répartition du trafic en classes homogènes du point de vue des émissions de polluants détermine le taux de présence sur la voirie de chacune de ces classes. En outre, cette composition du parc varie chaque année, au fur et à mesure de la pénétration des nouvelles technologies moins polluantes introduites en réponse aux normes d'émissions de plus en plus sévères. On trouvera en annexe III un développement succinct sur le sujet. Il est vivement conseillé de prendre contact avec les services centraux (Certu et Setra) ou les Cete afin de vérifier si les projeteurs prennent bien en compte les dernières valeurs disponibles, au vu de l'avancée des connaissances techniques.

Cette répartition du parc de véhicules en classes technologiques et le kilométrage parcouru par chaque classe est indispensable pour une pondération correcte des facteurs d'émission unitaire par le taux de présence, sur la voirie, des différentes classes.

On trouvera en annexe III un développement plus complet sur la question.

7.4 Émissions de polluants du trafic

La quantité moyenne de polluant émis par le trafic automobile est donnée par la relation :

$$Q_i = \sum_j VK_j * e_{ij}$$

L'indice i caractérise le polluant étudié

l'indice j caractérise la classe de véhicules

Q_i représente la masse du polluant i émise par cet ensemble de véhicules (en grammes)

VK_j la distance cumulée parcourue par les véhicules de classe j (en véh.km)

e_{ij} est le facteur d'émission unitaire caractéristique du polluant i et des véhicules de classe j (en g/km); il incorpore différents facteurs correctifs comme les déclivités, la température du moteur...

L'émission globale est directement proportionnelle au trafic tant VL que PL, contrairement au bruit dont les lois d'agrégation sont logarithmiques. En outre, les émissions varient considérablement avec la vitesse moyenne de parcours. Ces deux points seront explicités au responsable de l'étude «trafic», afin qu'il se rende compte de l'importance de ces paramètres, notamment de la vitesse de circulation.

Il convient de se renseigner auprès des services centraux (Certu et Setra) ou auprès de l'Ademe pour savoir si le jeu de données d'émissions unitaires est toujours d'actualité. Comme on peut le voir en annexe IV, on estime que les facteurs d'émission moyens évolueront assez rapidement dans les années à venir.

En site urbain, les émissions dépendent également de l'état thermique moyen des véhicules, donc de la longueur moyenne de trajet des véhicules présents sur l'infrastructure étudiée.

La quantification des émissions dépend de nombreux paramètres. Les inventaires d'émission restent

empreints de fortes incertitudes, compte tenu de la connaissance et de la complexité du problème. Seules des comparaisons entre scénarios ou variantes, et non les valeurs absolues, peuvent être prises en compte dans ces conditions.

Remarque :

Pour le cas des ouvrages souterrains, les conditions de circulation, donc les émissions des véhicules, sont différentes de celles constatées sur infrastructure à l'air libre. On se renseignera auprès du Cetu pour avoir les corrections à prendre en compte.

7.5 Les modèles d'inventaires d'émissions

On constate actuellement l'émergence d'un consensus, tant au niveau français qu'europpéen, autour de l'utilisation de la méthodologie Copert recommandée par l'Agence européenne de l'environnement pour l'établissement des inventaires d'émissions, pays par pays. D'importants travaux européens sont en cours de finalisation (Cost 319 et Meet: méthodologies d'estimation des émissions polluantes issues du transport); la prise en compte des résultats de ces travaux et leur adaptation à la situation française est en cours.

Plusieurs logiciels d'inventaire d'émissions ont été développés en France à l'initiative de services publics, semi-publics, ou d'entreprises privées. Il convient toutefois d'être très vigilants sur le sujet lorsque l'on confie des études d'environnement «air» et de se renseigner auprès des services centraux (Cetu, Certu et Setra) pour vérifier la conformité avec les dernières valeurs recommandées.

7.6 Conclusions générales

Les conclusions sur la comparaison d'inventaires d'émissions et de la consommation énergétique doivent s'effectuer en deux étapes :

- 1^{ère} étape : on compare d'abord, aux différents horizons d'études, les émissions du trafic, polluant par polluant, pour la situation de référence.
- 2^e étape : ensuite, aux horizons d'études, il est alors possible de comparer les variantes et scénarios par rapport à la situation de référence ou entre elles.

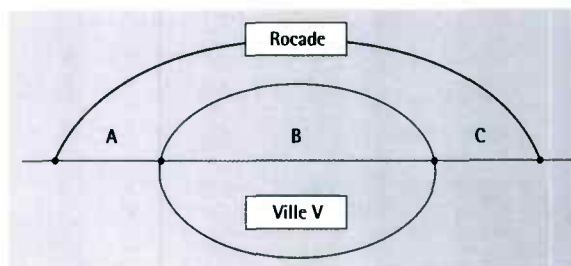
Il est bien évident que cela peut être plus complexe. La comparaison peut porter sur quatre cas :

- on réalise, ou pas, tel projet
- on réalise tel projet plutôt que tel autre
- on réalise tel projet avant tel autre,
- on met en chantier tel projet à telle date.

On notera que les résultats sont différents selon qu'il s'agit de l'émission de polluants ou de consommation. Il n'existe aucun facteur de pondération entre polluants permettant d'agrèger les polluants entre eux pour obtenir un indice global de la pollution atmosphérique liée à la circulation ; on raisonnera donc polluant par polluant.

7.7 Exemple d'application

Le cas d'école suivant illustre le principe des études à mener. Il s'agit d'une rocade de contournement. Cette dernière permet d'éviter la traversée d'une ville V effectuée auparavant par une route caractérisée par trois tronçons (cf figure ci-après) qui sont différenciés par leur longueur, le débit des véhicules qui y circulent et la vitesse moyenne de circulation.



Les principales caractéristiques de ces infrastructures sont données dans le tableau ci-après :

	Longueur (km)	Vitesse moyenne (km/h)		
		1998 sans rocade	2010 sans rocade	2010 avec rocade
Tronçon A	1.0	50	40	50
Tronçon B	7.0	20	15	25
Tronçon C	2.5	50	40	50
Rocade	14.0	-	-	100

Parallèlement, les débits de trafic estimés pour les horizons 1998 et 2010 sont donnés par le tableau ci-après :

	Débit (véh/h)			
	Situation actuelle 1998 sans rocade	Situation future 1 2010 sans rocade	Situation future 2 2010 avec rocade	
			Voie actuelle	Rocade
VP	1056	1310	262	1048
VUL	144	180	36	144
PL	240	300	0	300
Total	1440	1790	298	1492

Le problème à résoudre consiste donc à quantifier les émissions polluantes et la consommation énergétique pour chacune des situations décrites ci-avant afin d'apprécier l'impact de cette nouvelle infrastructure sur l'environnement.

Pratiquement, il s'agit ensuite, pour chacun des polluants et pour la consommation énergétique, de compléter le tableau suivant à partir des émissions unitaires données en fonction de la vitesse.

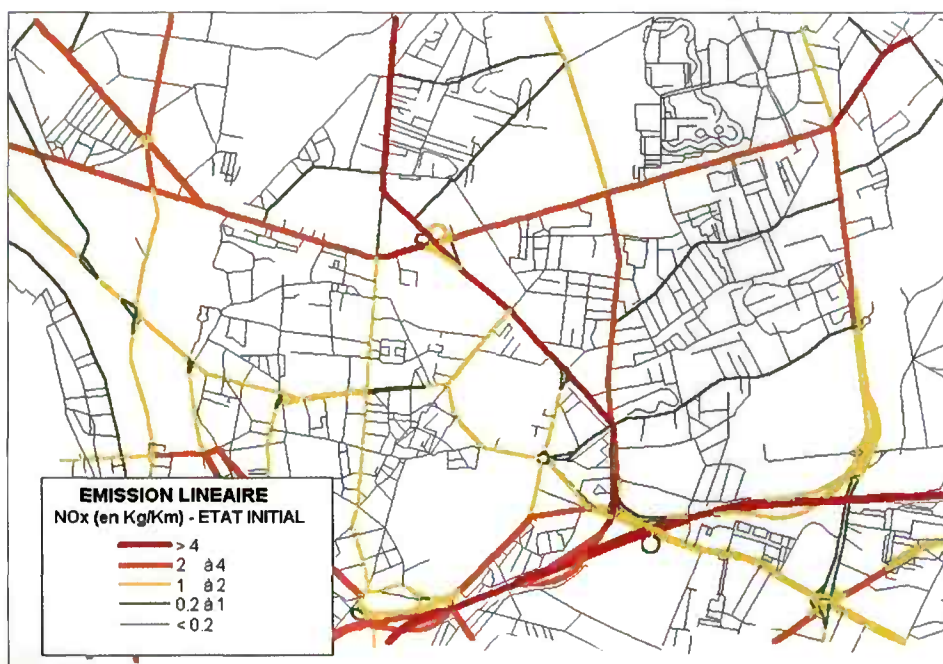
Émissions de polluants ou consommations (g/h)				
	Situation actuelle	Situation future 1	Situation future 2	Voie actuelle - Rocade
	1998 sans rocade	2010 sans rocade	2010 avec rocade	
Tronçon A				xxxx
Tronçon B				xxxx
Tronçon C				xxxx
Rocade	xxxx	xxxx	xxxx	
Sous-total	xxxx	xxxx		
Total				

On trouvera en annexe n° IV quelques exemples d'émissions unitaires des véhicules moyens français (VL ou PL).

Il peut être également intéressant de réaliser une cartographie des émissions, soit en valeur absolue, soit en différentiel. Ceci permettra une meilleure communication avec les citoyens lors des différentes phases d'étude et lors de l'enquête d'utilité publique. Une telle représentation (source Certu) est montrée en bas de page :

7.8 Les outils informatiques

Dans le cas où l'on veut automatiser les calculs d'émissions et de la consommation énergétique, il faut savoir qu'il existe sur le marché un certain nombre de produits informatiques. On trouvera en annexe IV un court développement sur le marché existant en matière d'outils informatiques et leurs différents domaines d'application. Ceci est surtout intéressant et recommandé en milieu urbain où l'on a généralement affaire à une aire d'étude comportant de nombreux tronçons, l'informatique permettant alors de résoudre rapidement les nombreux calculs à effectuer.



Représentation graphique des émissions
Carte n° 2314 B au 1/25 000 © IGN - Paris 1997 - autorisation n° 50-0165

8. Modélisation des concentrations de polluants

Pour les études les plus importantes (type I ou II éventuellement), une estimation des émissions de polluants ne sera pas suffisante pour conclure sur les impacts du projet: il sera nécessaire d'évaluer la répartition spatiale et temporelle des concentrations de polluants dans l'aire géographique d'étude et les modifications engendrées par le projet sur ces concentrations.

Comme cela a été annoncé dans le chapitre 6, la métrologie actuelle permet de mesurer les concentrations de nombreux polluants dans l'atmosphère pour la situation actuelle. L'estimation de ces concentrations à des horizons futurs nécessite l'utilisation de modèles mathématiques qui vont simuler la structure de l'atmosphère, les émissions et le transport des polluants. Il en existe plusieurs types dont l'utilisation est liée aux conditions locales (taille de la zone, période de temps modélisée, épisodes météorologiques pris en compte...).

Dans ce chapitre, nous allons nous concentrer sur les modèles de simulation des phénomènes physiques de transport et de dispersion des polluants; nous n'aborderons pas les processus d'interactions chimiques auxquels sont soumis ces polluants dans l'atmosphère.

8.1 Principe de la modélisation

La modélisation permet de déterminer les champs de concentration de polluants pour les différents scénarios étudiés. La simulation des processus intervenant dans le transport et la dispersion des polluants dans l'atmosphère nécessite la détermination et la prise en compte de plusieurs paramètres. Il s'agit:

- des conditions météorologiques
- de la description physique de l'aire d'étude
- de la description de la source de pollution.

8.1.1 Conditions météorologiques

Les conditions météorologiques ont une très grande importance pour la simulation de la dispersion des polluants car elles déterminent les conditions d'écoulement (stagnation ou dispersion) des polluants émis.

Ces conditions sont définies à l'aide de plusieurs paramètres, plus ou moins faciles à déterminer, mais tous importants pour la modélisation de la dispersion des polluants:

- hauteur de la couche d'inversion de basse couche
- gradient thermique vertical (en dessous et au-dessus de l'inversion)
- vitesse et direction du vent
- profil vertical de vent.

■ La stabilité atmosphérique

C'est l'un des facteurs les plus importants dans le processus de dispersion. La couche limite atmosphérique (CLA) est la portion de la basse atmosphère qui subit directement l'influence du sol. Elle a une épaisseur variable (entre quelques centaines de mètres et 2 km environ). C'est dans cette couche que se dispersent la plupart des polluants, entraînés par la turbulence des masses d'air.

Les turbulences créées dans la couche limite atmosphérique peuvent avoir deux origines: dynamique (due aux irrégularités de surface ou rugosité) ou thermique (instabilité due à la répartition verticale de la température); des turbulences locales sont également induites par le mouvement des véhicules. Les turbulences ont un effet favorable à la dispersion des polluants.

La stabilité atmosphérique est reliée au gradient thermique vertical. Devant la difficulté à caractériser cette stabilité et le coût qui en résulterait, Pasquill a défini une classification de la structure verticale de

l'atmosphère, faisant intervenir des paramètres météorologiques facilement accessibles et fréquemment relevés comme : la vitesse du vent, la nébulosité (couverture nuageuse) et l'heure (ou la hauteur du soleil).

Cas particulier des inversions thermiques :

Les inversions thermiques dans les basses couches de l'atmosphère constituent un phénomène défavorable à la dispersion des polluants. Elles se caractérisent par une inversion du gradient thermique vertical (normalement négatif dans le sens des altitudes croissantes, il devient positif), générant ainsi une couche d'air supérieure très stable et plus chaude que la couche d'air inférieure ; les polluants sont alors confinés dans la couche entre le sol et la base de l'inversion. Les inversions thermiques peuvent se produire près du sol ou en altitude.

■ Le vent

Les données concernant les vents, à savoir la direction, la vitesse et les fréquences correspondantes, sont incontournables pour une modélisation de la dispersion des polluants. La direction détermine l'axe privilégié de transport des polluants et la vitesse agit sur leur dilution (plus le vent est fort, plus il est favorable à la dispersion).

Ces données peuvent être obtenues sous différentes formes selon une représentation temporelle variable (depuis des statistiques pluriannuelles jusqu'à des données horaires). La forme la plus courante est la rose des vents qui permet de déterminer les vents dominants d'un site étudié (fréquence en vitesse et direction).

■ Profil vertical de vent

Le profil de vitesse du vent en fonction de l'altitude permet de calculer la vitesse du vent en tout point de la zone d'étude, quels que soient le relief, l'altitude et

l'occupation du sol. Cette donnée peut aussi être obtenue auprès de Météo France mais les modèles de dispersion proposent généralement des profils types que l'on peut adapter à de nombreux cas d'études ; l'utilisation de ces profils types nécessite cependant de bonnes connaissances scientifiques sur le sujet.

8.1.2 Description physique de l'aire d'étude

Les données météorologiques sont les premières qui viennent à l'esprit lorsque l'on souhaite faire une modélisation de la dispersion de polluants. Or, la micro-météorologie est fortement influencée par la topographie du site et l'occupation du sol dans l'aire d'étude (bâtiments, forêts, lacs, fleuves, zones urbaines...).

Par exemple, les bâtiments créent une rugosité importante, génératrice de turbulence, qui induit localement des champs de vent complexes et difficilement calculables (comme les vortex dans les rues canyon).

Les paramètres qui peuvent alors intervenir sont :

- les effets de mur : il s'agit d'un paramètre qui précise la nature des écoulements à proximité des bâtiments, d'un écran acoustique...
- la prise en compte des flux de chaleur émis par les zones urbaines, absorbés ou réémis par les surfaces environnantes
- les effets de dépôts et de turbulence liés à la présence de la végétation
- les effets de déposition.

8.1.3 Description des sources de pollution

Elles peuvent être réparties en trois types : ponctuelles (cheminées industrielles...), surfaciques (zones urbaines, forêts et cultures...) et linéaires (infrastructures de transport).

Pour la majorité des projets d'infrastructures routières, nous serons surtout amenés à étudier les sources

linéaires. Mais pour des projets plus conséquents ou à proximité d'agglomérations, il sera nécessaire d'évaluer la part relative du projet par rapport aux autres sources émettrices; nous serons alors contraints de considérer ces trois types de sources.

Pour décrire une source, il faut connaître, pour chaque polluant :

- l'échelle de temps et d'espace utilisée pour décrire les sources d'émission
- la localisation exacte des sources émettrices (coordonnées 3-D pour les sources ponctuelles; aire concernée pour les sources surfaciques; tracé pour une source linéaire)
- la quantité émise par unité de temps (débit)
- la température d'émission
- la vitesse d'émission
- l'évolution aux différents horizons de l'ensemble de ces données.

8.1.4 Données nécessaires pour une modélisation

Nous proposons, dans les tableaux suivants, une valeur par défaut pour plusieurs paramètres qui doivent être définis dans les modèles de dispersion.

Données météorologiques

Vitesse du vent (m/s)	Variable avec un minimum de 2 m/s voire 1,5
Hauteur anémomètre (m)	10
Direction du vent (°N)	Variable (donnée locale)
Température ambiante (°C)	Entre 5 et 20
Pression ambiante (hPa)	1 013

La direction du vent doit être choisie en fonction des données météorologiques locales. Pour les simulations, il est conseillé de retenir deux scénarios de vent différents :

- la direction du vent la plus fréquente et la vitesse de vent associée

- une autre direction assez différente qui peut être soit la plus défavorable (celle qui correspond à la vitesse de vent la plus faible par exemple), soit la deuxième plus fréquente (si elle est significativement différente de la première).

Données invariables

Rugosité de surface (m)	0,05 à 1 m
Classe de Pasquill	à choisir localement
Profil vertical de vent	logarithme
Gradient thermique (°/m)	- 0,007
Hauteur d'inversion	sans
Modèle de turbulence	à choisir en fonction du niveau de modélisation
Turbulence du trafic et prise en compte du pistonement	uniquement à l'échelle locale

Concernant la hauteur d'inversion, nous préconisons de réaliser la simulation en supposant qu'il n'y a pas d'inversion thermique dans le domaine d'étude. Cela revient à considérer, dans le modèle, que la couche d'inversion a une épaisseur beaucoup plus grande que la hauteur du domaine d'étude, de façon à ce que la limite de cette couche soit en dehors du domaine et que le gradient thermique reste constant. Un autre élément important pour la qualité des résultats d'une modélisation est le choix du **domaine d'étude**. Les conclusions du modèle peuvent être complètement erronées si l'on ne prend pas la peine de choisir un domaine suffisamment important dans les trois dimensions (longueur, largeur et hauteur) par rapport aux caractéristiques géométriques de la zone géographique étudiée (surtout la topographie et les bâtiments). On fera également attention aux concentrations de polluants aux limites du domaine d'études (cf. 8.4).

Les valeurs des paramètres utilisés dans le modèle de dispersion devront être clairement indiquées dans les études d'environnement.

8.2 Les polluants

Les polluants sont définis, dans les logiciels de modélisation, par leurs caractéristiques physico-chimiques (masse moléculaire, solubilité, vitesse de déposition sèche...). Ces données sont disponibles dans la littérature pour la quasi-totalité des polluants qui nous intéressent. Elles sont définies dans le logiciel et ne sont pas censées varier au cours du temps. Toutefois, il est préférable de contrôler la justesse de ces caractéristiques car tout utilisateur peut accéder à ces données et les modifier si nécessaire.

Toute variation des caractéristiques des différents polluants dont la dispersion est modélisée aura une influence importante sur le résultat. Pour permettre la reproductibilité des simulations, il est donc indispensable de disposer soit d'une base de données validées par la communauté scientifique, soit des données bibliographiques permettant de contrôler les propriétés des polluants définies dans le logiciel et, le cas échéant, de les corriger ou de les mettre à jour.

Dans le chapitre 5, nous avons défini les polluants passifs à prendre en compte dans les études d'environnement « air ».

- **Le monoxyde de carbone** est un polluant de proximité. Il présente l'avantage d'être bien connu (sur le plan physico-chimique) et d'être mesuré par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air en de nombreux points. Par conséquent, on peut le traiter explicitement dans une modélisation.
- **Les oxydes d'azote** sont un mélange constitué essentiellement du monoxyde et du dioxyde d'azote. Les émissions des sources mobiles sont exprimées en équivalent NO₂. La composition de ce mélange évolue très rapidement après l'émission sous l'effet des réactions photochimiques. Or les modèles utilisés couramment n'en tiennent pas compte. En raison de leur impact sur

la santé humaine et de la part prédominante du trafic routier dans les émissions d'oxydes d'azote, ces polluants sont à retenir en priorité pour les études envisagées (cf. annexe V pour les corrections à appliquer).

- **Les hydrocarbures** regroupent un très grand nombre de composés aux propriétés physico-chimiques très différentes. Par conséquent, il serait complexe et coûteux de réaliser une modélisation pour l'ensemble de ces substances. Par contre, il est tout à fait recommandé de modéliser la dispersion d'un hydrocarbure particulier, le benzène, pour trois raisons : il s'agit d'un polluant automobile, son niveau de concentration dans l'air ambiant est réglementé et son effet nocif sur la santé est avéré.
- **Les particules** les plus fines (diamètre inférieur à 2 µm) ont un comportement dynamique très proche de celui d'un gaz et peuvent donc être modélisées comme tel. Il s'agit surtout des particules émises dans les gaz d'échappement par les véhicules Diesel, par opposition aux particules plus grosses issues de l'usure des pièces mécaniques, des pneumatiques et de la chaussée. Pour modéliser le comportement de ces grosses particules dans l'atmosphère, il faudrait faire appel à un modèle diphasique dit « à deux fluides » incluant une phase d'envol et une phase de déposition. Ce type de modèle basé sur la résolution d'un double système couplé des équations « turbulentes » de Navier Stokes ne peut être mis en œuvre que par des équipes spécialisées.

Les polluants pour lesquels on peut envisager d'effectuer une modélisation de la dispersion sont donc :

- le monoxyde de carbone (CO)
- les oxydes d'azote (NO_x) avec leur traduction en NO₂
- les particules émises dans les gaz d'échappement
- le dioxyde de soufre (SO₂), en cas de proximité de source industrielle, afin de déterminer la contribution spécifique du projet routier
- le benzène (C₆H₆).

8.3 Les modèles mathématiques

Dans ce paragraphe, nous présentons les grands types de modèles mathématiques qui sont utilisés, à l'heure actuelle, pour modéliser les concentrations de polluants dans une zone d'étude. Un inventaire de logiciels existants (80) accompagné d'une description succincte est disponible sur le site Internet de l'Agence européenne de l'environnement : <http://aix.meng.auth.gr/lhtee/database.html>.

8.3.1 Généralités

La dispersion des polluants dans l'atmosphère obéit aux lois de la dynamique des fluides et peut être représentée par un ensemble d'équations aux dérivées partielles : équations du mouvement de fluide, équations de conservation de la matière et de l'énergie, équation de diffusion.

Ces équations n'étant généralement pas linéaires, il n'est habituellement pas possible d'en trouver les solutions par les méthodes de l'analyse mathématique. Le recours aux méthodes numériques est alors nécessaire.

L'échelle spatiale est le premier élément à définir avant la réalisation de la modélisation. Elle est fortement liée aux effets de la pollution atmosphérique que l'on cherche à simuler. On définit traditionnellement quatre échelles spatiales :

- *l'échelle locale* (10 m à 1 km), adaptée pour étudier les effets sur la santé, la végétation et les bâtiments à proximité des sources de pollution (routières ou industrielles).

- *l'échelle urbaine* (1 à 50 km), adaptée pour étudier les effets sur la santé, la végétation et les bâtiments sur l'ensemble d'une zone urbaine, en prenant en compte plusieurs sources de pollution et les paramètres climatiques et topographiques.

- *l'échelle régionale* (50 à 5000 km), adaptée pour étudier les effets sur la végétation et les écosystèmes en général sur l'ensemble d'une région ou d'un

continent (concentration d'ozone au niveau du sol en Europe par exemple).

- *l'échelle globale* (au-delà de 5000 km), adaptée pour étudier les effets sur le climat et l'ozone stratosphérique.

■ Les modèles déterministes

L'élaboration de ces modèles est basée sur la mise en équation d'un ensemble de phénomènes physiques qui ne reflète bien sûr qu'une approche simplifiée de la réalité.

Ce type de modèle se traduit généralement par un système d'équations différentielles aux dérivées partielles avec conditions initiales et conditions aux limites. Ces conditions sont fournies au système par des données de mesures réelles qui bien souvent entrent dans les équations sous forme statistique.

Un tel système d'équations est généralement non linéaire, ce qui rend quasiment impossible l'obtention de solutions analytiques. Cependant, sous certaines hypothèses simplificatrices, il est possible de linéariser les équations sous forme de matrices, et d'obtenir des solutions analytiques approchées.

Les modèles déterministes sont ceux les plus couramment utilisés dans le cadre d'études d'impact (aussi bien pour les installations classées que pour les projets routiers). Par conséquent, nous les développerons plus spécifiquement dans la suite de ce chapitre.

■ Les modèles prévisionnistes

Ces modèles font appel à la modélisation statistique afin de prévoir les niveaux de pollution dans un avenir proche. La modélisation statistique a pour objet de combiner plusieurs paramètres pour en apprécier les effets conjoints. Les paramètres couramment utilisés sont, d'une part, les données météorologiques à différentes altitudes comme la

température, le gradient thermique et la vitesse du vent et, d'autre part, les concentrations de polluants mesurées dans le passé. Ni les émissions, ni les lois de dispersion des polluants ne rentrent en ligne de compte.

Le développement de ce type de modèles est actuellement en pleine expansion pour la prévision à 24 heures des niveaux d'ozone.

Cette méthode est peu adaptée au cas des études d'environnement d'une infrastructure, car elle est basée sur une série historique d'observations et ne permet pas de travailler sur des horizons de 20 ans.

8.3.2 Les modèles déterministes

Chaque type de modèle décrit dans les paragraphes suivants s'applique, de façon préférentielle, pour certaines échelles spatiales. L'adéquation entre le modèle et l'échelle spatiale est présentée dans le tableau suivant :

	Mod. eulérien	Mod. lagrangien	Mod. gaussien	Mod. 3D numérique
Locale	✓		✓	✓
Urbaine	✓	✓	✓	✓
Régionale	✓	✓		
Globale	✓			

■ Modèle eulérien

Le modèle eulérien permet de simuler la dispersion des polluants selon un référentiel terrestre. Cette approche est basée sur la conservation de la masse d'un polluant soit :

$$\frac{\partial c}{\partial t} = -V \cdot \nabla c + \nabla \cdot D \nabla c$$

avec

D: coefficient de diffusion moléculaire

V: vitesse du vent

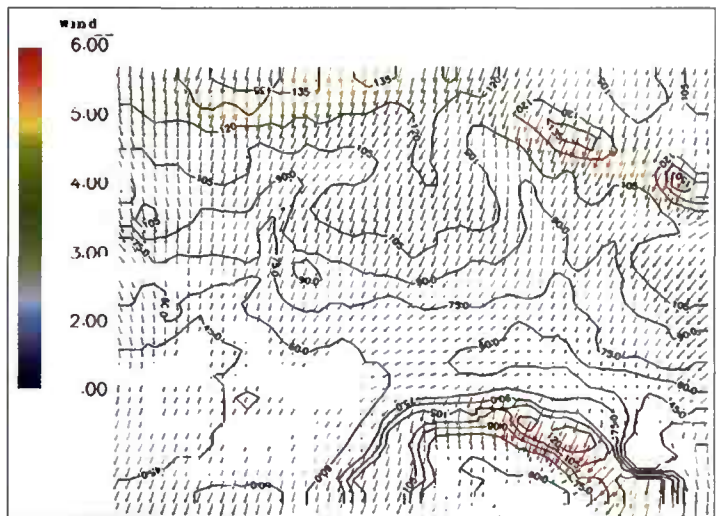
c: concentration d'un polluant

Remarque :

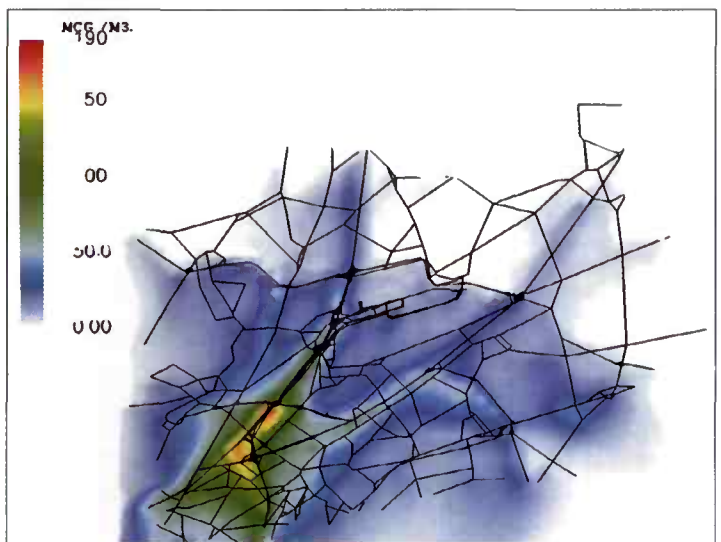
Sous certaines hypothèses simplificatrices, les solutions analytiques du modèle d'Euler peuvent être purement gaussiennes de la forme :

$$C(x,y,z) = C(x,z) \frac{1}{\sigma_y \sqrt{2\pi}} \exp\left(-\frac{y^2}{2\sigma_y^2}\right)$$

On trouvera ci-après un exemple de champ de vent établi avec le modèle Minerve et le résultat des calculs de la diffusion avec le modèle Hermès d'Aria Technologies :



BD - ALTI au pas de 600m © IGN - Paris - autorisation n° 50-0165



Source: Aria

■ Modèle lagrangien

Le modèle lagrangien permet de simuler la dispersion des polluants de façon analytique selon un référentiel lié au mouvement de l'atmosphère. Cette approche décrit la dispersion dans l'atmosphère d'un polluant à l'aide de l'équation :

$$(a) \dots\dots \langle C(r,t) \rangle = \int_{-\infty}^{\infty} p(r,t/r',t') S(r',t') dr' dt'$$

avec

$\langle C(r,t) \rangle$: moyenne de l'ensemble des concentrations à la distance r et à l'instant t (le domaine d'intégration s'étendant à toute l'atmosphère)

$S(r',t')$: débit massique de la source (masse par unité de volume et par unité de temps)

$p(r,t/r',t')$: fonction de densité de probabilité (dimension : volume⁻¹) lorsqu'une particule d'air se déplace de $M'(r',t') \in M(r,t)$ pour tout $M'(r',t')$ et $t > t'$.

$$(b) \dots\dots \int p(r,t/r',t') dr < 1$$

On a $(b) < 1$ lorsqu'on prend en compte des réactions chimiques ou des dépôts de particules. Sinon, la conservation de la masse exige $(b) = 1$.

- Pour un polluant primaire, $S(r',t') > 0$, seulement au point M' d'émission du polluant.

$S(r',t') = 0$ ailleurs.

- Pour un polluant secondaire, $S(r',t') \neq 0$ partout.

Pour les polluants primaires et secondaires mêlés, l'équation (b), qui représente la conservation de la masse, doit être satisfaite.

Le paramètre clé de l'équation ci-dessus est la fonction de densité de probabilité p , qui, pour des polluants non réactifs, dépend seulement de l'atmosphère (et du type de polluant s'il y a des phénomènes de dépôts).

Les équations (a) et (b) donnent une description rigoureuse des processus de transport et de diffusion en notation probabiliste.

Seinfeld (1975) a démontré que tout panache à répartition gaussienne pouvait être décrit par les équations de Lagrange (a) sous certaines hypothèses simplificatrices.

■ Modèle gaussien

Il s'agit du modèle le plus répandu pour simuler la dispersion de la pollution atmosphérique à l'échelle locale. Il est représenté par une formule simple décrivant en trois dimensions le champ de concentration généré par un point source en atmosphère stationnaire.

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

avec

$C(x,y,z)$: concentration du polluant en un point $M(x,y,z)$ de l'espace

Q : débit d'émission

u : vitesse du vent

σ_y, σ_z : écarts types de la distribution spatiale de la concentration.

Ce modèle découle des modèles précédents à partir d'hypothèses simplificatrices, conduisant ainsi à une équation plus facile à résoudre. Ces hypothèses sont : émission d'un polluant passif (c'est-à-dire qu'il ne subit pas de transformation chimique) par une source ponctuelle, sur un site plat et sans obstacles, en atmosphère homogène avec un vent constant.

Il est très utilisé pour déterminer la dispersion des polluants à proximité des autoroutes et des routes situées à l'extérieur des zones urbaines.

Un programme de recherche est actuellement lancé au Setra afin de valider les principaux modèles utilisés dans différents pays.

■ **Modèle numérique 3D**

Il s'agit d'un modèle eulérien basé sur la mécanique des fluides. L'équation générale de transport des polluants est de la forme suivante :

$$\frac{\partial \rho_m}{\partial t} + \text{div}(\rho_m U) - \text{div}(\rho D \text{grad} \left(\frac{\rho_m}{\rho} \right)) = S_{\rho_m}$$

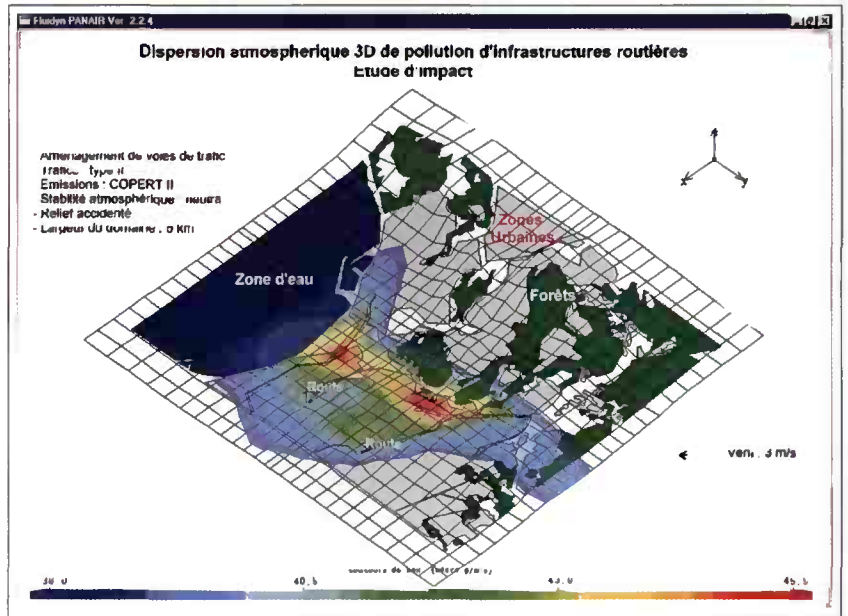
avec

- ρ_m : masse volumique du polluant m
- ρ : masse volumique du mélange
- U : vitesse du vent
- D : coefficient de diffusion
- S_{ρ_m} : terme source pour le polluant m.

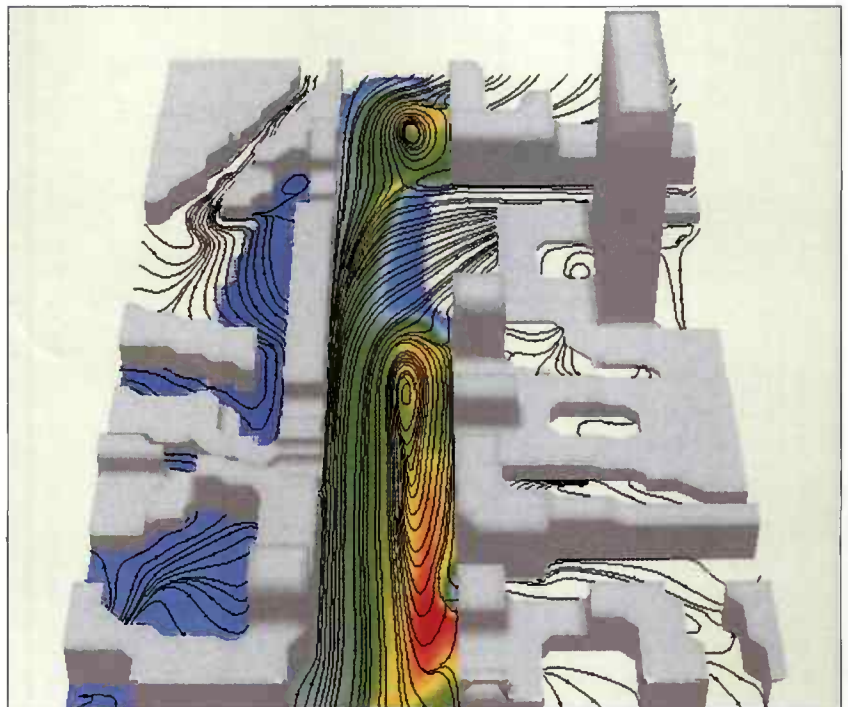
La solution de cette équation est obtenue en résolvant les équations de la mécanique des fluides (Navier Stokes), à savoir la conservation de la quantité de mouvement, de la masse, de l'énergie interne, les équations d'état et les réactions chimiques, dans les trois dimensions de l'espace.

Ce sont des modèles de petites et moyennes échelles (de la rue à l'agglomération) qui permettent de prendre en compte de façon suffisamment fiable la topographie, les obstacles (bâtiments, forêts...), la stratification thermique et la turbulence de l'atmosphère. C'est l'approche théorique la mieux adaptée aux problèmes de dispersion de la pollution sur un site urbain complexe.

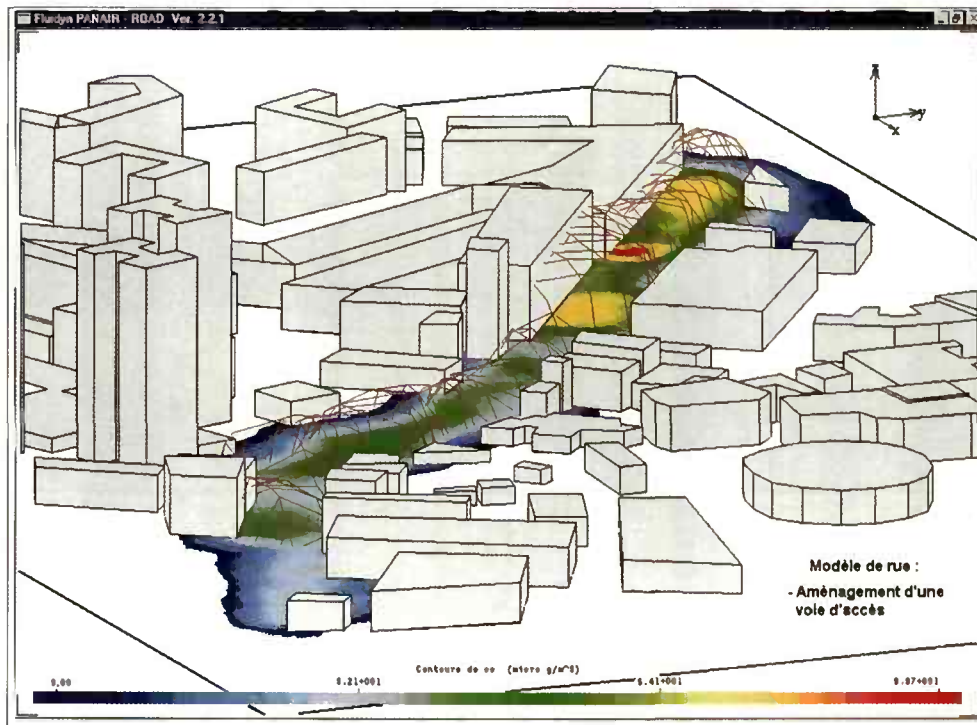
On trouvera ci-après trois exemples de modèle 3D avec une simulation du code Mercure d'Aria Technologies et deux du code Panair de Transoft International.



Source : Transoft



Source : ARIA technologie



Source: Tronsoft

8.4 Modélisation dans la bande d'étude

Modéliser les niveaux de pollution à l'intérieur de la bande d'étude du projet nécessite la connaissance de la pollution chronique. Il s'agit d'un élément important pour la simulation puisqu'elle vient se rajouter à la pollution générée par le projet étudié soit :

- le niveau de pollution dans la bande d'étude (avec projet) se calcule en additionnant la pollution chronique (sans projet) et la pollution générée par le projet.
- la pollution chronique (sans projet) englobe la pollution de fond (sans projet) et la pollution générée par d'autres sources localisées. Elle informe sur les niveaux de pollution existants dans la bande d'étude dont les sources se situent hors de la bande d'étude.

La connaissance du niveau de pollution de fond est indispensable pour la détermination des valeurs absolues de polluants dans la bande d'influence du projet étudié. Elle peut être quantifiée soit par une campagne de mesures spécifique, soit à partir de données enregistrées par les stations de surveillance fixes de la qualité de l'air (stations urbaines, périurbaines, rurales), soit à partir de travaux de cartographie de concentrations réalisés au niveau local, notamment dans le cadre des travaux préparatoires aux PRQA (Plans régionaux pour la qualité de l'air). Dans tous les cas, on veillera à ce que les données utilisées soient représentatives du site étudié (proximité géographique, climat similaire, taille de l'agglomération, densité de population...) et à les caractériser avec précision (niveau de pollution de fond ou niveau de pollution chronique).

Il est bien évident que la pollution de fond est facilement accessible pour définir une situation actuelle mais que, pour réaliser une modélisation

d'un état futur, il faudra se rapprocher du réseau de surveillance de la qualité de l'air local pour évaluer son évolution.

Rappel: Les valeurs données par les réseaux de mesure sont généralement calculées pour une température de 293 K (20°C) et une pression de 1013 hPa.

8.5 Comparaison avec les seuils réglementaires de concentration en polluants

La comparaison des résultats des modélisations avec les seuils réglementaires est une tâche assez ardue, compte tenu de la façon dont sont déterminés ces seuils et des possibilités des outils informatiques de simulation.

Les seuils réglementaires sont des moyennes statistiques sur une année complète de mesures, basées sur des données horaires ou journalières. Ils intègrent, par conséquent, des valeurs mesurées pendant des situations de bonne dispersion (niveaux faibles) et pendant des pics de pollution (niveaux élevés).

Il est très difficile de simuler correctement un pic de pollution, celui-ci dépendant non seulement des conditions générales (trafic, météo...) à l'instant du pic, mais aussi de leurs évolutions au cours des heures précédentes. Or, ces conditions sont caractérisées par une variabilité plus ou moins importante qu'il est difficile de modéliser pour plusieurs raisons :

- le temps nécessaire au logiciel pour stabiliser le champ de vent après modifications de ses caractéristiques
- une vitesse de vent inférieure à 1 m/s au moment du pic (les modèles déterministes deviennent pertinents pour des vitesses de vent supérieures à 1,5 m/s)
- le décalage entre le pic de trafic et le pic de pollution ne permet pas de simuler un pic en modélisant seulement une période de temps réduite (comme l'heure de pointe, par exemple).

La détermination des maxima de concentrations de polluants en vue de les comparer avec les seuils réglementaires peut s'avérer finalement beaucoup plus lourde et plus longue à réaliser que la simulation d'une situation moyenne.

Il apparaît donc nécessaire de disposer de coefficients de passage entre des valeurs moyennes et des valeurs tenant compte des phénomènes de pointe. Ces coefficients ont été obtenus après examen par le LR de Lille du Cete Nord-Picardie des résultats des mesures faites par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air sur les années 1994 et 1995.

Le passage des conditions moyennes aux valeurs horaires à comparer avec les normes de qualité de l'air (cf. 12.3.4) s'effectue comme suit (à utiliser avec précaution) :

- pour le CO :

$$C_{\text{moy } 8 \text{ h}} = 5 \times C_{\text{moy annuelle}} \text{ (intervalle de confiance 4.49 ; 5.55)}$$

$$C_{\text{moy } 1 \text{ h}} = 9.2 \times C_{\text{moy annuelle}} \text{ (intervalle de confiance 0.92 ; 0.94)}$$

$$C_{\text{max}} = 7.8 + 5.02 \times C_{\text{moy annuelle}}$$

- pour le NO₂ :

$$C_{\text{perc } 98} = 2.3 \times C_{\text{moy}} \text{ (intervalle de confiance 2.21 ; 2.32)}$$

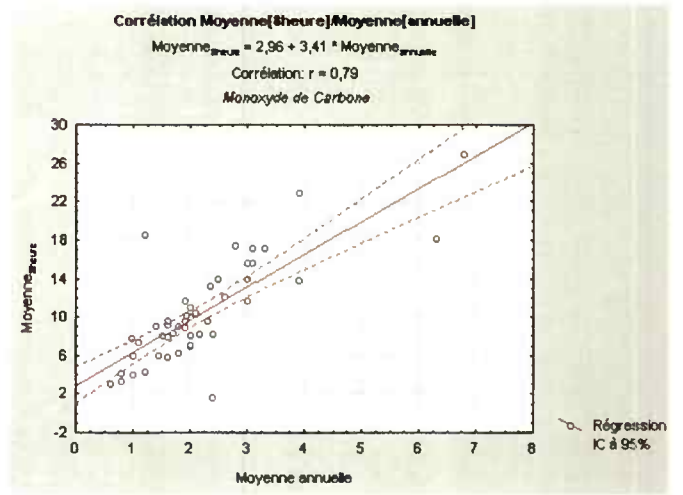
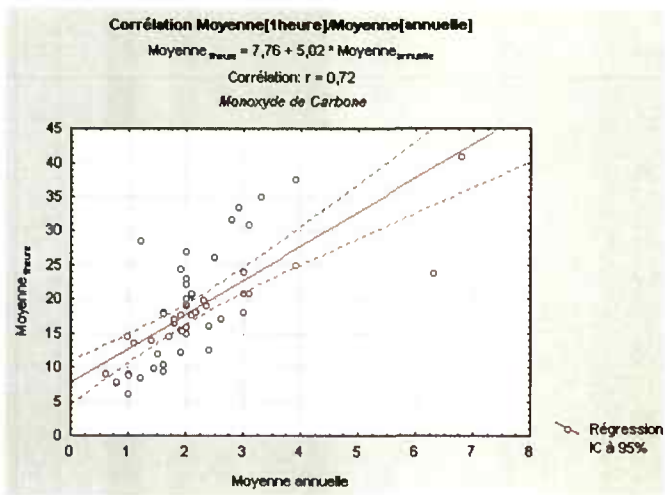
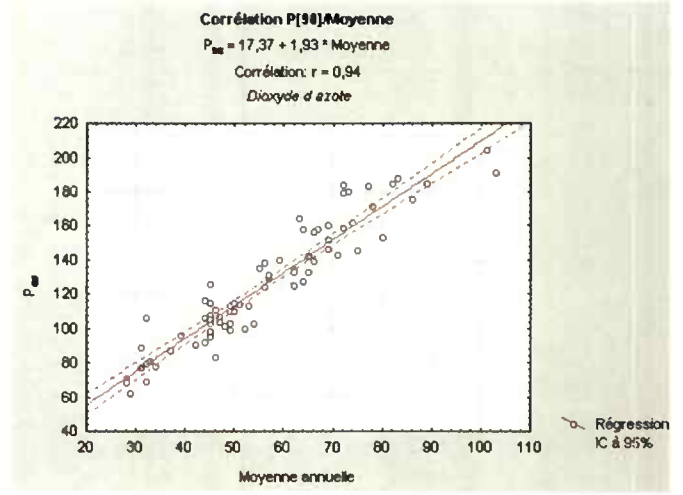
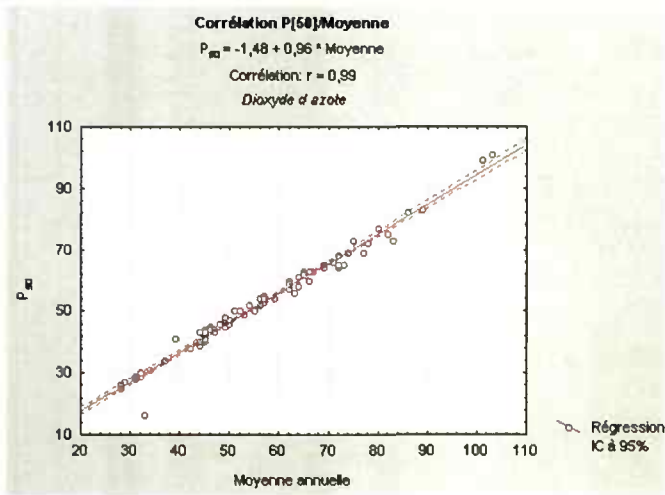
$$C_{\text{perc } 50} = 0.9 \times C_{\text{moy}} \text{ (intervalle de confiance 0.92 ; 0.94)}$$

$$C_{\text{max}} = 64.7 + 3.3 \times C_{\text{moy annuelle}}$$

Les unités utilisées sont le mg/m³ pour le CO et le µg/m³ pour le NO₂.

- pour les autres polluants (en particulier pour le benzène) : nous ne disposons pas de loi de passage de ce type à l'heure actuelle. Elles seront précisées ultérieurement.

On trouvera ci-après les courbes ayant permis l'obtention de ces résultats à partir **des mesures de proximité automobile** effectuées par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.



Source Cete Nord Picardie

8.6 Représentation cartographique des simulations

Pour chaque variante et chaque horizon étudié, les résultats d'une modélisation de la dispersion, pour un projet donné, sont souvent fournis sous la forme de cartes en couleur représentant les panaches pour chaque polluant. Aussi, n'est-il pas rare, pour le responsable du projet, de se retrouver avec plusieurs dizaines de cartes dont il sait qu'il ne pourra en utiliser que 4 ou 5, voire moins, pour le dossier d'étude d'impact. Il est donc nécessaire de réduire le nombre de cartes pour le dossier d'enquête publique tout en maintenant un niveau d'information du public satisfaisant.

La solution idéale serait de pouvoir utiliser un indicateur de la qualité de l'air qui permette d'agrèger les concentrations des différents polluants modélisés et qui soit représentatif de la pollution d'origine routière. À l'heure actuelle, nous ne disposons pas de cet indicateur. Nous sommes donc dans l'obligation de choisir un (ou plusieurs) polluant(s) représentatif(s) et d'intégrer, dans le dossier d'étude d'impact, les cartes qui s'y rapportent.

Le NO₂ est le polluant routier par excellence. Les résultats des modélisations de ce polluant sont à présenter systématiquement.

Le benzène, polluant récemment réglementé, présente des effets nocifs pour la santé humaine. Les modélisations seront à intégrer surtout pour les projets en milieu urbain où se combinent des zones de fortes émissions et de fortes densités de population.

Le CO est sans doute le polluant dont la concentration est déterminée le plus précisément par les modèles numériques; cependant, les concentrations rencontrées en bord de route sont très en-dessous des valeurs limites européennes. On n'exigera de cartographie de concentration de ce polluant que lorsqu'il y a

risque d'accumulation (têtes de tunnel, tranchées couvertes...).

La détermination des champs de concentration de SO₂ ne sera effectuée que si le tracé du projet se trouve à proximité d'une source importante de ce polluant.

Par conséquent, le polluant incontournable pour les dossiers d'étude d'impact est le dioxyde d'azote.

9. Les autres pollutions

9.1 La pollution photochimique

9.1.1 Généralités

La pollution photochimique désigne un mélange complexe de polluants formés chimiquement dans l'air, sous l'effet du rayonnement solaire de courte longueur d'onde, à partir de composés précurseurs émis par des sources naturelles et les activités humaines (oxydes d'azote, composés organiques volatils, monoxyde de carbone). Le principal polluant photochimique est l'ozone, gaz dont la production s'accompagne d'autres espèces aux propriétés acides ou oxydantes telles que des aldéhydes, des composés organiques nitrés, de l'acide nitrique, de l'eau oxygénée. Cette pollution riche en ozone est aussi parfois désignée par d'autres noms: smog photochimique, smog de Los Angeles, smog d'été, brouillard oxydant. Cet ozone s'accumule dans les basses couches de l'atmosphère.

■ Répartition de l'ozone dans l'atmosphère

Surtout présent dans la stratosphère, l'ozone résulte de l'action des ultraviolets sur l'oxygène moléculaire et présente une concentration maximale vers 25 km d'altitude. Par contre, dans la troposphère, domaine atmosphérique compris entre le sol et 7 à 12 km d'altitude environ, l'ozone présente d'autres caractéristiques:

- beaucoup moins abondant, il ne représente que 10% du stock d'ozone de toute l'atmosphère;
- dans les régions industrialisées, les niveaux peuvent atteindre en été des valeurs dix fois supérieures au bruit de fond naturel;
- le niveau de fond a plus que doublé depuis le début du siècle dans l'hémisphère nord, sous l'effet des activités humaines.

Dans le cadre de ce présent guide, seul l'ozone troposphérique sera abordé.

■ Origine de la pollution photochimique

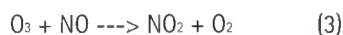
Elle résulte de la dissociation du dioxyde d'azote (NO₂) par le rayonnement ultraviolet, cette réaction étant la principale source d'oxygène atomique (O) dans la troposphère:



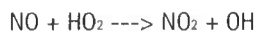
l'oxygène atomique se combinant à l'oxygène moléculaire (O₂) pour former l'ozone:



l'accumulation d'ozone étant limitée par sa réaction sur le monoxyde d'azote:



Ces réactions sont rapides et, à l'équilibre, la production d'ozone dépend du rapport NO₂/NO et de l'ensoleillement. Cette production demeure faible, mais elle est accrue par l'existence de processus additionnels, capables de régénérer du NO₂ sans passer par la réaction 3. Ceci est réalisé par la présence dans l'air d'espèces radicalaires telles que HO₂ et RO₂^{*}, puissants oxydants du NO en NO₂:



Ces radicaux proviennent de la dégradation des composés organiques volatils (COV) et du monoxyde de carbone (CO), sous l'effet d'un autre radical – le radical hydroxyle (OH) – lui-même formé à partir de l'ozone et de la vapeur d'eau sous l'effet des ultraviolets. Le PAN (PéroxyAcétylNitrate) est un composé typique de la pollution photochimique résultant de la présence de radicaux RO₂.

* HO₂ - radical hydroperoxyyle;
RO₂ - radical alkylperoxyyle.
Ces espèces chimiques dont les électrons périphériques sont non appariés sont très réactives et jouent un rôle primordial dans toute la chimie atmosphérique.

Le bilan d'ensemble est schématiquement le suivant :

COV + NO_x + CO + hν ---> ozone, PAN, aldéhydes, acide nitrique, eau oxygénée, etc.

Seul l'ozone est généralement mesuré en tant que traceur et indicateur de la pollution photochimique. Les niveaux de NO_x dans l'air ont, par ailleurs, une influence, surtout sur les quantités globales d'ozone formé, les COV agissant plutôt sur la vitesse des réactions.

Remarque :

Les relations présentées ci-dessus sont simplifiées ; le phénomène est beaucoup plus complexe et fait intervenir d'autres gaz émis par la circulation automobile et les autres sources d'émissions.

La simulation de ce phénomène complexe va donc s'avérer difficile. Toutefois ne pas parler de la photochimie dans le cadre de très grosses opérations routières, pourrait entraîner des problèmes lors de l'enquête d'utilité publique.

■ Une pollution complexe qui touche plutôt les zones rurales

Une caractéristique importante de cette chimie atmosphérique est son caractère non linéaire. La production d'ozone n'est pas proportionnelle aux teneurs initiales en précurseurs et, selon l'abondance relative des divers réactifs, ce sont des réactions de destruction ou de production d'ozone qui peuvent être favorisées :

- lorsque les NO_x sont très peu abondants (zones isolées et peu influencées par les activités humaines), l'augmentation des COV tend à diminuer la production d'ozone.
- lorsque les teneurs en NO_x sont plus importantes (cas habituel dans nos régions), l'augmentation des COV accroît la production d'ozone.
- lorsque les concentrations en oxydes d'azote,

notamment sous forme de NO, sont très élevées (cas des zones urbaines et à proximité des infrastructures routières), l'accumulation d'ozone est ralentie, notamment par l'action du NO en excès sur l'ozone formé (réaction 3).

Le trafic routier est une source importante de NO_x et de COV, mais l'ozone se forme loin de l'infrastructure lors du transport longue distance des masses d'air.

Ceci explique que la pollution photochimique se manifeste, de préférence, loin des sources d'émission de précurseurs. La pollution photochimique peut cependant toucher les agglomérations dans certaines conditions : situations anticycloniques prononcées, villes très étendues et ensoleillées (Mexico, Athènes, Los-Angeles, Marseille, etc.). De même, les zones ou les saisons peu ensoleillées peuvent être concernées (épisodes de pollution en Europe du Nord lors de l'hiver 1985 - 1986).

concentrations d'ozone (mg/m ³)				
zones	moyennes	max sur 1 h	max sur 8 h	max sur 24 h
isolées	20-60			
rurales/suburbaines	35-90	150-400	100-350	100-250
urbaines	20-60	100-350		50-200

Concentrations typiques d'ozone troposphérique relevées en Europe

■ Une pollution aux cycles journaliers et saisonniers

La pollution photochimique présente des cycles liés notamment aux variations journalières ou saisonnières de l'ensoleillement :

- cycles saisonniers : on observe généralement des minima en hiver et des pointes en été dans les régions influencées par les émissions anthropiques (smogs d'été) ;

- cycles journaliers: dans nos régions, en présence de précurseurs, donc en milieu urbain, l'ozone présente souvent un cycle caractérisé par des pointes de concentration en cours d'après-midi, et un minimum la nuit. Les niveaux sont moins fluctuants au cours de la journée en zones isolées et dans la troposphère libre (au-delà de 1000 m environ).

■ Les précurseurs de la pollution photochimique

Les précurseurs de la pollution photochimique proviennent d'émissions naturelles et humaines en proportions très variables selon les régions.

Les sources naturelles de précurseurs d'ozone jouent un rôle généralement marginal dans les épisodes de pollution photochimique des régions industrialisées. La réduction de la pollution photochimique ne peut donc être obtenue que par la diminution des précurseurs émis par les activités humaines. La complexité des processus photochimiques impose cependant l'emploi de modèles de simulation pour étudier correctement les relations entre émissions de précurseurs et production de polluants photochimiques. Ces modèles peuvent être utilisés pour des études locales ou à grande échelle et constituent des aides pour l'élaboration des scénarios de lutte contre la pollution photochimique. Ils servent à déterminer la contribution réelle du trafic routier à la pollution générale et à ses effets et à évaluer correctement les bénéfices à attendre des évolutions technologiques sur les moteurs et les carburants, ainsi que les actions à mener sur la gestion de trafic, au niveau national et régional, en vue de réduire les émissions de NOx et de COV (flux, localisation et conditions de circulation).

■ La modélisation physico-chimique de l'atmosphère

La mise en œuvre de ces modèles nécessite de disposer de données très détaillées sur la situation

météorologique et les émissions de précurseurs sur la zone étudiée. Ceci impose habituellement la réalisation de campagnes de mesures dotées de moyens importants (réseaux de mesures au sol, camionnettes laboratoires, mesures aéroportées, etc.) et en réduit l'usage courant. De plus les résultats d'une modélisation ne sont pas toujours transposables, car ils dépendent souvent de conditions régionales très spécifiques.

Des modèles sont en cours de développement et d'adaptation aux situations françaises dans le cadre du programme Primequal/Predit, mis en œuvre par le Mate et l'Ademe. Ces travaux s'accompagnent de la mise au point des cadastres d'émissions nécessaires à ces modèles (inventaires des rejets, heure par heure, sur des mailles de l'ordre du km²). Outre ces données, les modèles nécessitent des optimisations et des adaptations, pour être utilisés de manière opérationnelle, et doivent donner lieu à des campagnes de validation sur les régions où ils seront utilisés.

■ Quelques résultats

Actuellement, les modèles semblent montrer que l'on puisse distinguer trois types de situation en fonction du rapport en émission HCNM/NOx dans l'air (HCNM = COV autres que le méthane) qui induisent des politiques de prévention différentes:

- **rapport HCNM/NOx faible** (inférieur à 10 environ): la diminution des rejets de COV peut permettre d'abaisser les niveaux d'ozone plus efficacement que ne le ferait une diminution de même ampleur des rejets de NOx.

- **rapport HCNM/NOx élevé** (supérieur à 20 environ): la diminution des rejets d'oxydes d'azote semble dans ce cas plus efficace pour abaisser les niveaux d'ozone qu'une action de même ampleur sur les COV.

- **rapport HCNM/NOx compris entre 5 et 20 environ**: les COV et les NOx jouent un rôle complexe

de précurseur ou de consommateur d'ozone et les bénéfices à attendre des politiques de réduction des COV ou des NOx peuvent être plus délicats à appréhender.

Les zones urbaines et périurbaines sont généralement caractérisées par des valeurs faibles du rapport HCNM/NOx. Les modèles montrent qu'une baisse des émissions de NOx, si elle n'est pas accompagnée d'une baisse importante des COV, peut y accroître localement l'ozone, tout en contribuant néanmoins à diminuer la pollution photochimique à plus longue distance et en diminuant la composante azotée de la pollution oxydante (HNO₃, PAN...). Les modèles montrent aussi que la pollution urbaine résulte fréquemment de situations anticycloniques généralisées et demeure sous l'influence de transports longue distance d'ozone et de ses précurseurs. Ceci peut donc limiter l'efficacité des mesures de prévention prises au niveau d'une agglomération et impose des réductions des rejets à plus grande échelle.

9.1.2 Approche méthodologique

■ Approche simplifiée

En règle générale, les émissions des NOx et des COV (ou HC) dans la zone d'étude sont négligeables au regard des inventaires globaux relatifs à la pollution régionale. Dans les études d'environnement, il sera donc simplement spécifié, pour l'O₃, que les variations induites sont négligeables en regard des teneurs régionales constatées.

Le temps et le coût de la mise en œuvre d'une étude régionale sur ce problème ne cadrent pas, également, avec les budgets et les délais habituels d'une étude d'environnement et d'impact d'infrastructure.

■ Approche par simulation

Dans certains cas, il existe déjà localement des modèles photochimiques (calés ou en cours de calage) permettant d'étudier les tendances de la variation de la pollution photochimique (Île de France, Alsace, Grenoble...). On devrait assister, dans les prochaines années, à une couverture plus importante. Dans ces conditions, il devrait donc être possible d'étudier plus finement cette pollution pour les cas où il y aurait un bouleversement relativement important de la circulation automobile dans les grosses agglomérations.

9.1.3 Accords internationaux sur la réduction des gaz précurseurs

La France a signé des engagements internationaux sur les gaz précurseurs de l'ozone (oxydes d'azote et composés organiques volatils) en vue de diminuer la production d'ozone. Il s'agit de réduire les émissions :

- d'oxyde d'azote de 30% de 1986 à 1998 (protocole de Sofia en 1988)
- des composés organiques volatils de 30% de 1988 à 1999 (protocole de Genève en 1991)

En moyenne, en Europe, on estime que des baisses de l'ordre de 50% des émissions des COV et des NOx seraient nécessaires afin de diminuer l'ozone de fond de manière significative.

9.2 La pollution sensible

Le problème de la pollution de l'air par les transports est essentiellement abordé sous l'angle de ses effets sur la santé : effets à court ou à long terme de substances plus ou moins toxiques, généralement incolores et inodores aux concentrations habituelles, et dont la présence n'est pas directement perçue par les individus.

Mais la pollution de l'air peut se manifester également de façon directe par des fumées d'échappement, des

odeurs, une perte de transparence de l'air (brumes), les dépôts de poussière dans les logements ou le noircissement des façades et des monuments. C'est ce que l'on appelle la pollution sensible.

Cette pollution sensible ne constitue pas, en tant que telle, une atteinte à la santé publique, mais elle peut être considérée comme une véritable nuisance. On peut aussi dire que dans l'état actuel de sensibilisation des populations au problème, elle est la manifestation tangible d'une pollution dangereuse pour la santé et qu'elle peut être ressentie, au-delà de la nuisance, comme une véritable agression et entraîner des réactions d'oppression, de toux ou d'angoisse.

C'est surtout dans les conditions de circulation urbaine, et dans les espaces confinés, comme les rues ou les tunnels, que cette pollution sensible va se manifester. Les véhicules en cause sont essentiellement les poids lourds et transports en commun, les VL Diesel mal réglés et, d'une façon générale, tous les véhicules au démarrage moteur froid. On peut remarquer, à ce sujet, que les transports urbains ont souvent une mauvaise image dans l'opinion publique, du fait d'un parc quelquefois ancien, avec des passages d'autobus dégageant des nuages de fumée épaisse et malodorante. Un très grand effort doit être fait pour améliorer cette image et rendre crédible une politique de lutte contre la pollution basée sur l'usage des transports en commun.

À l'échelle d'une agglomération, cette pollution sera visible pendant les épisodes de stabilité atmosphérique, sous forme d'un nuage de brume visible de l'extérieur de la ville ou depuis les points hauts. Cette «chape» est constituée de l'ensemble des pollutions émises dans l'agglomération: industries, chauffage et transports.

Certaines formes de pollution sensible sont mesurables (turbidité de l'air...). D'autres, comme les odeurs, ne le sont pas encore (en voie de développement). Il

n'existe pas de seuils ou de recommandations pour les effets tels que gêne ou odeurs. Dans le cadre d'une étude d'impact, ces phénomènes ne pourront, à l'heure actuelle, être abordés que sous forme qualitative.

Page laissée blanche intentionnellement

T R O I S I È M E P A R T I E

Les effets.

**Identification, évaluation
et mesures de prévention**

10. État initial

10.1 Généralités

Dans une étude d'impact, l'analyse de l'état initial a pour objet :

- d'une part, de décrire la qualité environnementale de l'aire d'étude, à partir des données connues au moment de l'étude d'environnement, et les perspectives d'évolution jusqu'à la date de réalisation du projet,
- d'autre part, de fournir les éléments de référence qui serviront à évaluer les impacts du projet sur l'environnement.

Le recueil des éléments de référence doit donc être adapté à la teneur de l'étude des impacts, et aux outils d'analyse qui seront utilisés.

En ce qui concerne la pollution atmosphérique, et selon le degré de sensibilité de l'aire d'étude, l'analyse de l'état initial pourra reposer sur différentes données et sources d'information :

- PRQA et inventaires d'émission par sources
- PDU, DVA et PPA
- inventaires des émissions liées au trafic routier
- analyse des données de qualité de l'air des réseaux de surveillance quand ils existent
- campagnes de mesures in situ spécifiques
- concentrations déterminées par modélisation sur maquettes ou modèles informatiques
- indicateurs biologiques végétaux
- indicateurs sanitaires (ultérieurement lorsque la méthodologie «santé» sera bien établie
- population concernée.

On trouvera des précisions sur les différentes méthodes d'établissement et d'utilisation de ces jeux de données aux chapitres correspondants du présent guide :

- chapitre 7 : Inventaires d'émissions
- chapitre 8 : Modèles de diffusion
- chapitre 6 et annexe VI : Métrologie
- annexe IX sur les Sig.

Nous n'entrerons donc pas, ici, dans le détail, mais nous indiquerons succinctement comment ces méthodes peuvent s'inscrire dans l'établissement de l'état initial de l'étude d'impact.

10.2 Population concernée

L'état initial doit comporter un recensement des densités de population dans l'aire d'étude. Dans les cas les plus simples, on pourra se contenter d'une simple qualification par rapport au bâti existant. On se référera à l'annexe IX (relations avec les Sig) afin d'appréhender cette population dans l'aire d'étude. En tout état de cause, il sera nécessaire d'établir une discussion avec la représentation locale de l'Insee afin d'appréhender le niveau de renseignement qu'il est possible d'obtenir :

- des ratios nombre d'habitants/surface de bâti par type de bâti
- un recensement à l'ilot Insee, cet ilot pouvant être d'une taille trop importante pour le niveau de détail nécessaire
- des découpages plus fins des îlots Insee, quelquefois réalisés par les agences d'urbanisme...

10.3 Les indicateurs biologiques végétaux

Ils fournissent deux types d'informations :

- nécrose foliaire de végétaux sensibles (bio-indicateurs) à un ou plusieurs polluants, qui indique la présence de ces derniers et fournit une donnée très approximative sur la concentration,
 - dosage de la bio-accumulation, c'est-à-dire des polluants accumulés dans les végétaux.
- Essentiellement indicative, cette méthode peu onéreuse sera surtout utilisée soit pour montrer la qualité initiale d'un site, soit pour établir un zonage préliminaire à d'autres investigations. Elle ne permet pas d'obtenir des informations fiables, réutilisables en simulation.

10.4 Les indicateurs sanitaires

Le recueil des données sanitaires sur l'aire d'étude est une étape importante de l'étude «santé». Il conviendra de se rapprocher de la Drass concernée pour obtenir les indicateurs sanitaires. Actuellement ce recueil de données sanitaires nécessite un travail important et une variante (testée actuellement en Rhône-Alpes) consiste en l'utilisation des résumés de sortie anonymisés (parfois disponibles en Drass), pondérés par le poids relatif de la zone étudiée dans la zone d'attraction des différents hôpitaux concernés. Cet indicateur n'est actuellement pas nécessaire mais le sera lorsque les études «santé» auront été mises au point.

10.5 Les réseaux de surveillance

Dans les agglomérations où ils existent (cf. annexe XI), ces réseaux peuvent fournir un certain nombre de données, souvent recueillies depuis plusieurs années, sur la qualité de l'air, aussi bien en pollution de fond qu'en pollution de proximité : moyennes mensuelles, épisodes critiques, tendances d'évolution année par année...

Même si la densité des stations de mesure de ces réseaux est en général insuffisante pour qualifier avec précision l'aire d'étude du projet, on dispose de sources d'informations précieuses pour établir l'état initial. En outre, dans le cas où une campagne de mesures complémentaires s'avère nécessaire, les délais et les budgets d'étude obligent souvent à limiter les mesures à un ou deux polluants «traceurs», sur une période courte et non représentative de l'ensemble de l'année (météo, variations du trafic...). Les réseaux de mesures pourront alors, si certaines conditions sont remplies, fournir des références permettant de généraliser les résultats partiels d'une campagne limitée. Le département «air» de l'Ademe est également susceptible de fournir des éléments méthodologiques dans ce domaine.

10.6 Plans régionaux pour la qualité de l'air

Les PRQA, prévus par la loi sur l'air, doivent s'appuyer sur un inventaire des émissions de toutes natures et une évaluation de la qualité de l'air. Ils fixent, en outre, des objectifs de qualité spécifiques à certaines zones lorsque les nécessités de leur protection le justifient. Ils constitueront donc, dès que l'ensemble de ces données auront été recueillies, une source d'informations des plus utiles pour la description de l'état initial.

10.7 Inventaires d'émissions (cf. chapitre 7)

Les inventaires d'émissions ne peuvent constituer, à eux seuls, une donnée suffisante pour la connaissance de la qualité de l'air, mais ils peuvent être utiles soit dans le cadre d'une modélisation, soit pour constituer l'état initial qui permettra d'analyser l'effet de l'aménagement projeté sur les émissions de polluants et la consommation d'énergie.

L'inventaire devra porter sur l'ensemble des sources significatives sur la zone d'étude du projet.

Outre les sources mobiles, les éventuelles sources importantes en émission d'origine autre que le trafic devront également faire l'objet d'un inventaire succinct.

10.8 Campagnes de mesures in situ (cf. chapitre 6)

En l'absence de données suffisantes pour décrire l'état initial du site, on pourra avoir recours à des campagnes spécifiques de mesures. La nature de ces campagnes devra être bien adaptée aux enjeux de l'étude d'impact et aux méthodes de prévision des effets sur la qualité de l'air. Les choix devront porter sur la nature des polluants mesurés, les méthodes de mesure et la durée de la campagne.

Les NO_x sont caractéristiques de la pollution émise par le trafic routier et constituent un bon traceur de la qualité de l'air ; on lancera éventuellement une simple campagne par tubes passifs NO₂. Si l'on ne dispose pas de station de mesures permanentes pouvant servir de référence à proximité du ou des axes étudiés, il conviendra de renouveler ces mesures sur 2 périodes de l'année, au minimum, de manière à couvrir au mieux différentes situations représentatives des variations saisonnières du trafic et de la météorologie.

Dans des cas complexes, par exemple sortie de tunnel ou station de ventilation en milieu urbain déjà très pollué, on pourra envisager une campagne beaucoup plus complète, portant sur plusieurs polluants, et avec des appareils de mesure permettant de suivre les évolutions au cours de la journée (données horaires ou 1/4 horaires).

On rappellera que, dans le cadre d'un très gros projet, on peut être amené à mettre en œuvre de manière définitive des capteurs de pollution de proximité (en liaison avec le réseau local de surveillance de la qualité de l'air). Cette instrumentation permettra de faire le point sur l'état initial et, ultérieurement, de faire un bilan chiffré sur le plan de la qualité de l'air, dans le cadre du bilan environnemental effectué après l'ouverture (intermédiaire, un an après l'ouverture, et définitif, 3 à 5 ans après la mise en service).

Dans le cas où la pollution des sols s'avérerait être un critère significatif de l'étude, on ne manquera pas de faire porter également l'étude de l'état initial sur ce critère.

On trouvera, page suivante, un exemple de quadrillage par 57 tubes NO₂, permettant de réaliser un état initial sur le plan de la pollution atmosphérique sur des communes à proximité immédiate d'un tronçon autoroutier.

10.9 Modélisation (cf. chapitre 8)

La modélisation, que ce soit par maquettes ou par modèles informatiques, permet de déterminer des isoconcentrations de polluants à proximité des axes de circulation. Il s'agit de méthodes lourdes auxquelles on aura cependant recours en cas de trafic important couplé à des configurations topographiques complexes. C'est un domaine où les connaissances et les outils évoluent très rapidement ; il sera donc toujours utile de contacter des spécialistes pour examiner au cas par cas l'opportunité de recourir à une telle méthode.

11. L'indice d'exposition de la population

L'exposition, dans sa définition généralement employée par les spécialistes sanitaires, est une étape qui vise à évaluer la dose totale en polluant absorbée par un individu pendant une période de référence (jour, année, vie) prenant en compte toutes ses activités (domicile, trajet, travail, loisirs...) et, donc, les concentrations différentes en polluant et les variations rencontrées. La méthode classiquement utilisée dans les études épidémiologiques est d'étudier les effets à court terme, à partir des mesures réalisées par les réseaux de surveillance de la qualité et, plus particulièrement, par les stations urbaines de fond.

Pour l'étude d'un projet routier, dont l'implantation peut être très diverse, l'aire englobera très rarement le périmètre d'une agglomération disposant d'un réseau avec un nombre de stations suffisant pour que le niveau de pollution soit représentatif de la zone du projet. De plus, pour pouvoir évaluer cette exposition à un horizon futur, après la mise en service du projet, nous serions obligés de mettre en place une modélisation trafic - émissions - concentrations à l'aide de modèles de diffusion nécessairement très évolués (surtout en milieu urbanisé).

Or, ce schéma est associé préférentiellement aux études de niveau I. Dans le cas d'étude de moindre importance, la non-connaissance des concentrations exactes des polluants dans l'air ambiant ne permet pas d'apprécier avec vraisemblance les doses absorbées par la population riveraine et donc les risques sanitaires relatifs correspondants.

Ainsi, en attendant l'établissement de méthodes plus applicables et plus pertinentes, issues de la recherche, le présent document propose l'élaboration d'un indice polluant/population (IPP). Cet indicateur permettra la comparaison des différentes variantes entre elles et entre la solution retenue et l'état de référence avec un critère basé non seulement sur les émissions, mais aussi sur la répartition spatiale de la population demeurant à proximité des voies de circulation.

Cet outil est proposé et doit être utilisé comme une aide à la comparaison de situation et, en aucun cas, comme le reflet d'une exposition absolue de la population à la pollution atmosphérique globale.

La démarche proposée comprend 3 points :

- la définition du domaine d'étude
- le choix des polluants indicateurs
- la mise en place de l'indicateur.

11.1 Domaine d'étude

Dans le chapitre 2 de ce guide, nous définissons 2 niveaux pour la zone géographique d'étude : l'aire d'étude et la bande d'étude.

Pour l'exposition de la population, nous avons choisi de nous limiter, pour l'instant, à l'influence de proximité des infrastructures. Par conséquent, le domaine d'étude à retenir est la bande d'étude, définie autour de l'ensemble des tronçons routiers subissant une variation de trafic significative (au moins + ou - 10%). La largeur de la bande à prendre en compte, en fonction de la charge de trafic, est définie dans le chapitre 2.

11.2 Choix des polluants indicateurs

Les polluants retenus dans les études épidémiologiques pour les effets à court terme et pour lesquels nous avons une relation dose - réponse, sont généralement au nombre de quatre : les particules (mesurées selon la méthode des fumées noires), le dioxyde de soufre (SO_2), le dioxyde d'azote (NO_2) et l'ozone (O_3).

Dans les études d'impact des projets routiers, il ne nous sera pas possible, dans la très grande majorité des cas, de tenir compte de l'ozone aux horizons futurs. Pour les autres polluants, nous manquons de données quant à leur évolution en fonction de la distance à la voie et quant à leur hiérarchisation. Par

conséquent, dans un premier temps, nous nous contenterons de faire cette évaluation sur les oxydes d'azote NOx.

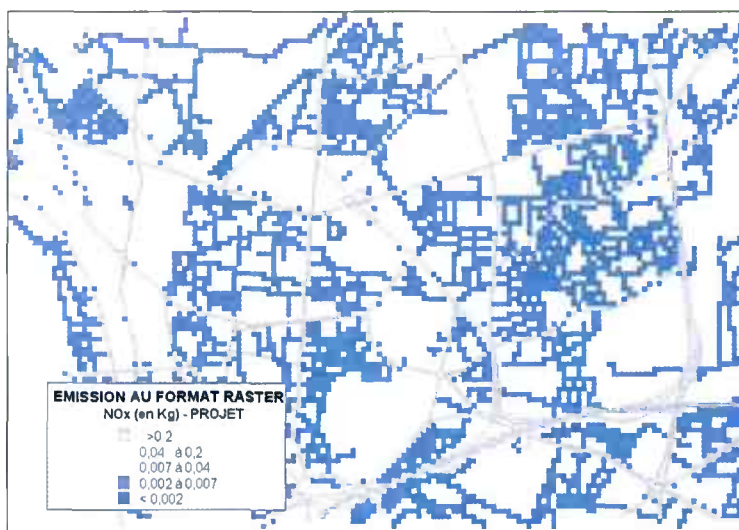
11.3 Mise en place de l'indice pollution/population (IPP)

11.3.1 Construction d'un cadastre d'émission

Une fois l'ensemble des émissions linéaires en provenance des infrastructures routières calculées, il est possible de générer un cadastre d'émissions en «rastérisant» ces émissions linéiques. L'aire d'étude, comme définie au chapitre 2, est carroyée avec une maille de dimension fixe (de 50 à 200 m suivant la surface de l'étude). Sur chaque maille, on calcule la somme des émissions présentes issues des différentes infrastructures présentes dans la maille (on pourra y adjoindre éventuellement les émissions ponctuelles industrielles si elles sont traitées dans l'étude). Bien entendu, on ne retiendra, pour chaque source linéique, que l'émission calculée au prorata de la longueur du tronçon dans la maille par rapport à la longueur totale du tronçon.

Remarque :

Afin de tenir compte des conditions aux limites influençant principalement les bords de notre domaine d'études, il conviendra de définir une zone géographique plus importante que celle réellement exploitée dans le cadre de l'étude de l'indice pollution/population.



Source : Certu - Cartes n° 2314 B au 1/25 000 © IGN - Paris 1991 autorisation n° 50-0165

11.3.2 Construction du cadastre d'émissions influencé par le vent (CEIV)

Afin de tenir compte de l'influence du vent sur la dispersion en polluants (en l'occurrence, les NOx), un modèle gaussien simple sera appliqué à chaque maille considérée comme une «source ponctuelle».

Il est bien évident que cette méthode de diffusion n'est pleinement valable que dans quelques cas d'infrastructures en rase campagne et qu'elle ne prétend aucunement être exacte dans un contexte urbain ou semi-urbain. C'est la raison pour laquelle il n'est pas fait référence à un cadastre de concentration mais bien à un CEIV.

La diffusion des polluants atmosphériques est fortement dépendante des conditions météorologiques, en particulier la direction et la vitesse du vent. La circulaire 98-36 du 17/2/98 du Mate préconise la prise en compte des situations moyennes ainsi que des plus défavorables.

On distinguera donc, si possible, les cas suivants :

● si les seules données météorologiques disponibles sont les indications de la rose des vents, on appliquera les *méthodologies simplifiées* ci-après :

- situation moyenne : on appliquera la rose des vents dans son intégralité sur le réseau estimé en TMJA. Cela nécessitera donc la répétition de la modélisation pour 54 cas (18 directions, 3 classes de vitesse) et la réalisation d'un CEIV contenant la somme de chaque contribution pondérée par sa fréquence d'occurrence.

- situation la plus défavorable : on prendra la direction la plus fréquente pour les faibles vents croisée avec le réseau estimé en $uvp_{\text{heure de pointe}}$

● s'il est possible d'obtenir une extraction des données météorologiques Météo France, on utilisera les *méthodologies détaillées* ci-après :

- situation moyenne : on appliquera l'ensemble de la chronologie annuelle (en données trihoraires) sur le réseau dont le trafic aura été subdivisé pour suivre la même chronologie, (cf. *Nota 1*). Le CEIV sera donc la somme simple de ces 2 920 calculs. L'utilisation de cette méthode lourde ne sera à préconiser que dans le cas de très gros projets sensibles sur le plan de la pollution atmosphérique et de la santé.

- situation la plus défavorable : on appliquera l'ensemble de la chronologie annuelle (pour les données trihoraires concernant l'heure de pointe) sur un réseau exprimé en $uvp_{\text{heure de pointe}}$. Le CEIV sera le somme simple de ces 365 calculs.

Nota 1 : le passage $uvp \longleftrightarrow$ TMJA se fera à l'aide de courbes de trafic moyennes, pour l'ensemble du réseau étudié, ou plus précisément par type de voie (autoroutes et axes structurants, RN/RD, voies urbaines...). Ce travail sera également nécessaire pour le découpage des trafics en données trihoraires, à appliquer pour les situations moyennes détaillées.

Nota 2 : la méthodologie simplifiée est fortement réductrice, les événements de trafic et météorologiques étant totalement indépendants.

Nota 3 : la méthodologie détaillée ne prend pas en compte la différenciation jours ouvrés/jours fériés et jours de vacances. Cette précision supplémentaire nécessite une évaluation complète du trafic pour ces périodes, évaluation absente dans la majorité des études de trafic.

Les autres paramètres à prendre en compte pour le modèle gaussien sont :

● la classe de Pasquill : elle sera déterminée suivant les mesures météorologiques disponibles ou, par défaut, à C. Pasquill a proposé une description en 6 classes notées de A à F, d'une atmosphère très instable (forte diffusion turbulente) à une atmosphère très stable (présence éventuelle d'inversions de température).

$U_{10\text{ m}}$	CLASSE		$\Delta T \text{ } ^\circ\text{C}/100\text{m}$
<3 m/s	A	très instable	< -1.9
	B	instable	-1.9 à -1.7
4-5 m/s	C	faiblement instable	-1.7 à -1.5
>6 m/s	D	neutre	-1.5 à -0.5
4-5 m/s	E	faiblement stable	-0.5 à 1.5
<3 m/s	F	stable	1.5 à 4.0
	G	très stable	> 4.0

Classes de dispersion d'après Pasquill

● la hauteur de prise en compte du vent : dans la majorité des cas, elle sera égale à 10 m (hauteur de la mesure en station météo). Pour les autres cas, elle pourra être calculée à l'aide de la formulation suivante :

$$U_{(h)} = U_{(10)} (h/10)^m$$

où m est un exposant fonction de l'état de stabilité de l'atmosphère

comme indiqué ci-après :

Stabilité	A	B	C	D	E	F
m	0.07	0.09	0.11	0.16	0.36	0.54

Valeur du coefficient m en fonction de la stabilité

La formule de dispersion de l'équation gaussienne s'écrit :

$$C(x,y,z) = [1000 Q / 3.6 \pi \cdot \sigma_y \cdot \sigma_z \cdot |U|] \exp[-0.5 (y/\sigma_y)^2 - 0.5 (z/\sigma_z)^2]$$

avec

$C(x,y,z)$: coefficient représentatif de la concentration en un point de coordonnées x, y, z ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)

Q: débit d'émission de NOx en g/h

σ_y, σ_z : écarts types de la concentration spatiale dont la formulation mathématique et les valeurs des coefficients sont indiquées dans le tableau ci-après (en fonction de la distance x par rapport à l'axe) et différenciées suivant la stabilité de l'atmosphère (d'après Pasquill-Gifford)

U: vitesse du vent en m/s.

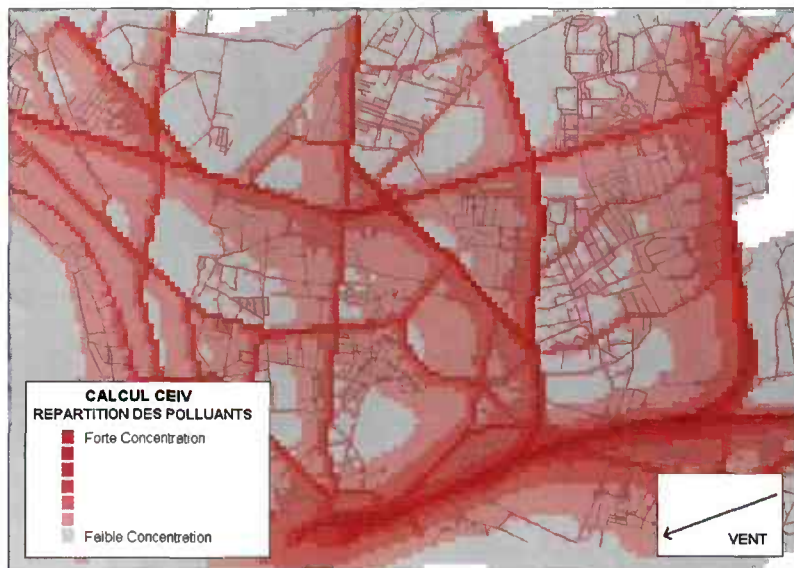
$$\sigma_y(x) = k_1 x / [1 + (x/k_2)]^{k_3}$$

$$\sigma_z(x) = k_4 x / [1 + (x/k_2)]^{k_5}$$

Les valeurs des différents coefficients k_1, k_2, k_3, k_4 et k_5 sont données dans le tableau ci-après (Gifford - 1976):

Classe de stabilité	k1	k2	k3	k4	k5
A	0.250	927	0.189	0.1020	- 1.918
B	0.202	370	0.162	0.0962	- 0.101
C	0.134	283	0.134	0.0722	0.102
D	0.0787	707	0.135	0.0475	0.465
E	0.0566	1.070	0.137	0.0335	0.624
F	0.0370	1.170	0.134	0.0220	0.700

On trouvera ci-après un exemple de CEIV:



Source: Certu - Carte n° 2314 B au 1/25 000 © IGN - Paris 1991 autorisation n° 50-0165

11.3.3 Construction d'une base population

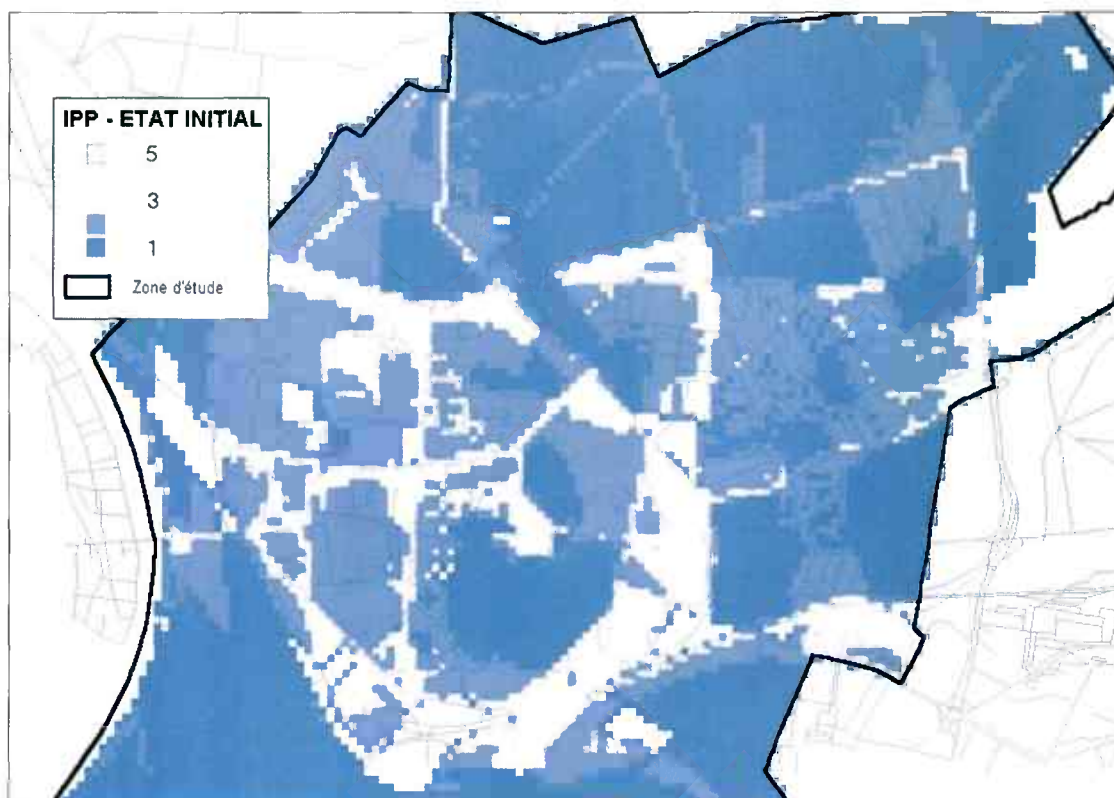
Le territoire de l'aire d'étude devra être découpé suivant des zones d'habitat homogène avec estimation de la densité de population. Cette partie fort délicate peut être réalisée par:

- l'exploitation des données Insee (cf annexe IX Relations avec les Sig) donnant la population à l'îlot
- l'exploitation de photographies aériennes
- l'exploitation de l'occupation des sols suivant le recensement Corine Landcover géré par l'Ifen (données européennes)
- le découpage arbitraire de zones de population homogène sur une carte au 1/25 000° et attributions de densités forfaitaires (si celles-ci sont motivées).

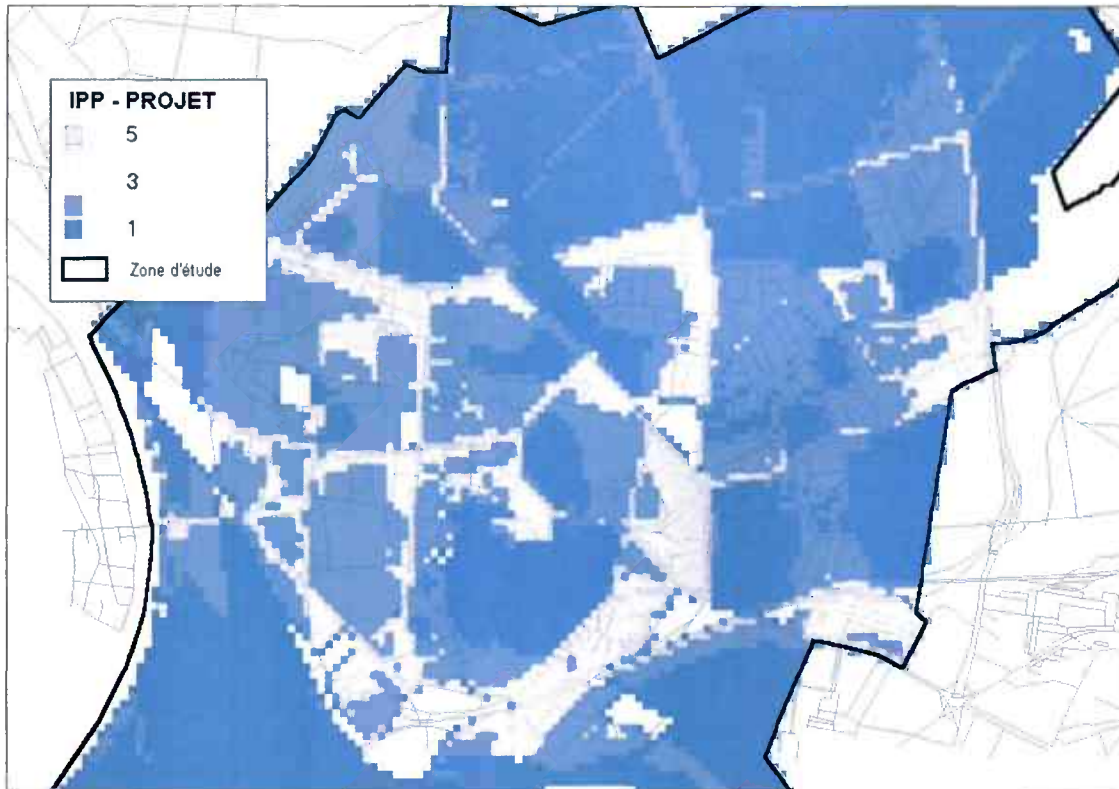
Pour les zones à habitat différencié (inscrites au Pos), il conviendra de les prendre en considération et d'effectuer une estimation forfaitaire à partir d'indications moyennes et du type d'habitat sur les îlots avoisinants.

11.3.4 Élaboration de l'IPP

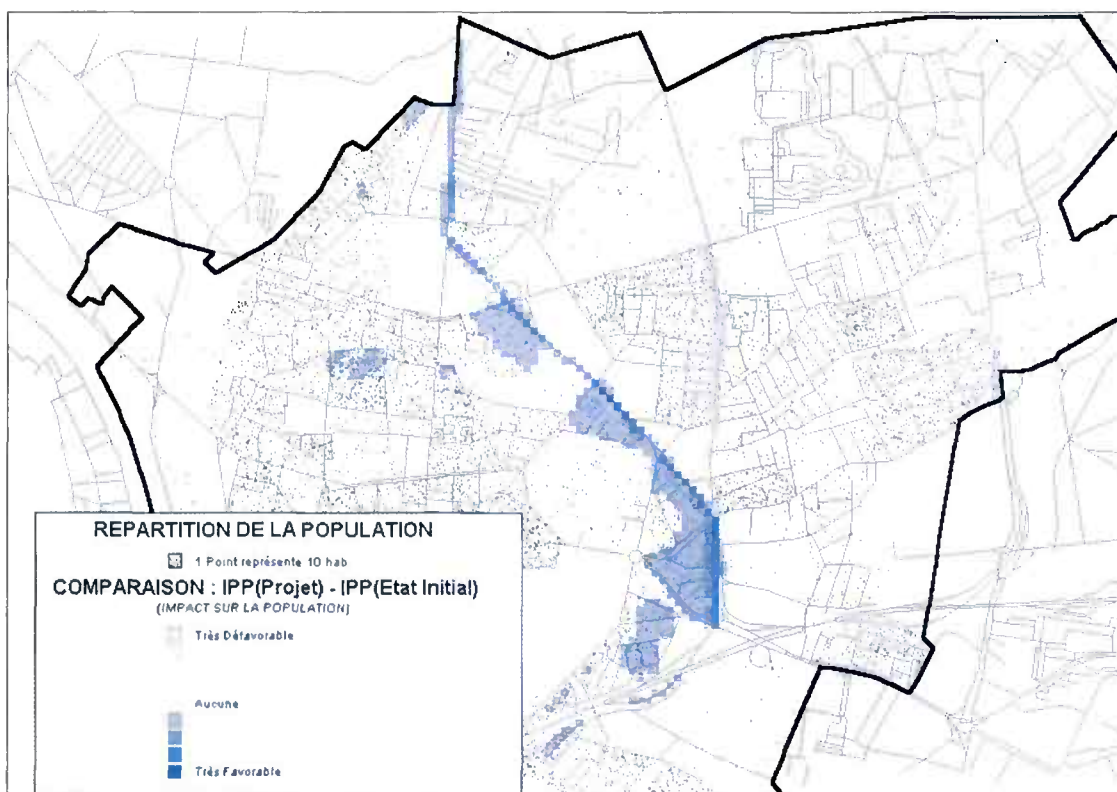
L'IPP est construit de la façon suivante : à chaque maille du CEIV est associée la population demeurant sur la surface de la dite maille. On obtient ainsi un tableau qui comprend, pour chaque maille, une population associée à une donnée d'émissions influencée par le vent. On détermine ensuite un histogramme de distribution par classes de valeurs d'émissions influencées par le vent (EIV), en additionnant, pour chaque plage entre 2 valeurs d'EIV (les bornes de la plage), l'ensemble des populations associées à cette plage. On obtient alors une distribution qui peut ressembler à l'exemple ci-dessous :



Source: Certu - Carte n° 2314 B au 1/25 000 © IGN - Paris
1991 autorisation n° 50-0165

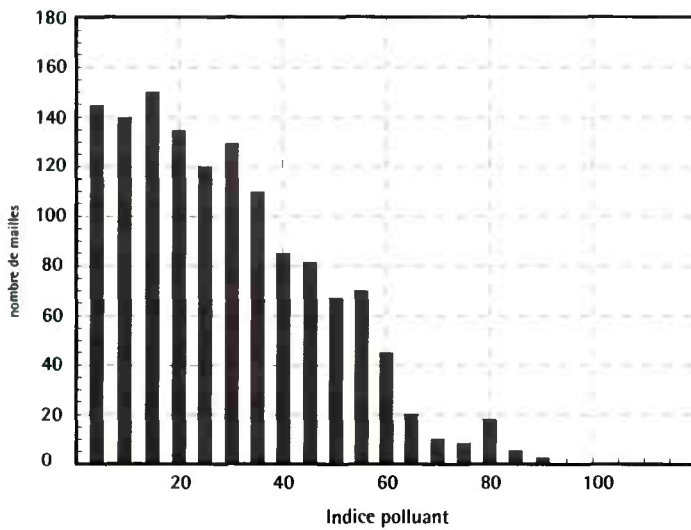


Source: Certu - Carte n° 2314 B au 1/25 000 © IGN - Paris
1991 autorisation n° 50-0165



Source: Certu - Carte n° 2314 B au 1/25 000 © IGN - Paris
1991 autorisation n° 50-0165

Répartition des expositions



Source : Cete Nord Picardie

Cette distribution de l'IPP permet d'appréhender les différences d'exposition suivant les différentes variantes, la solution retenue et l'état de référence. Comme les effets sanitaires de la pollution sont proportionnels, en première approximation, aux concentrations, l'IPP est donc bien représentatif de la santé des populations exposées à la pollution d'origine automobile. En calculant l'aire de l'histogramme population - EIV, nous arriverons à un indicateur global (propre à chacun des tracés étudiés) bien représentatif des conséquences sur un bilan «santé» global des populations exposées. En cas de fortes différences (> 20 à 30%) entre les indicateurs globaux propres à chaque tracé, il peut être raisonnablement admis que la solution à plus faible coefficient est la meilleure sur le plan de la santé. Lorsque les différences seront plus faibles, les bilans «santé» peuvent être considérés comme équivalents. L'état de la connaissance médicale ne permet pas en effet de répondre actuellement à la question suivante avec suffisamment de certitude : vaut-il mieux privilégier une solution avec une population importante exposée à de faibles niveaux (ou moyens) plutôt qu'une solution avec une

population faible (ou moyenne) soumise à une forte concentration ?

Pour les tracés neufs, il convient de rappeler que cette méthodologie n'a véritablement de sens que si l'on prend réellement en compte l'urbanisation future introduite par la nouvelle infrastructure. Ce point est, d'ailleurs, l'un des points délicats de la méthode. Il doit être traité dès le début des études, en liaison avec les spécialistes de trafic qui doivent théoriquement prendre en compte cette future urbanisation lorsqu'ils mettent au point le modèle de trafic en milieu urbain ou péri-urbain.

Effets sur la santé 12.

12.1 Généralités sur l'influence de la pollution d'origine automobile sur la santé (extrait du rapport SFSP: La pollution atmosphérique et la santé publique)

Des études de plus en plus nombreuses mettent en évidence les effets de la pollution urbaine sur la santé. La mortalité, générale ou par cause (respiratoire globale, par asthme, par bronchite chronique), ainsi que différents indicateurs d'activité sanitaire ont été corrélés avec les niveaux de pollution (comparaisons dans le temps) ou avec des environnements diversement pollués (comparaisons dans l'espace). Deux synthèses récentes (Momas - 1993, Quénel - 1993) font le point sur les études publiées sur ces sujets au cours des années 80. Elles seront largement utilisées ci-dessous, puis complétées par les nombreuses études publiées à partir de 1990.

12.1.1 Effets à court terme

Historiquement, la mortalité a été la plus étudiée. Dès les années 50, le rôle des épisodes aigus de pollution atmosphérique sur la mortalité (en particulier celle liée à la pathologie respiratoire et cardio-vasculaire) a pu être démontré. Nous nous intéresserons ici aux études plus récentes, qui tentent de quantifier la relation pollution/mortalité au moyen de l'analyse des «séries chronologiques». Ces études ont été effectuées dans des pays aussi divers que les États-Unis, la France, la Grèce, la Pologne, le Royaume-Uni et l'Allemagne. Les indicateurs de pollution sont classiquement le SO₂, les fumées noires, les particules, les oxydes d'azote, les oxydants, plus rarement le CO. Il ne s'agit donc pas forcément de pollution d'origine automobile (pour le SO₂, particulièrement, qui est plutôt un indicateur de pollution industrielle et de chauffage). Ces indicateurs ont été le mieux enregistrés historiquement, ils permettent donc de bonnes analyses rétrospectives. Il ressort de l'analyse de toutes ces études que la

pollution atmosphérique de «fond», mesurée par les réseaux de surveillance, est statistiquement associée à la mortalité, même pour des niveaux faibles de fumées noires ou de SO₂, ce qui pourrait plaider pour une absence de seuil d'innocuité. Les causes de mortalité significativement associées à la pollution atmosphérique urbaine sont respiratoires et cardio-vasculaires.

Dockery et Pope concluent, après une revue des travaux conduits aux États-Unis, qu'une augmentation de 10 µg/m³ de niveaux moyens journaliers de particules (PM10, PS, COH ou FN) est associée à une augmentation de l'ordre de 1% de la mortalité totale non accidentelle, de 3,4% de la mortalité pour causes respiratoires et de 1,4% de la mortalité cardio-vasculaire (Dockery et Pope - 1993). Dans une méta-analyse publiée en 1994, Schwartz montre qu'une augmentation de 100 µg/m³ des particules totales en suspension est liée à une hausse de 6% de la mortalité totale non accidentelle (intervalle de confiance à 95% du RR = 1,05 à 1,07). Il montre que ce risque relatif est constant d'une ville à l'autre quel que soit le climat, et est indépendant des variations saisonnières (Schwartz - 1994).

En Allemagne (Spix - 1993), le passage de la teneur en particules observée les 18 jours les moins pollués de l'année (P5) à la valeur dépassée les 18 jours les plus pollués de l'année (P 95) est associé à une augmentation de 22% de la mortalité non accidentelle (10% pour SO₂). À Athènes, Touloumi met en évidence une liaison entre SO₂, les fumées et CO et la mortalité toutes causes, avec une pente pour la relation dose - réponse plus importante aux faibles teneurs. La relation observée n'est pas expliquée par les conditions climatiques associées, ni par les variations saisonnières. Une réduction de 10% des fumées noires (les moyennes journalières sont de 83 µg/m³) est liée à une réduction de la mortalité de 0,75% (Touloumi - 1994). Les effets de SO₂ et des fumées sont indépendants. L'enquête Erpurs (Medina - 1994), analysant rétrospectivement les années 1987 à 1992 pour l'Île de France, met en

évidence une augmentation du nombre journalier de décès en relation avec un accroissement des niveaux de particules, de SO₂, d'O₃, et dans une moindre mesure de NO₂. Par rapport aux 18 jours les moins pollués de l'année (P 05), le nombre de décès journalier (toutes causes) augmente, pour les 18 jours les plus pollués de l'année (P 95), de 3 à 6% selon l'indicateur. Pour une augmentation de 100 µg/m³ par rapport aux 18 jours les moins pollués, il augmente de 5 à 7% selon les indicateurs (6,2% pour les particules PM 13, 6,0% pour O₃). La mortalité pour causes respiratoires est fortement liée aux particules en suspension (elle augmente de 16,8% pour une augmentation de 100 µg/m³ des PM 13, particules en suspension de moins de 13 µm de diamètre). L'analyse prend en compte la météorologie (température et humidité), les épidémies de grippe, les comptes polliniques journaliers et les variations saisonnières de la mortalité.

L'ensemble de ces résultats présente une grande homogénéité. Ils sont confirmés par une récente étude européenne qui fournit des valeurs très comparables pour la mortalité générale (Katsouyanni - 1996, en préparation) et la mortalité pour causes respiratoires et cardio-vasculaires (Zmirou - 1996, en préparation). On peut retenir que, dans les pays développés, après élimination des effets propres de la température et de l'humidité, la mortalité journalière générale est significativement corrélée aux polluants habituellement mesurés par les réseaux de surveillance des villes. L'augmentation de la mortalité journalière (toutes causes) pourrait être de l'ordre de 6% pour une augmentation de 100 µg/m³ des particules en suspension mesurées par les réseaux. La mortalité pour cause respiratoire et cardio-vasculaire est particulièrement concernée (Quénel - 1995). Les sujets les plus atteints sont les personnes âgées et les personnes présentant des affections respiratoires et cardio-vasculaires (Schwartz - 1994). Leur décès est précipité d'une durée évaluée à quelques semaines. Les relations entre pollution atmosphérique urbaine et morbidité ont également été observées par des

études épidémiologiques. De plus on étudie à présent des indicateurs de morbidité dite «étendue», comme les indicateurs d'activité du système de soins. Dans cette approche, il s'agit moins de s'intéresser à la notion de présence/absence d'une pathologie qu'à son retentissement sur la vie quotidienne, ce qui renvoie au concept d'incapacité ou à son impact sur l'activité sanitaire et la consommation de soins. On attend de ces indicateurs une sensibilité accrue en ce qui concerne la mesure des effets de la pollution sur la santé. La pollution est ici aussi mesurée par des réseaux de capteurs: c'est la pollution urbaine de «fond».

L'analyse (Quénel - 1993) de 24 études, publiées entre 1980 et 1990 à partir de sources de données hospitalières, montre une relation entre la pollution atmosphérique et l'activité des services de soins hospitaliers. La plupart des auteurs trouvent une association entre l'activité hospitalière liée à la pathologie respiratoire et la pollution acido-particulaire pour des niveaux moyens journaliers de SO₂ inférieurs à 100 µg/m³ et des niveaux de particules autour de 100 à 150 µg/m³. La pollution semble agir à la fois sur les formes aiguës et chroniques de la pathologie respiratoire. Les résultats concernant les consultations ou admissions pour asthme et bronchospasme indiquent un effet plus spécifique de la pollution particulaire. L'activité hospitalière liée à la pathologie cardio-vasculaire est associée aux pollutions acido-particulaire et oxycarbonée. Schwartz, en Alabama, met en évidence une liaison entre les hospitalisations des personnes de plus de 65 ans pour une cause pulmonaire et les particules (Pm 10), entre 1986 et 1989 (Schwartz - 1994). Pour une augmentation de 100 µg/m³ de moyenne journalière en particules, le risque relatif est de 1,19 (intervalle de confiance à 95%: 1,07 - 1,32) pour les pneumonies, et 1,27 (1,08 - 1,50) pour les pneumopathies obstructives chroniques. Ces résultats résistent à différentes méthodes de contrôle des variables relatives à la saison ou à la météorologie, ainsi qu'à l'exclusion des jours particulièrement

chauds ou froids. L'ensemble des études publiées aux États-Unis sur le rôle des particules a été synthétisé, montrant une grande cohérence des résultats (Dockery et Pope - 1993). La récente étude européenne Aphea confirme les observations sur le recours aux urgences hospitalières pour affections respiratoires en liaison avec la pollution de l'air (Spix - 1996, en préparation).

L'enquête Erpurs (Medina - 1994), analysant rétrospectivement les années 1987 à 1992 pour l'Île-de-France, met en évidence, avec un décalage variant entre 0 et 2 jours, une augmentation des hospitalisations pour causes respiratoires, en lien avec SO_2 , NO_2 et O_3 . Les manifestations sont plus importantes chez les personnes âgées hospitalisées pour broncho-pneumopathies chroniques obstructives en liaison avec les teneurs d'ozone (lorsque les niveaux « moyens » d'ozone sont atteints, à savoir $20 \mu g/m^3$ de moyenne sur 8 heures, ces hospitalisations augmentent de 3% par rapport aux jours les moins pollués de l'année, P 05); elles augmentent respectivement de 14,5 et 19% pour des valeurs de 81 et $103 \mu g/m^3$). Il en est de même pour l'asthme chez les adultes, en lien avec NO_2 (lorsque les niveaux « moyens » de NO_2 sont atteints, à savoir $43 \mu g/m^3$ de moyenne journalière, les hospitalisations pour asthme augmentent de 3,4%, de 9,4% pour $78 \mu g/m^3$ et de 17,4% pour $143 \mu g/m^3$). Les hospitalisations pour asthme, chez les enfants, sont, elles, corrélées avec les teneurs en SO_2 . L'augmentation des hospitalisations pour causes cardio-vasculaires est essentiellement en relation avec l'accroissement de la pollution acido-particulaire et, à un moindre degré, avec NO_2 . Lorsque les niveaux « moyens » de pollution sont atteints ($46 \mu g/m^3$ de moyenne journalière pour les PM 13, $23 \mu g/m^3$ de SO_2 ou $38 \mu g/m^3$ de NO_2 de moyenne journalière), on observe une augmentation des hospitalisations pour myocardopathies ischémiques respectivement de 3,5%, 4,5% et 2,4%, par rapport aux niveaux observés pendant les 18 jours les moins pollués de l'année (P 05). Cette hausse varie entre 4,6 et 9,5% pour des niveaux de pollution dépassés

au cours des 18 jours de plus forte pollution de l'année (P 95).

Pollution urbaine et santé à court terme: un bilan provisoire.

Les études présentées ci-dessus mettent en évidence une liaison à court terme forte et incontestable entre l'évolution du niveau de pollution de fond mesuré par les réseaux et la santé. Le fait que l'on étudie une même population (exposée à différents niveaux de pollution) permet de s'affranchir des habituels facteurs de confusion liés au mode de vie des personnes (tabac, professions, pollutions domestiques...), ceux-ci gardant en principe une distribution constante dans le temps. On ne peut cependant pas accuser formellement tel ou tel polluant, ni telle ou telle source, ne disposant que de quelques indicateurs parmi tous les polluants présents dans l'atmosphère des villes. Les corrélations entre les variations de la pollution atmosphérique urbaine et celles de la santé à court terme sont particulièrement constantes, même pour les faibles teneurs, en toutes saisons (c'est-à-dire, même en l'absence de chauffage), et indépendamment des variables météorologiques (température, humidité). La pathologie respiratoire, à caractère allergique ou infectieux, est particulièrement concernée, surtout chez les enfants et les personnes âgées.

L'avancée des connaissances a été très importante dans ce domaine depuis douze ans, notamment en raison des progrès méthodologiques en épidémiologie, permettant une quantification des effets observés, même lorsqu'ils sont faibles. L'importance de ces résultats, en terme de santé publique, tient au fait qu'ils concernent de grandes populations urbaines au sein desquelles, même pour des niveaux modestes de pollution, le nombre d'événements de santé attribuables à la pollution est élevé.

12.1.2 Pathologie respiratoire et exposition au long cours

L'influence de l'exposition au long cours à la pollution urbaine est, bien sûr, difficile à mettre en évidence en raison du problème de la mesure (ou de l'évaluation) de l'exposition sur une longue période, car celle-ci est très variable.

Chez les adventistes californiens (non fumeurs), l'incidence des maladies obstructives des voies aériennes, des bronchites chroniques et de l'asthme est significativement augmentée (risques relatifs respectifs de 1,36, de 1,33 et 1,74) pour les personnes ayant été exposées plus de 1000 heures à plus de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de particules totales (TSP). L'exposition est ici reconstituée pour chaque personne selon son passé résidentiel des dix années précédentes, à partir des données des réseaux de surveillance de la qualité de l'air (Abbey - 1991). L'asthme et la bronchite chronique semblent également liés à l'exposition cumulée à l'ozone, mais l'enquête manque de puissance pour que cela soit significatif.

En Italie, Viegi et ses collaborateurs ont effectué la comparaison des prévalences de symptômes respiratoires entre une zone rurale et trois zones urbaines, dont deux dans lesquelles la pollution atmosphérique est essentiellement attribuée au trafic automobile (Viegi - 1991). Dans ces deux zones, les rhinites et symptômes de nature asthmatique sont plus fréquents qu'en zone rurale. Après prise en compte de l'âge, du tabagisme, du terrain familial respiratoire et allergique, des expositions professionnelles et domestiques, du niveau d'éducation, il s'avère que la toux, les symptômes asthmatiques, la dyspnée et les rhinites sont significativement plus fréquents dans les zones polluées par le trafic qu'en zone rurale, avec des risques relatifs compris entre 1,2 et 2,0 suivant le symptôme et la zone. Ils sont encore plus importants (1,7 à 4,0) pour la troisième zone urbaine qui est polluée à la fois par le trafic et

par des industries. Il s'agit ici d'une comparaison géographique (populations vivant dans des zones différentes), étudiant des symptômes déjà mis en évidence comme effets à court terme de la pollution. Il s'ajoute, ici, une notion de chronicité.

Une importante étude publiée aux États-Unis a montré que les particules fines ($<2,5\mu$) étaient le meilleur indicateur de qualité de l'air associé à la survie à 15 ans d'une vaste cohorte de 8000 adultes résidant dans six villes américaines. La différence de survie entre les villes la plus et la moins polluée est de 26% (intervalle de confiance 95% entre 8 et 47%) (Dockery - 1993). Des résultats comparables avaient été observés en Pologne (Krzyzanowski - 1982) et, surtout, ont été confirmés, plus récemment, par une étude rétrospective, sur sept ans, des populations de 151 villes américaines totalisant 552 000 habitants (Pope - 1995).

12.1.3 Cancers

Une première indication, quoique sommaire, de l'impact du mode de vie urbain sur le cancer a été donnée par Howe, qui a mis en évidence une croissance des taux d'incidence des cancers de l'œsophage, du foie, du poumon, du sein et du col utérin, de la prostate, du système nerveux des lymphomes non hodgkiniens et de tous les cancers combinés, avec la densité de population des différents comtés de l'Illinois, aux États-Unis (comté de dernière résidence), indépendamment de la race et du sexe (Howe - 1993).

Une revue de la littérature sur les apports de l'épidémiologie dans le risque cancérigène de la pollution atmosphérique urbaine générale porte sur sept études de cohorte et treize études cas-témoins (Hemminki - 1994). À l'exception d'une étude, toutes prennent en compte le tabagisme. Les études de cohorte ont été effectuées aux États-Unis (3), en Suède (2), Finlande (1) et Grande Bretagne (1). Les risques relatifs de décès par cancer du poumon sont

de l'ordre de 1,3 à 1,5 dans les villes, comparées aux zones rurales (une étude de Doll et Peto fait exception en ne mettant en évidence aucun sur-risque dans les villes anglaises). Les résultats concernant l'impact de la qualité de l'air sont surtout observés chez les fumeurs, le nombre trop faible des non-fumeurs décédés d'un cancer du poumon n'ayant pas permis d'examiner valablement les différences urbain/rural.

Pour les études cas-témoins, certains facteurs de confusion supplémentaires, comme les antécédents professionnels, ont pu être pris en compte. Un risque augmenté de mort par cancer du poumon a été observé chez les hommes des villes dans trois études anglaises, ainsi qu'en Grèce, Pologne, Chine et au Japon. Deux études montrent aussi un tel effet aux États-Unis, tandis que deux autres n'en trouvent pas. L'augmentation du risque s'observe principalement chez les fumeurs. Pour les femmes, l'interprétation du risque est délicate en raison des faibles effectifs. Cependant, au moins une étude montre une augmentation du risque de cancer du poumon chez les femmes et les non-fumeurs. Le risque est du même ordre que celui mis en évidence dans les études de cohorte.

Chez les adventistes californiens (non fumeurs), l'incidence des cancers (tous cancers) est significativement augmentée chez les femmes pour une exposition cumulée de plus de 1000 heures à plus de 200 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de particules. Les cancers du poumon sont plus fréquents pour de fortes expositions (particules et/ou ozone), avec une association à la limite de la significativité (Abbey - 94).

Ces différentes études ne permettent pas vraiment de trancher quant au type d'interaction entre tabac et pollution urbaine, pour le risque de cancer du poumon. Les différences urbain/rural, pour le cancer du poumon, sont soit plus prononcées, soit trouvées uniquement chez les fumeurs. Par exemple, une

étude dans l'Utah montre des taux augmentés en ville uniquement chez les non-mormons (ceux-ci étant non-fumeurs). Cependant une tendance existe chez les adventistes. Une interaction positive entre tabac et pollution urbaine est donc suggérée par ces résultats.

Dans ces études sur l'effet à long terme de la pollution urbaine, l'imprécision de la connaissance de l'exposition des personnes n'a pas encore permis de fournir des résultats tranchés. De nombreuses différences existent entre les modes de vie urbains et ruraux, au rang desquelles figure l'exposition à la pollution d'origine automobile, mais aussi des différences dans l'usage du tabac, dans les expositions professionnelles et domestiques. Ces facteurs de confusion pourraient jouer dans les deux sens. En l'état actuel des données, le risque de cancer du poumon, ajusté sur la consommation de tabac, est environ 1,5 fois plus élevé en milieu urbain qu'en milieu rural. Dans les études s'intéressant à un autre facteur de risque (expositions professionnelles, champs magnétiques) le lieu de résidence est habituellement pris en compte comme facteur de confusion potentiel, ce qui révèle que les auteurs admettent aujourd'hui que la pollution urbaine peut être un facteur de risque pour les cancers.

12.1.4 Conclusion

Le fait d'habiter dans une zone urbaine semble de plus en plus nettement constituer, au long cours, un facteur de risque pour les maladies respiratoires chroniques, les cancers du poumon ou d'autres localisations cancéreuses. À court terme, les variations au jour le jour de la pollution urbaine de fond s'accompagnent de variations parallèles, avec un léger décalage, de la mortalité et de l'incidence de pathologies (surtout respiratoires) à caractère irritatif, allergique ou infectieux.

L'épidémiologie ne permet pas, en toute rigueur, d'attribuer ces effets à l'un ou l'autre des constituants de cette pollution (même si certains indicateurs de pollution sont nettement mieux associés à ces effets que d'autres). Cependant, elle confirme les connaissances acquises en toxicologie expérimentale ainsi que les hypothèses basées sur l'analyse de la composition chimique des effluents et polluants secondaires d'origine automobile. En effet, le rôle irritant des particules et des oxydants ainsi que les propriétés mutagènes et/ou cancérogènes de certains composants de cette pollution se voient confortés par l'observation épidémiologique.

12.2 Méthodologie générale sur la prise en compte de la santé dans les études d'environnement

Les délais impartis pour la rédaction de ce guide n'ont pas permis d'élaborer un document consensuel pour l'ensemble de la communauté scientifique française dans le domaine de la santé publique. Un groupe de travail du Réseau national de santé publique (nouvellement dénommé Institut de veille sanitaire) a élaboré, à la demande de la direction générale de la Santé, un guide de référence à l'intention des services déconcentrés des ministères, sur le Volet Sanitaire des Études d'Impact, sorti début 2000. Ce guide a été officialisé par la circulaire du Ministre de l'Emploi et de la Solidarité par la circulaire DGS/VS3 N° 61 du 3 février 2000. Il sera indispensable de se référer à ce document qui fixe le cadre général des études sanitaires, étant entendu que l'application de ce guide aux études sanitaires des infrastructures routières sera entreprise prochainement.

12.3 Objectifs de qualité et valeurs limites de qualité de l'air

12.3.1 Valeurs européennes

a - SO₂, NO₂, plomb et poussières

Polluant(s)	Paramètre statistique considéré	Valeur limite en µg/m ³	Valeur guide en µg/m ³
Dioxyde de soufre (SO ₂) et particules fines en suspension (FN ou PS)	percentile 98 des teneurs journalières en SO ₂ sur l'année tropique	250 si teneur en fumées noires supérieures à 150 350 si teneur en fumées noires inférieures à 150	
	percentile 98 des teneurs journalières en FN sur l'année tropique	250	
	médiane des teneurs journalières de SO ₂ sur l'année tropique	80 si médiane des teneurs en FN supérieures à 40 120 si médiane des teneurs en FN inférieure à 40	
	médiane des teneurs journalières en FN sur l'année tropique	80	
	médiane des teneurs journalières de SO ₂ sur la période hivernale (octobre à mars)	130 si médiane des teneurs en FN supérieure à 60 180 si médiane des teneurs en FN inférieure à 60 sur la même période	
	médiane des teneurs journalières en FN sur la période hivernale (octobre à mars)	130	
	moyenne arithmétique des teneurs journalières en SO ₂ et en FN relevées pendant l'année tropique		40 à 60
	teneurs maximales journalières en SO ₂ et FN relevées pendant l'année tropique		100 à 150
Plomb	moyenne des teneurs journalières sur l'année civile	2	
Dioxyde d'azote (NO ₂)	percentile 98 des teneurs horaires sur l'année civile	200	135
	médiane des teneurs moyennes horaires sur l'année civile		50

(Année tropique = 1^{er} avril au 31 mars)

Percentile 98 pour le SO₂ = 98% des valeurs moyennes quotidiennes calculées sur l'année tropique doivent être inférieures à la valeur limite et tendre vers la valeur guide.

Percentile 98 pour le NO₂ = 98% des valeurs moyennes quotidiennes par heure calculées sur l'année civile doivent être inférieures à la valeur limite et tendre vers la valeur guide.

Médiane = percentile 50

b - ozone

Polluant	Paramètre statistique considéré	Critère retenu	Valeur en $\mu\text{g}/\text{m}^3$
OZONE	Valeur moyenne sur 8 heures (moyenne mobile sans recouvrement)	Seuil pour la protection de la santé	110
	Valeur moyenne sur une heure	Seuil pour la protection de la végétation	200
	Valeur moyenne sur 24 heures	Seuil pour la protection de la végétation	65
	Valeur moyenne sur une heure	Seuil pour l'information de la population	180
	Valeur moyenne sur une heure	Seuil d'alerte à la population	360

c - évolution des valeurs

Au plan européen, les polluants réglementés ainsi que les valeurs limites sont actuellement en pleine refonte.

Les évolutions et tendances actuelles sont les suivantes:

- pour le NO_2 , la valeur est de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3/\text{h}$ avec possibilité de dépassement (50% autorisé 8 h/an en l'an 2000). En l'an 2010, aucun dépassement ne serait autorisé et la décroissance se ferait linéairement entre 2001 et 2010.
- pour le CO, la valeur limite proposée serait de $10 \text{mg}/\text{m}^3$ à l'horizon 2005 en moyenne 8 h, avec un dépassement de $6 \text{mg}/\text{m}^3$ en 2005.
- pour le C_6H_6 , $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur l'année avec un dépassement de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ diminuant de 2006 à 2010 pour atteindre 0% en 2010.
- pour les PM10, la valeur limite journalière serait de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser plus de 35 fois par an; le dépassement autorisé serait de 50% en 2001 diminuant à partir de 2003 pour atteindre 0% en 2005.
- pour l' O_3 , le seuil d'information serait de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$ alors que le seuil d'alerte serait fixé à $240 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les nouvelles valeurs pour le NO_2 , le CO, le C_6H_6 et les PM 10 viennent d'être adoptées en 1999 et 2000. Pour l' O_3 : la valeur annoncée est toujours au stade de projet d'une directive.

12.3.2 Recommandations de l'OMS

INDICATEUR DE POLLUTION	Unité	Durée de la mesure					
		10-15 mn	30 mn	1 heure	8 heures	24 heures	1 an
Dioxyde de soufre SO ₂	µg/m ³	500 (500) I		350		(125) I	(50) I
Particules totales en suspension (PTS)	µg/m ³					120	
Dioxyde de soufre (SO ₂) et Fumées Noires (FN)	µg/m ³					125 125	50 50
Monoxyde de carbone (CO)	mg/m ³	100 (100) I	60 (60) I	30 (30) I	10 (10) I		
Dioxyde d'azote (NO ₂)	µg/m ³			400 (200) I		150	(40) I
Ozone (O ₃)	µg/m ³			150-200	100-120 (120) I		
Plomb (Pb)	µg/m ³						0,5-1
Formaldéhyde (HCHO)	µg/m ³		100				
Toluène (CH ₃ C ₆ H ₅)	µg/m ³					7500	
O ₃ protection végétation	µg/m ³			200		65	60 (saison végétation)
NO ₂ protection végétation	µg/m ³			95 sur 4 heures			30

() = proposition de valeur 1996 non encore officialisée

Les valeurs présentées ci-dessus sont valables pour des polluants pris isolément et pour des effets autres que cancer, odeur et gêne.

12.3.3 Valeurs françaises (décret 98 – 360 du 6/5/98)

a - dioxyde d'azote

- objectif de qualité :

percentile 50: 50 µg/m³

percentile 98: 135 µg/m³

seuil d'alerte: 400 µg/m³ en moyenne horaire

valeur limite: percentile 98: 200 µg/m³

b - particules fines et particules en suspension

- objectif de qualité :

moyenne annuelle (fumées noires) 40 à 60 µg/m³

valeur moyenne quotidienne 100 à 150 µg/m³

moyenne annuelle (PM10) 30 µg/m³

- valeurs limites (fumées noires)
- percentile 50: $80 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- percentile 50 hiver: $130 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- percentile 98: $250 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (ne doit pas être dépassé plus de 3 jours de suite)

c - plomb

- objectif de qualité: $0.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- valeur limite: $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$

d - dioxyde de soufre

- objectif de qualité:
- moyenne annuelle: 40 à $60 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- moyenne journalière: 100 à $150 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- seuil d'alerte: $600 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- valeurs limites (associées avec les particules): se référer au décret

e - ozone

- objectif de qualité: $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ sur 8 h consécutives
- seuil d'alerte: $360 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en valeur horaire

f - monoxyde de carbone:

- objectif de qualité: $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 h

g - benzène:

- objectif de qualité: $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle

- comparaison du percentile 50 par rapport à l'objectif de qualité ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

c - benzène

Il semble actuellement difficile de comparer pour le benzène, la valeur corrigée du résultat de simulation à la moyenne annuelle (objectif de qualité) de $2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ dans la mesure où, actuellement, nous ne disposons pas de coefficient de passage entre notre résultat (valeur horaire donnée par la simulation) et la valeur moyenne annuelle. À signaler que le Conseil supérieur d'hygiène publique de France a retenu la valeur de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme valeur limite pour le benzène, en valeur moyenne annuelle. Ce point sera revu ultérieurement. L'OMS ne nous renseigne pas, non plus, sur les valeurs horaires maximales (limite proposée valable sur une vie entière).

12.3.4 Conclusions

a - monoxyde carbone:

On retiendra la valeur OMS sur 1 heure de $30 \text{mg}/\text{m}^3$, la valeur française sur 8 h étant d'utilisation difficile. Cette valeur sur 1 h a été acceptée par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France.

b - dioxyde d'azote:

On retiendra les valeurs françaises suivantes:

- valeur maximale de $400 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- comparaison du percentile 98 par rapport à l'objectif de qualité ($135 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et à la valeur limite de $200 \mu\text{g}/\text{m}^3$,

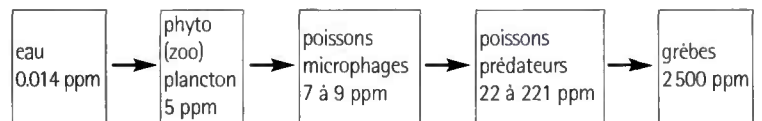
Effets sur la flore, la faune et les sols 13.

Dans le domaine des infrastructures routières inter-urbaines, nous savons que 65% des micropolluants émis par le trafic routier se dispersent autour de la route et sont susceptibles de contaminer aussi bien les cultures que la faune, directement ou indirectement à travers l'alimentation. En effet, les impacts de la pollution de l'air liée aux infrastructures sur les écosystèmes et les ressources biologiques peuvent être abordés au travers de deux types d'exposition aux polluants :

- directe par l'air,
- indirecte résultant des possibilités de transfert des polluants via les milieux (eau, sol), la faune ou la flore, le long des chaînes alimentaires, éventuellement jusqu'à l'homme. Au sein d'une biocénose, on distingue trois catégories d'organismes, définies à partir des fonctions écologiques qu'ils remplissent : les producteurs primaires (végétaux), capables de synthétiser de la matière organique à partir d'éléments minéraux, les consommateurs (herbivores, carnivores, détritivores), qui ne peuvent vivre qu'aux dépens de la matière organique fabriquée par les précédents, et les décomposeurs, qui assurent la transformation de la matière organique morte en éléments minéraux. Ces trois catégories d'organismes dépendent étroitement les unes des autres, et la représentation, sous forme linéaire, des relations alimentaires existant entre eux constitue une chaîne trophique ou chaîne alimentaire.

Ainsi, la contamination des divers milieux par les agents polluants va se traduire par leur transfert dans les êtres vivants. La grande persistance de composés non dégradables contaminants dans les écosystèmes va alors favoriser leur passage dans les communautés végétales puis animales, c'est-à-dire dans l'ensemble des réseaux trophiques de chaque biocénose. Un des exemples célèbres de transfert et de bioamplification d'un agent polluant dans une chaîne alimentaire est celui du lac Clear en Californie. Ce lac fut traité au DDD, un insecticide voisin du DDT, à plusieurs reprises, entre 1949 et 1957, dans le but

d'éliminer un petit moucheron dont la pullulation incommodait les baigneurs. Le DDD s'accumula dans le réseau trophique lacustre (facteur de concentration de 178 500) ; en conséquence, il ne subsistait plus, à la fin des années cinquante, qu'une trentaine de couples de grèbes sur le lac Clear, pour la plupart stériles, alors que la population initiale s'élevait à plus de 3 000 oiseaux.



Cet exemple illustre bien le problème de la chaîne alimentaire que l'on est en droit de se poser vis-à-vis de la pollution atmosphérique à proximité d'infrastructure de transports et ce surtout en regard des métaux lourds émis par les véhicules, les équipements (glissières de sécurité...) et l'entretien (salage...).

La série d'études financée par le Setra, en partenariat avec le ministère de l'Aménagement du territoire et de l'Environnement (Mate), le BRGM et l'Ademe, visant à caractériser la signature d'une infrastructure routière en interurbain, permet d'ores et déjà d'avoir un ordre d'idée sur la pollution de proximité, les premiers résultats étant intégrés ci-après. Pour l'urbain, actuellement, la connaissance est relativement faible et c'est un sujet de recherche bibliographique entrepris par le Certu.

13.1 Généralités : actions sur la flore

Depuis le début du siècle et jusqu'aux années 80, l'effet de la pollution atmosphérique sur la végétation était essentiellement lié à de fortes concentrations de SO₂, en provenance de l'industrie et du chauffage, et se caractérisait par un fort impact : nécroses foliaires, mortalité d'espèces sensibles, disparition des lichens en ville.

Depuis les années 80, on assiste à une forte diminution des concentrations de SO₂ dans l'atmosphère, mais les végétaux se trouvent exposés à une nouvelle agression, du fait de l'importante augmentation de la pollution due aux transports.

La pollution atmosphérique a deux actions sur la flore :

- une action en proximité des infrastructures routières,
- une action plus globale loin des sources ponctuelles telles la perte de rendement des cultures céréalières (via l'ozone) ou l'action via l'accroissement de l'effet de serre.

Les polluants primaires, CO, NO_x, COV et poussières, sont peu phytotoxiques. Les atteintes aux végétaux sont dues essentiellement à la transformation en polluants secondaires :

- phénomène des pluies acides : dépôts humides, constitués de polluants transformés et dissous dans l'eau de pluie, et dépôts secs, constitués de polluants primaires et secondaires gazeux ou adsorbés sur des particules,
- mais surtout, lors des périodes chaudes, formation d'ozone beaucoup plus phytotoxique.

En milieu urbain, les concentrations en polluants secondaires sont faibles ; il y a donc peu d'effets sur la végétation en ville, où les problèmes sont surtout liés au salage en régions froides, et à la sécheresse du fait de l'imperméabilisation des sols. Des atteintes liées à l'ozone peuvent apparaître en banlieue.

En milieu interurbain, les polluants (principalement l'ozone) se répartissent sur un large territoire ; les faibles concentrations se traduisent par un impact encore limité à l'heure actuelle, mais les réactions de défense des végétaux entraînent une baisse de vitalité, et donc de rendement pour les exploitations agricoles et forestières. Dans le sud de la France, les concentrations plus fortes d'ozone semblent avoir maintenant des effets visibles sur les espèces

sensibles (marbrures sur les aiguilles de pins). Des effets localisés peuvent se produire à proximité immédiate des grandes infrastructures (métaux lourds, pollution des sols).

Pour l'avenir, les effets de la pollution atmosphérique sur les végétaux devraient prendre une forme nouvelle à l'échelle planétaire, sous l'influence du CO₂, des composés azotés et de l'ammoniac, ainsi que du réchauffement dû à l'effet de serre (cf. chap. 15 Effets globaux). C'est la physiologie même des végétaux qui s'en trouvera modifiée, avec, notamment, une accélération et une augmentation de la croissance des arbres (effets combinés).

13.1.1 Effets globaux des polluants sur les plantes : altération de la physiologie

La pollution gazeuse pénètre dans les plantes par l'intermédiaire de petits orifices situés sur les feuilles, les stomates. La plante réagit à ce stress oxydatif par la fermeture des stomates et la mise en œuvre d'enzymes. Après absorption, les polluants entraînent des perturbations au niveau d'un grand nombre de processus physiologiques cellulaires et la plante réagit en mettant en place des processus de rétablissement. Les dommages apparaissent si la plante ne peut pas réparer ou compenser les dysfonctionnements cellulaires. À fortes doses, ils peuvent devenir irréversibles, et provoquer des mortalités cellulaires et l'apparition de nécroses foliaires.

La sensibilité à chaque polluant varie selon les espèces végétales et en fonction de facteurs abiotiques (température, humidité, lumière...) et biotiques (maladies, parasites, génotypes, âge...) qui modifient la physiologie du végétal et sa réponse à un polluant donné.

Tous les polluants n'ont pas la même phytotoxicité : O₃ est plus toxique que SO₂, lui-même plus toxique que NO₂. Les effets dépendent avant tout de la dose

de polluant, c'est-à-dire le produit de la concentration dans l'air par le temps d'exposition. À dose égale, on constate que la réaction d'une plante à un polluant dépend aussi de la dynamique de cette dose : ce sont les pics de pollution sur des temps courts qui ont le plus d'effets (voir les valeurs limites européennes ou les recommandations OMS, chap.12). Cependant, même à faibles doses, des perturbations métaboliques peuvent exister et, même si elles n'ont pas d'effets visibles, elles vont se traduire par des pertes de rendement.

13.1.2 Effets sur les rendements

L'ozone est le polluant ayant la plus forte influence sur les rendements des plantes cultivées sensibles : il interviendrait pour 90% dans les pertes de rendement liées à la pollution atmosphérique. Les niveaux élevés rencontrés durant les périodes estivales peuvent diminuer les rendements des récoltes et des arbres forestiers de 5 à 15%.

Les études doses-effets, permettant de déterminer si des pertes de rendements de cultures peuvent être attribuées à l'ozone, ont été effectuées dans le cadre de deux grands programmes : le NCLAN en Amérique, et l'EOTCP en Europe.

C'est l'indice d'ozone AOT 40, prenant avant tout en compte les pointes d'ozone, qui semble le plus approprié pour représenter les doses entraînant des pertes de rendements significatives :

AOT 40 = cumul des dépassements horaires de 40 ppb de début mai à fin juillet ; seules les heures entre 7h et 21h sont prises en compte.

Les seuils critiques suivants, correspondant à des pertes de rendements de 10% (CL 10), ont été retenus :

- production agricole (cultures céréalières) : 3000 ppb.h
- végétation naturelle : 3000 ppb.h
- arbres forestiers (avril à septembre) : 10000 ppb.h

De nombreux points doivent cependant être encore approfondis, concernant :

- les espèces et les variétés européennes, ainsi que les arbres sur lesquels les études sont pratiquement inexistantes,
- l'amélioration de la représentativité des dispositifs expérimentaux,
- la connaissance des concentrations d'ozone en zones rurales,
- la bonne adaptation de l'indice AOT 40 aux conditions méditerranéennes, où les périodes de végétation sont beaucoup plus longues et les concentrations d'ozone plus élevées.

13.2 La pollution de proximité

Quelques descriptions de dommages visibles à proximité des autoroutes sont rapportées par des travaux. À titre d'exemple et à l'échelle d'un peuplement forestier, l'utilisation et l'analyse de photographies aériennes a permis de mettre en évidence, dans la limite de 200 m par rapport à une autoroute, un niveau de défoliation des épicéas supérieur au bruit de fond. Si, pour la pollution automobile, peu de données sont disponibles, l'effet des sels de déneigement est largement traité dans la littérature et aujourd'hui bien cerné.

Plus que d'une pollution de l'air, il faut parler, ici, d'une pollution véhiculée **par voie aérienne**.

Les sels de déneigement sont connus pour induire une réduction générale de la croissance des végétaux. Les projections salines dues au passage à grande vitesse des véhicules et atteignant de grandes distances (> 100 m) sont considérées comme la principale source de dégâts.

Sur les conifères, les dommages visibles apparaissent à la fin de l'hiver. Chez les résineux à feuilles persistantes, les aiguilles d'un an prennent une coloration brun-rougeâtre à partir de l'extrémité des aiguilles. Les aiguilles plus âgées tombent prématurément, affectant

les capacités photosynthétiques des arbres. On observe aussi, sur les branches qui reçoivent les projections salées, un dessèchement et la mort des bourgeons. La branchaison peut être modifiée : les branches sont de plus en plus courtes, clairsemées voire totalement absentes en cas de dommages importants.

Sur les feuillus, les dommages apparaissent seulement lorsque la croissance printanière et la floraison débutent. Chez les arbres et arbustes à feuilles caduques, on remarque la mort d'une partie des bourgeons et un retard dans l'apparition des feuilles. Certaines branches peuvent en être totalement dépourvues. Après un hiver, les branches mortes sont remplacées par de nouvelles pousses issues de bourgeons non atteints par le sel. Après plusieurs hivers, les nouvelles pousses deviennent de plus en plus courtes et se localisent à la base de la tige. La ramification qui résulte de ce schéma de croissance en touffes est appelée « balai de sorcière ».

Les dégâts observés seront d'autant plus importants du côté exposé à la route et soumis aux embruns (sous les vents dominants), la partie de l'arbre la plus affectée étant entre 0 et 2 m de hauteur.

13.2.1 Contamination du sol

La contamination du sol est due à la présence de polluants qui ont été dispersés et déposés sur le sol. Les polluants sous forme soluble sont les plus toxiques car ils sont assimilables par les plantes ; après absorption racinaire, ils peuvent s'accumuler dans les plantes et contaminer la chaîne alimentaire.

Les possibilités d'accumulation des métaux dans les plantes varient en fonction de nombreux paramètres tels que le type de sol (pH, composition...), le type d'élément, le type d'espèce et le type d'organe considérés. Dans ce domaine, il existe des données que l'on aura intérêt à consulter après avoir fait l'inventaire

des espèces présentes et des caractéristiques pédologiques du sol.

D'autre part, l'observation de caractéristiques différentes de routes montre que la contamination des sols varie selon la géométrie de l'infrastructure (déblai, remblai), sans négliger pour autant le rôle de la végétation environnante et des conditions climatiques locales. En effet, il a été démontré que la relation entre la teneur en métaux dans l'écosystème et la distance de l'autoroute était délicate à mettre en évidence sur un site en remblai, en raison de l'influence des conditions météorologiques.

Des résultats en rapport avec la dernière série d'études menées par le Setra peuvent cependant être avancés.

Deux transects orientés perpendiculairement à l'autoroute A31 ont été étudiés (points de mesures situés à 5, 10, 20, 40, 80 et 200 m de l'autoroute). La détermination des teneurs en métaux lourds du fond géochimique des différentes formations superficielles rencontrées a permis de caractériser le niveau de pollution, en fonction de la distance à l'autoroute, au niveau des transects qui se sont révélés être suffisamment homogènes. La pollution réelle des sols a donc été évaluée. La pollution maximale autorisée pour les sols agricoles s'obtient en soustrayant le fond géochimique standard officiel (non spécifié en France mais connu en Allemagne) des teneurs maximales admissibles en France (arrêté du 8 janvier 1998), qui sont identiques ou très proches de celles de l'Allemagne (d'où l'utilisation du fond géochimique standard allemand). Les résultats d'un transect sont présentés ci-dessous, la pollution des sols ayant été mesurée dans les 10 premiers centimètres du sol.

- **Zinc** : la pollution est maximale au niveau de l'un des deux premiers points (5 et 10 m) puis diminue pour devenir insignifiante ou nulle au-delà d'une distance comprise entre 20 et 100 m de l'autoroute,

selon les cas. La distance concernée par la pollution est maximale à découvert en en position sous le vent. Cette pollution n'excède pas 65 ± 10 ppm et reste donc partout inférieure au maximum de 250 ppm, permis pour les sols agricoles (soit 300 ppm, teneurs maximales permises en France et en Allemagne - 50 ppm, fond géochimique standard allemand).

- **Plomb**: la pollution est maximale au niveau des talus puis diminue à peu près régulièrement avec la distance à l'autoroute. Elle disparaît à partir de 20 à 80 m. La encore, la pollution reste très modérée, n'excède pas 30 ± 15 ppm et demeure toujours très inférieure au seuil de 70 ppm autorisé (100 - 30 ppm).

- **Cadmium**: aucune pollution significative n'est observable et les teneurs sont partout voisines du fond géochimique.

- **Nickel, arsenic**: ces polluants ont été peu étudiés jusqu'à présent. L'évolution des réglementations les fera, certainement, prendre en considération dans l'avenir.

En conclusion, au niveau du site étudié, la pollution observée dans les 10 premiers centimètres du sol est généralement maximale entre 5 et 10 m de l'infrastructure, puis diminue avec la distance pour finalement disparaître à 20, 40, 80 ou 100 m environ, selon les cas. Bien que les 40 premiers mètres soient les plus pollués, il est clair que la pollution observée reste très en deçà des seuils en vigueur pour les sols agricoles.

Il ressort également de cette étude que la nature des matériaux compte certainement au moins autant que le trafic routier dans la pollution qui s'accumule dans les sols au voisinage des autoroutes.

L'apport des tests d'écotoxicologie (cf. annexe VIII): Afin de caractériser le contexte écotoxicologique

des sols de proximité immédiate de l'autoroute, cinq bioindicateurs ont été choisis pour la détermination des effets aigus (court terme), chroniques (moyen terme) et génotoxiques (long terme) des sols de proximité de l'A 31, potentiellement contaminés par des métaux lourds et des HAP. La caractérisation écotoxicologique des différents sites prend en compte à la fois l'impact direct des sols éventuellement contaminés et l'impact dû à un entraînement des contaminants des sols par ruissellement, lessivage ou percolation des eaux.

Sol			
essai d'écotoxicité intrinsèque		essai d'écotoxicité extrinsèque (sur lixiviat)	
inhibition de la reproduction du ver de terreau	génotoxicité: test micronoyau sur l'orge	inhibition de la mobilité de la daphnie	inhibition de la croissance d'une algue chlorophycée
négatif	positif au niveau BAU et haut de talus	négatif	faible inhibition

Certains tests se révèlent positifs en ce qui concerne la mise en évidence d'effets chroniques et à long terme (génotoxicité) lorsqu'ils sont pratiqués à proximité immédiate de l'infrastructure. En terme de santé publique, on ne saurait en tirer des conclusions et ces résultats partiels doivent être interprétés avec prudence. Ils devront être vérifiés et confirmés dans d'autres situations et, si possible, étendus à plusieurs niveaux des chaînes trophiques.

13.2.2 Contamination de la végétation

Les métaux lourds peuvent être potentiellement toxiques pour les plantes. D'un point de vue physiologique, les métaux lourds peuvent être divisés en deux groupes:

- les éléments nécessaires au métabolisme de la plante; ils peuvent devenir toxiques si les apports excèdent ses besoins (ex. zinc)
- les éléments non nécessaires pour le métabolisme des plantes, tels que le cadmium ou le plomb; ils

sont toxiques à des concentrations plus faibles que les éléments du premier groupe.

La pollution particulière :

Les dépôts de poussière peuvent être à l'origine de stress sur la végétation située le long des voies de circulation qui se traduit, par exemple, par la multiplication des feuillaisons d'arbres ou la difficulté d'implantation de certaines jeunes espèces arbustives ornementales (ex. rosier).

Concernant la contamination de la végétation située en proximité d'infrastructure, dernièrement, l'utilisation de bio-accumulateurs passifs tels que les graminées a eu l'avantage de mettre en évidence des concentrations importantes de métaux lourds, déposés sur les feuilles ou incorporés dans les parties internes des végétaux (cf. annexe VIII).

Les premiers résultats de la dernière série d'étude financée par le Setra laissent penser que les teneurs en métaux lourds des graminées échantillonnées à proximité de l'infrastructure ne semblent pas toujours être proportionnelles au trafic : c'est le cas pour le zinc dont les teneurs importantes ont été mesurées à proximité des glissières ou des clôtures. Si ces observations se confirment, cela signifierait que les autoroutes récentes faiblement circulées peuvent aussi localement constituer un risque vis-à-vis, notamment, de productions végétales spécialisées proches de l'autoroute.

En bord de route, les cultures maraîchères, fruitières et fourragères sont les plus exposées et présentent plus de risque de transfert vers l'animal et l'homme, les céréales étant relativement protégées par leur enveloppe. Ceci peut notamment être préoccupant dès lors que l'on est en présence de jardins ouvriers, en milieu périurbain, dont les cultures maraîchères, situées à une vingtaine de mètres du bord de l'autoroute, sont destinées à la consommation d'une même famille (cf. suivant). Même si la majorité des

poussières ne sont en fait qu'une contamination de surface qui peut être diminuée par un lavage des aliments, certains contaminants comme le cadmium peuvent être assimilés par les racines des plantes et transmis aux parties comestibles. Ainsi, un lavage n'entraîne qu'une faible proportion du cadmium dosé chez la tomate (20%), mettant en évidence la présence du métal dans le fruit et pas seulement en surface.

Les plantes peuvent accumuler les métaux lourds jusqu'à des valeurs jugées non conformes à la consommation humaine. Ainsi, sur le fondement de l'article L. 221-5 du Code de la consommation, a été interdite, pour une durée d'un an, la mise sur le marché du thym ramassé sur le territoire des communes de Pierrelaye (arrêté du 31 mars 1998) et de Méry-sur-Oise, Saint-Ouen-l'Aumône et Bessancourt (arrêté du 30 avril 1998). Cette décision a été motivée par la mise en évidence, dans ce végétal, de taux en plomb, mercure ou cadmium excédant les teneurs maximales admissibles déterminées par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France (0,5 mg/kg pour le plomb, 0,030 mg/kg pour le mercure et 0,1 mg/kg pour le cadmium, teneurs exprimées par rapport au poids frais. cf. annexe VIII).

13.2.3 Contamination de la faune

Les émissions d'origine automobile sont susceptibles de contaminer aussi bien la microfaune que le bétail, directement ou indirectement à travers l'alimentation. L'analyse de l'impact de la pollution automobile sur les animaux a fait l'objet de quelques études.

En ce qui concerne les espèces sauvages, une étude sur une population de lièvres communs (analyse des poils) vivant à proximité d'une autoroute a permis de montrer que les lièvres de proximité avaient des teneurs en plomb dans leurs poils trois fois plus importantes que ceux des zones témoins. De cette

étude ressort que l'augmentation du trafic et la pente de l'autoroute aggravent la contamination, alors que les fortes précipitations la diminuent. Les résultats provisoires d'une étude sur les micromammifères vivant en bordure de voie (campagnol roussâtre, mulot sylvestre, musaraigne pygmée, musaraigne couronnée) ont montré un taux de contamination élevé car 78,7% des animaux étaient contaminés par le plomb pour les deux organes (foie et rein) analysés.

Il n'apparaît pas de relation directe et significative entre trafic routier et degré de contamination de la microfaune étudiée. Les résultats obtenus montrent toutefois une bonne corrélation avec le régime alimentaire : les musaraignes (carnivores) sont en moyenne plus fortement contaminées que les mulots sylvestres (granivores) et les campagnols roussâtres (omnivores). Ces résultats semblent confirmés par la dernière série d'études menées par le Setra, où l'on a pu remarquer des pics de pollution (plomb et cadmium) dans les fientes de rapaces chassant à proximité des emprises de l'autoroute, ceci démontrant l'accumulation de ces contaminants au niveau de la chaîne alimentaire.

Au niveau des espèces domestiques, une étude menée sur des moutons, pâturants à proximité du périphérique de Londres, a montré que la laine de ces animaux avait des teneurs en métaux légèrement supérieures à celles d'animaux témoins. En revanche, la concentration de plomb dans le sang est très bien corrélée à l'exposition aux émissions des véhicules. Au niveau de chevaux, pâturant à proximité de cette même autoroute, des taux élevés de plomb et de cadmium ont été décelés par rapport aux animaux non exposés. L'influence de l'autoroute est donc significative. Les auteurs suggèrent que l'assimilation des métaux chez ces animaux doit se faire par voie respiratoire et/ou alimentaire par ingestion d'herbe contaminée.

13.2.4 Perspectives

Une contamination, même légère, des différents compartiments (flore, faune, sol) existe à proximité des grandes infrastructures de transports routiers. Très vite, et au-delà d'une cinquantaine de mètres de l'infrastructure, la contamination d'origine routière atteint le bruit de fond naturel. Cependant, ceci nous amène à évoquer le problème de la contamination (à proximité immédiate de l'infrastructure) de la chaîne alimentaire dont le dernier maillon est bien souvent l'homme. C'est pourquoi des études complémentaires vont être menées (Certu) en milieu urbain et périurbain, au niveau des jardins ouvriers, afin de mieux cerner le risque sanitaire encouru par les populations se nourrissant essentiellement de légumes ayant poussé à proximité de grandes infrastructures de transport, dans une atmosphère déjà polluée par l'ambiance urbaine.

Dans l'étude d'impact, l'état initial sera adapté en fonction du milieu traversé. On veillera notamment à réaliser un état initial fin, dès lors que le projet se situe en zone sensible (cultures spécialisées : maraîchères, fruitières...) afin de mettre en place, si besoin, des mesures de réduction adaptées à la pollution particulière (haies, écrans...) et/ou un suivi de ces sites sensibles.

13.3 Valeurs guides de pollution des sols

On trouvera ci-après les quelques valeurs guides de pollution des sols :

Quelques valeurs guides des polluants du sol en mg/kg PS						
Polluant	Valeur limite de concentration en France arrêté de 8/1/98	Valeurs limites techniques	Normes hollandaises		Critères canadiens provisoires de décontamination	
			Valeur seuil	Valeur d'intervention	Agriculture	Résidentielle Z. de parc
Chrome	150	40	100	380	750	250
Cobalt			20	240	40	50
Nickel	50	15	35	210	150	100
Cuivre	100	30	36	190	150	100
Zinc	300	50	140	720	600	500
Arsenic			29	55	20	30
Molybdène			10	200	5	10
Cadmium	2	0,4	0,8	12	3	5
Baryum		200	625	750	500	
Mercure			0,3	10	0	2
Plomb	100	50	85	630	175	500
Benzène			0,05	1	0,05	0,5
Éthylbenzène			0,05	50	0,1	5
Toluène		0,05	130	0,1	3	
Xylène			0,05	52	0,1	5
Phénol			0,05	40	0,1	0,1
Crésols				5		
Catéchol				20		
Resorcinol				10		
Hydroquinone				10		
Naphtalène			0,015		0,1	1
Anthracène			0,05			
Phénanthrène			0,045		0,1	5
Fluoranthène			0,015			
Benzo(a)anthracène			0,02		0,1	1
Chrysène			0,02			
Benzo(a)fluoranthène			0,025		0,1	1
Benzo(a)pyrène			0,02		0,1	1
Benzo(ghi)peryène			0,02			
Indeno(1,2,3)pyrène			0,025		0,1	1
Totaux		1	1	40		
1,2 dichloroéthane				4		
Dichlorométhane				20		
Tétrachlorométhane			0,001	1		
Tétrachloroéthylène			0,01	4		
Trichlorométhane			0,001	10		
Tétrachloroéthylène			0,001	60		
Chlorobenzène				30	0,05	2
Chlorophénols				10	0,05	0,5
PCB			0,02	1	0,5	5

Remarque : Les valeurs d'un pays à l'autre sont difficilement comparables dans la mesure où les méthodes d'analyse peuvent être différentes.

Effets sur les bâtiments 14.

14.1 Généralités

À l'écart des agglomérations importantes ou des grandes industries, les bâtiments, édifices et monuments divers prennent en général, avec le temps, une patine qui contribue à la beauté du patrimoine bâti. Leur usure naturelle par vieillissement des matériaux, érosion, pluie ou gel, est lente.

En présence d'une pollution atmosphérique, les surfaces se salissent et se détériorent plus rapidement, avec, pour conséquence, un noircissement inesthétique et la nécessité d'interventions fréquentes pour éviter la dégradation en profondeur des matériaux et des peintures afin de préserver la beauté et la richesse du patrimoine historique.

Cet effet de la pollution peut être constaté aussi bien sur les bâtiments directement exposés à la circulation routière (pollution de proximité) que sur des façades non exposées (pollution de fond). Les phénomènes en cause et la part des transports sont sensiblement différents dans ces deux cas.

Les références bibliographiques concernant les effets de la pollution de l'air sur les bâtiments sont peu nombreuses. Nous nous appuyons ici :

- sur une étude suisse portant plus spécifiquement sur les atteintes aux bâtiments dues à la pollution de l'air par les transports,
- sur une étude réalisée en France dans le cadre de la restauration de monuments historiques : cour du Louvre, exposition indirecte

14.2 Atteintes aux bâtiments dues à la pollution par les transports

La détérioration des façades des bâtiments exposés à la circulation routière se manifeste essentiellement par :

- la salissure provoquée par les dépôts de suies

(échappement des Diesels) et autres particules provenant de l'usure des pneumatiques, des freins, et du revêtement de la route

- l'effritement des pierres
- la corrosion des peintures et des métaux, notamment par les NOx et le SO₂
- les fissures et désordres causés par les vibrations.

L'étude suisse est basée sur une comparaison des fréquences d'intervention entre les bâtiments directement et indirectement exposés. Elle montre que par rapport aux zones rurales, la durée de vie moyenne des façades des bâtiments proches des routes à fort trafic est plus courte d'environ 20 à 30%. Par exemple, cette réduction serait de moitié pour une façade crépie, de 30% pour les fenêtres et de 60% pour les gouttières.

14.3 Cas d'une exposition indirecte (bâtiments historiques)

Le mode de détérioration constaté est un noircissement inesthétique des surfaces, accompagné d'un développement de croûtes noires sulfatées, constituées d'un ciment gypseux renfermant des particules provenant de la pollution ambiante : cendres volantes, émises par la combustion du charbon et du fuel lourd dans les grandes installations industrielles, et microsuires, issues de la combustion du fuel léger (moteurs Diesel, chauffages domestiques) et des végétaux en général.

Les microsuires, bien que non détectées dans les croûtes noires par microscopie électronique à balayage, sont soupçonnées de participer avec les cendres volantes à la coloration noire des croûtes sulfatées. D'autres techniques de détection devraient donc être utilisées pour confirmer ou non le rôle des transports dans la détérioration des surfaces.

On observe, avec le temps, à la surface des bâtiments, statues, etc, une alternance de zones blanches dans

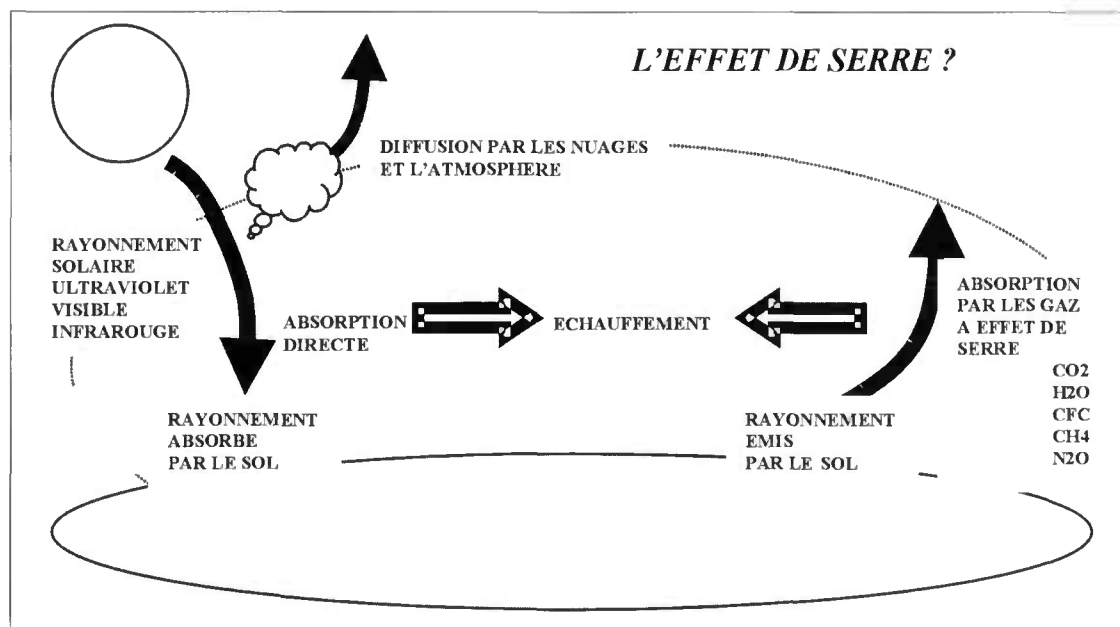
les parties exposées à la pluie battante ou ruisselante, et de zones noires dans les parties abritées. Les zones blanches délavées par la pluie sont soumises à des phénomènes d'érosion et de dissolution de la pierre, directement liés à l'acidité des précipitations, tandis que, sous les croûtes, la pierre compacte reste pratiquement intacte (dans le cas de pierres poreuses, il y a dégradation par pénétration du gypse). La formation de ces croûtes noires est indifférente à la nature du substrat : pierre calcaire ou siliceuse, verre, métal (bronze), ou bois.

Un autre mécanisme de dégradation des surfaces, lié à la pollution par le SO_2 , est dû à la sulfatation en subsurface (fraction de millimètre) par transformation du carbonate de calcium en sulfate, engendrant des phénomènes de dilatation et des craquelures.

Les effets globaux 15.

15.1 L'effet de serre

15.1.1 Généralités



L'effet de serre est un phénomène naturel selon lequel l'atmosphère terrestre « piège », à la surface de notre planète, le rayonnement terrestre. Sans l'effet de serre, la température de la terre serait en moyenne de -18°C et non de $+15^{\circ}\text{C}$ comme actuellement. L'accumulation dans l'atmosphère de certains gaz produits par les activités humaines – comme le gaz carbonique (CO_2), le méthane (CH_4), le dioxyde d'azote (N_2O), les chlorofluorocarbones (CFC) et l'ozone (O_3) – augmente l'effet de serre.

Le Groupe intergouvernemental d'experts sur l'évolution du climat (Giec) a estimé, en 1996, que si les émissions de gaz à effet de serre doublient, la température moyenne à la surface du globe augmenterait de $1,5^{\circ}\text{C}$ à $4,5^{\circ}\text{C}$. Le rythme de l'augmentation pourrait être de $0,2^{\circ}\text{C}$ par décennie. Ce réchauffement ne devrait être uniforme ni dans le temps ni dans l'espace. L'élévation de température serait plus forte aux pôles qu'à l'équateur, plus élevée en hiver qu'en été.

Ceci pourrait entraîner et déclencher certains événements tels que :

- le renversement du Gulf Stream
- la montée du niveau des mers (10 à 30 cm en 2050)
- des changements climatiques avec toutes leurs influences sur la faune, la flore et les maladies humaines
- la désertification de nombreuses régions..

La contribution de la France à l'aggravation de l'effet de serre est estimée à environ 2% par rapport aux émissions mondiales, la part des transports routiers étant, quant à elle, estimée à environ 30 à 35% des émissions françaises de CO_2 (plus grosse part d'influence par rapport aux autres secteurs émetteurs). Dans le cadre des études d'environnement et d'impact, il conviendra de parler des émissions de CO_2 mais on n'abordera pas les autres polluants émis directement ou indirectement par la circulation routière (CH_4 , N_2O et O_3) car leur quantification est délicate.

15.1.2 Les accords de Kyoto

La convention cadre sur les changements climatiques ouverte à la signature des États à la conférence de Rio en juin 1992, est entrée en vigueur en 1994.

Le dernier rapport public du Giec, en 1995, a mis en évidence l'influence des interventions de l'homme sur le climat et ses conséquences (réchauffement de la température de la terre, élévation du niveau de la mer au siècle prochain). Sur cette base scientifique, les États participants ont décidé, à la suite de plusieurs conférences, d'établir des objectifs quantifiés de limitation et de réduction des émissions de gaz à effet de serre.

La conférence de Kyoto, de décembre 1997, a permis aux 38 États concernés et à l'Union européenne d'aboutir à un accord ayant pour objectif la stabilisation des concentrations de gaz à effet de serre à un niveau (non précisé) qui devrait empêcher toute perturbation anthropique dangereuse du système climatique.

Le protocole prévoit, à la charge des pays industrialisés, une réduction globale d'au moins 5% des émissions de 6 gaz à effet de serre (CO₂, CH₄, N₂O, HFC, PFC et SF₆) d'ici 2008-2012, par rapport à 1990 et 1995.

Des quantités d'émissions anthropiques sont attribuées aux pays développés par l'annexe B du protocole (réduction des émissions de 8% pour l'Union européenne, de 7% pour les États-Unis, de 6% pour le Canada et le Japon, de 0% pour la Russie et l'Ukraine et augmentation de 8% pour l'Australie, soit un global de - 5,2% pour les pays industrialisés). Les pays en voie de développement ne sont pas tenus par les engagements du protocole. En 2005, un premier bilan sera dressé.

Le protocole prévoit une liste non exhaustive des politiques et mesures nationales à mettre en œuvre

pour aboutir aux objectifs de réduction globale. Une coopération internationale est possible pour parvenir à ces objectifs, en particulier dans l'Union européenne (répartition des réductions entre États membres). Des instruments de marché, dont la mise au point est renvoyée à une prochaine conférence, sont également prévus pour atteindre les objectifs de réduction :

- échange de droits d'émission entre les pays ayant des quotas définis de réduction des émissions
- « mécanisme pour un développement propre » qui consiste à accorder des crédits d'émission à des gouvernements ou à des entreprises privées qui investissent dans des projets de réduction d'émission ou qui transfèrent des technologies dans les pays en développement (système revendiqué par les États-Unis et refusé par beaucoup de pays du sud et d'ONG).

Des possibilités de sanctions à l'encontre des États ne respectant pas leurs engagements seront examinées au cours de la prochaine conférence des parties.

15.1.3 Les accords européens

L'application des accords de Kyoto à l'Union européenne conduit à une réduction des émissions de gaz à effet de serre, pour la période 2008-2012, de 8% par rapport à celles de 1990. L'accord porte sur les six principaux gaz à effet de serre : dioxyde de carbone (CO₂), méthane (CH₄), dioxyde d'azote (N₂O), hydrofluorocarbones (HFC), perfluorocarbones (PFC) et hexafluorure de soufre (SF₆). On trouvera ci-après le tableau donnant les valeurs retenues par les différents pays de l'UE.

Variation attendue	
Luxembourg	-28 %
Allemagne	-21 %
Danemark	-21 %
Autriche	-13 %
Royaume-Uni	-12.5 %
Belgique	-7.5 %
Italie	-6.5 %
Pays-Bas	-6 %
France	0 %
Finlande	0 %
Suède	+4 %
Irlande	+13 %
Espagne	+15 %
Grèce	+25 %
Portugal	+27 %
Europe	-8 %

La France doit respecter une stabilité de ses émissions de gaz à effet de serre. Ce coefficient (0%) est dû en grande partie à son effort entrepris dans la réduction des émissions grâce à la production d'énergie électrique (les autres pays européens utilisent beaucoup les énergies fossiles tel le charbon ou le fuel, premier émetteur). Le parc nucléaire et la houille blanche sont à l'origine de 85% de notre production d'énergie et ces modes de production ne sont pas considérés comme émetteurs de gaz à effet de serre.

Le premier secteur émetteur, en France, est le transport routier; cependant les émissions unitaires de CO₂ sont pratiquement constantes et ne sont actuellement pas soumises à une réglementation européenne (il en est question pour l'horizon 2005 voire plus) contrairement aux autres polluants à effet sur la santé (NO_x, CO, HC et particules). Si la France veut respecter cet accord européen, elle se doit d'éviter le dérapage, voire d'envisager des diminutions de «l'indicateur» véhicules/kilomètres effectués, globalement, sur le plan national. Certes, un projet d'infrastructure n'influence que très marginalement

les émissions globales, mais toute diminution sera la bienvenue et permettra de participer (même faiblement) au respect de notre accord en matière de stagnation, voire diminution, de nos émissions. L'effet de serre et la pollution photochimique sont, rappelons-le, des enjeux majeurs en matière de pollutions du XXI^e siècle.

15.1.4 Influence sur les végétaux

En cas d'un doublement des taux de CO₂, certains modèles climatiques s'accordent pour prédire une augmentation générale des températures en Europe de l'Ouest. Une telle évolution climatique devrait se traduire par un allongement de la période sèche durant la saison de végétation, alors que la pluviométrie totale annuelle ne varierait pratiquement pas. L'impact global sur les arbres et les peuplements forestiers est difficile à apprécier. En effet, d'une part, l'efficacité de l'eau semble améliorée lorsque la teneur en CO₂ augmente dans l'atmosphère. D'autre part, l'augmentation de la photosynthèse et de la production de biomasse devrait entraîner une augmentation de la consommation en eau. Sans qu'il soit possible de se prononcer sur l'évolution de l'évapotranspiration, la situation climatique prédite par certains modèles devrait probablement augmenter le risque de fort stress hydrique (compétition pour l'eau) et d'extension des dépérissements sur des sols à faible réserve utile estivale en eau.

En outre, l'augmentation simultanée de la température et du taux de CO₂ laisse prévoir un fort accroissement de la croissance des peuplements lorsque les précipitations et la fertilité minérale des sols n'apparaissent pas comme un facteur limitant. Cette accélération de la croissance, déjà favorisée dans certaines régions par des dépôts azotés d'origine atmosphérique, entraînerait de plus forts besoins en nutriments minéraux et pourrait provoquer des carences nutritives des arbres et un bilan minéral négatif sur les sols pauvres et acides. La capacité des végétaux à fixer le carbone et à

participer à l'absorption du CO₂ excédentaire est utilisée en France pour contribuer, de façon globale, à la lutte contre l'effet de serre, dans le cadre d'une politique de reboisement progressif des terres agricoles et de relance des filières bois d'œuvre, bois énergie. On peut imaginer, de façon ponctuelle, au titre des mesures compensatoires, des opérations de reboisement liées à des créations d'infrastructures.

15.2 Le « trou d'ozone »

Le processus de destruction de la couche d'ozone à haute altitude, dans la stratosphère (à ne pas confondre avec l'ozone situé dans la troposphère au niveau du sol par action de certains polluants, tout particulièrement les CFC), pourrait se traduire dans l'avenir s'il s'étendait, par une augmentation du rayonnement ultraviolet au niveau de la surface terrestre. Ceci pourrait engendrer de graves conséquences pour la santé humaine (cancer de la peau) et les écosystèmes.

Le transport routier est peu impliqué dans ce processus de destruction de la couche d'ozone, sauf dans la phase de fabrication ou dans l'évaporation des produits utilisés auparavant pour la climatisation des véhicules. Les véhicules automobiles n'émettent pas de gaz intervenant de manière significative dans la raréfaction de cette couche.

15.3 Les pluies acides

Bien que les pluies acides soient à cataloguer dans la pollution régionale (l'échelle géographique est tout de même très importante) et non pas dans les effets globaux, on peut les quantifier sous l'angle des effets globaux (les Pays du Nord de l'Europe sont affectés par la pollution des pays industrialisés du Sud).

À partir, principalement, des oxydes d'azote et de soufre, se forment, par combinaison avec la pluie, des acides nitrique et sulfurique qui jouent un rôle

de catalyseurs dans le dépérissement de la forêt lorsque les autres conditions environnementales sont particulièrement défavorables pour la flore. Une autre forme d'action est la diminution du pH des lacs avec des conséquences sur leur faune et flore.

Cet effet, qu'il est très difficile de quantifier d'une manière précise, ne sera abordé que sous forme informative dans les études d'impact.

Monétarisation des effets de la pollution 16.

16.1 Généralités

À la différence d'autres pays (Suisse, Suède...) qui ont intégré depuis longtemps, dans leur raisonnement, la dimension économique liée à la pollution atmosphérique, il y a peu de choses sur le sujet en France. Seule l'estimation du coût de la pollution atmosphérique sur la santé a fait l'objet de rapports d'études (3 au total, dont 2 relatifs aux conclusions médicales de l'étude Erpurs). Sur le sujet, on peut retenir également le programme européen Externe (dont fait partie l'IFP), relatif à l'évaluation des effets externes du transport sur l'environnement. En France, notamment sur le milieu urbain, un projet de circulaire est en cours de préparation sur les externalités. En outre, des recherches devraient être entreprises prochainement via le Predit.

En l'état actuel des connaissances et compte tenu du fait que les travaux mentionnés ci-dessus n'ont pas fait l'objet d'agrément et de consensus par les services officiels des autorités de tutelle, on devra être très prudent quant à l'évaluation. L'impact financier sur le bâti (ravalement, entretien des monuments historiques) ainsi que l'effet sur les végétaux (perte de rendement des cultures céréalières, disparition d'espèces) ne sera pas pris en considération pour le moment.

16.2 Valeurs à prendre en compte pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances

16.2.1 Hypothèses de base de la circulaire du 3 octobre 1995 du secrétaire d'État aux Transports

Pour l'estimation des coûts relatifs à la pollution atmosphérique, on se référera aux valeurs proposées par l'instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport, jointe à la circulaire

du 3 octobre 1995 du secrétaire d'État aux Transports. La pollution locale et régionale ainsi que l'effet de serre seront donc seuls estimés.

Le rapport dit « rapport Boiteux » (Transports: pour un meilleur choix des investissements - Commissariat général du plan - Marcel Boiteux - novembre 1994) précise les hypothèses prises en compte pour la pollution de l'air, locale et régionale, et pour l'effet de serre.

Pour la pollution locale et régionale, les coûts unitaires proposés sont exprimés en équivalent CO et exprimés en F/km. Les valeurs sont celles relatives à l'année 1994 et l'indexation est effectuée à partir de l'indice relatif à la consommation des ménages (CFM) majoré de 1% par an; cet indice, en hypothèse moyenne, étant égal à 2,1% par an, l'augmentation est de 3,1% par an. À l'inverse, on a tenu compte des perspectives de durcissement des normes techniques des véhicules qui conduisent à une réduction des émissions unitaires des véhicules de l'ordre de 4,5% par an, dans les 15 ans à venir. Ainsi, il a été considéré que ces deux hypothèses s'annulaient d'où une évolution unique par véh-km en francs constants.

Le coût lié à l'effet de serre est calculé à partir de la consommation énergétique exprimée en kg de carbone (ce coût est supposé constant en francs constants).

Ces notions de monétarisation sont actuellement en cours de réactualisation.

Type d'impact	Type de coût	Valeur	
Pollution de l'air locale et régionale	rase campagne	coût par voy/km auto	4,10 cts
		coût par voy/km rail électrique	0,13 cts
		coût par voy/km rail Diesel	0,86 cts
		coût par voy/km avion	1,70 cts
		coût par véh/km voiture	8,00 cts
		coût par tonne/km route	6,00 cts
		coût par tonne/km rail électrique	0,10 cts
	coût par tonne/km rail Diesel	0,64 cts	
	milieu urbain	coût par voy/km auto	8,50 cts
		coût par voy/km rail électrique	-
		coût par voy/km rail Diesel	1,20 cts
		coût par voy/km avion	-
		coût par véh/km voiture	10,7 cts
		coût par tonne/km route	8,00 cts
coût par tonne/km rail électrique		0,10 cts	
coût par voy/km rail Diesel	0,86 cts		
Effet de serre	automobile	coût par voy/km en ville	2,30 cts
		coût par voy/km en rase campagne	1,40 cts
	camion	coût par tonne/km	1,60 cts
	rail électrique	coût par voy/km	-
	avion	coût par voy/km	1,95 cts
	voie d'eau	coût par tonne/km	0,38 cts

Source : circulaire du 3 octobre 1995, METL (en francs 1994)

16.2.2 Adaptation au domaine routier selon l'instruction relative aux méthodes d'évaluation économique

Pour la pollution de l'air locale et régionale, on prend en compte la pollution due aux oxydes de carbone, de soufre et d'azote. Les valeurs ci-dessous résultent de l'adaptation au domaine routier des valeurs indiquées (en véh/km) dans l'instruction du 3 octobre 1995. En ce qui concerne les poids lourds, une hypothèse de charge utile moyenne par véhicule a été adoptée pour obtenir des valeurs en véh/km.

On appliquera les valeurs suivantes par véh/km :

	valeur basse	valeur haute
Pollution de l'air locale et régionale		
Rase campagne		
véhicule léger	6 cts	10 cts
poids lourds	35 cts	66 cts
Milieu urbain		
véhicule léger	7 cts	14 cts
poids lourds	48 cts	88 cts

	valeur
Effet de serre	
Rase campagne véhicule léger	2,5 cts
poids lourds	14 cts
Milieu urbain véhicule léger	3 cts
poids lourds	14 cts

Remarque :

Ces chiffres sont provisoires et susceptibles d'évoluer en fonction de l'état d'avancement de la recherche dans ce domaine.

Les valeurs hautes et basses sont à considérer pour un trafic donné et correspondent à une fourchette d'estimation de $\pm 30\%$ par rapport à la valeur centrale (en véh/km, cf. tableau page précédente). Ces 30% proviennent des recommandations du rapport «Boiteux».

Le calcul doit se faire sur l'ensemble de l'aire d'étude (et pas seulement sur le projet) et, pour chaque scénario d'aménagement, «en variation» entre la situation avec projet et la situation de référence pour les années souhaitées.

Pour les petits projets, le logiciel Acobe (disponible courant 2000) permettra de réaliser ces calculs à partir du trafic (MJA).

Pour les gros projets, le logiciel Ariane permet de réaliser ces calculs, aux années demandées, pour chacun des scénarios, sur l'ensemble du réseau modélisé. On vérifiera notamment la cohérence des résultats avec les calculs de l'évaluation socio-économique.

L'intérêt de ce calcul réside principalement dans le fait de pouvoir comparer différents scénarios pour lesquels la répartition entre urbain et interurbain peut varier.

On présentera les résultats du calcul sous forme de tableaux pour chaque scénario d'aménagement :

Pollution de l'air	valeur basse	valeur haute
<i>variation</i> du coût(1) lié à la pollution de l'air à l'année présumée de mise en service définie avec le maître d'ouvrage et à la date optimale(2)	francs 1994	francs 1994
<i>variation</i> du coût actualisé(3) lié à la pollution de l'air	francs 1994	francs 1994

(1) calculé à l'année, sur toute la durée de vie du projet

(2) date optimale de mise en service (conjugue le maximum d'avantage) : ce calcul est donné par les logiciels Ariane et Acobe

(3) le coût actualisé est également donné par Ariane et Acobe

Effet de serre	valeur
<i>variation</i> du coût lié à l'effet de serre à l'année présumée de mise en service définie avec le maître d'ouvrage et à la date optimale	francs 1994
<i>variation</i> du coût actualisé lié à l'effet de serre	francs 1994

16.3 Analyse des avantages induits pour la collectivité

Cette partie de l'étude rejoint la démarche d'évaluation socio-économique faite au titre de la Loti et pourra de ce fait reprendre les développements du dossier de l'évaluation socio-économique ou y renvoyer pour les grands projets qui y sont assujettis (se reporter à la circulaire d'octobre 1998 citée ci-dessus).

16.4 **Évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet**

Là encore, les outils existants (Ariane et bientôt Acobe) font un calcul de bilan énergétique en donnant une variation de tonne équivalent pétrole (Tep) induite par la construction et l'exploitation du projet. Concernant l'exploitation du projet, deux paramètres sont pris en compte : la consommation énergétique des usagers et les consommations énergétiques liées à l'exploitation de la route. Ce calcul sera également un indicateur intéressant en terme de comparaison de variantes.

Mesures de réduction de la pollution atmosphérique de proximité 17.

17.1 Généralités

La pollution atmosphérique est une nuisance pour laquelle nous ne disposons pas encore de mesures compensatoires éprouvées. À l'inverse des ondes sonores, qui peuvent être stoppées par un écran ou talus antibruit, la pollution gazeuse ne peut pas être éliminée par un obstacle physique; tout au plus, peut-on faciliter sa dilution ou dévier le panache de polluants d'un endroit vers un autre.

La pollution atmosphérique liée à la circulation routière peut être influencée de deux manières:

- réduction des émissions polluantes à la source
- intervention au niveau de la propagation des polluants.

Les émissions polluantes dépendent de l'intensité du trafic, de la proportion des PL, de la vitesse des véhicules et des facteurs d'émissions spécifiques pour les divers polluants. Ainsi, outre par une modification technique sur les véhicules, on peut les influencer par une modification des conditions de circulation (limitation de vitesse, restrictions pour certains véhicules...). Il s'agit là de mesures qui relèvent de la législation des transports et qui auront un effet, surtout en milieu urbain.

L'autre solution est d'intervenir sur la propagation des polluants. Cette intervention peut se faire de trois façons:

- en modulant la position de la route (déblai, remblai ou à niveau)
- en plantant des arbres et des buissons particuliers en bordure de routes
- en profitant d'écrans acoustiques déjà prévus ou en installant spécialement.

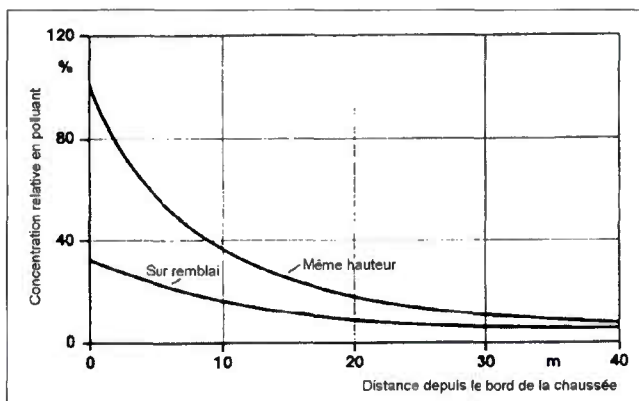
L'intervention sur la propagation des polluants aura surtout un effet en milieu périurbain et interurbain.

La restriction de la circulation automobile en milieu urbain n'étant pas notre propos dans ce guide, nous

allons nous concentrer sur les mesures permettant d'influencer la dispersion des polluants.

17.2 Position de la route

Les études sur l'influence de la position de la route sur la dispersion des polluants ne sont pas très nombreuses. Deux études, une allemande et une japonaise, montrent que les routes en remblai sont beaucoup plus favorables à la dispersion des polluants que les routes à niveau.



Exemple allemand de la concentration relative en NO pour diverses positions de la route en fonction de la vitesse du vent (vent favorable).

La position de la route par rapport au niveau du sol influe sur la dispersion des polluants à proximité immédiate de la route (0 à 30 m). Au-delà, cette influence n'est plus perceptible.

17.3 Plantations d'arbres et de buissons le long de la route

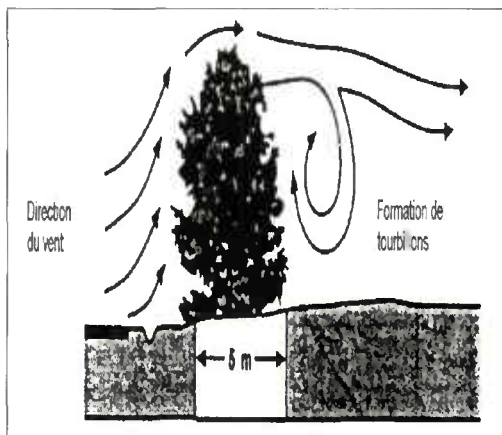
La plantation d'arbres et de buissons le long de la route est un moyen de réduire les niveaux de pollution, à proximité de l'infrastructure. La pollution concernée est de deux types: gazeuse (surtout les polluants primaires) et particulaire. Selon les caractéristiques de cette zone végétale, on va plutôt influencer la dispersion de l'un ou l'autre type de polluants, ou les deux à la fois (parfois de façon opposée). Les caractéristiques

à prendre en compte sont : la profondeur, la capacité filtrante (ou la perméabilité au vent) et la composition.

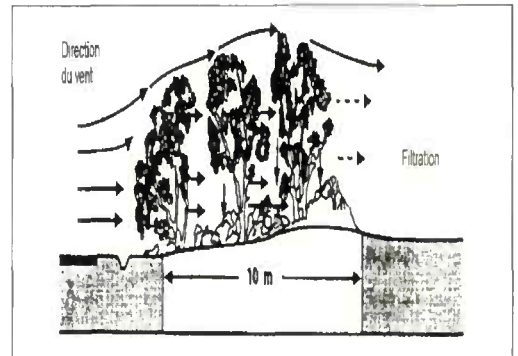
Pour ce qui est de la pollution par les particules (donc par les métaux lourds, surtout), le facteur important est la capacité filtrante de la bande végétale. En effet, tout ce qui permet de réduire la vitesse du vent et de favoriser le dépôt des particules contribue à réduire cette pollution à proximité de la route. Cette réduction, obtenue dans et après la bande de boisement, s'accompagne d'une accumulation de particules devant la bande boisée et, donc, à proximité immédiate de la chaussée. Le meilleur résultat est généralement obtenu avec des plantations d'arbres présentant une perméabilité moyenne au vent.

Pour réduire simultanément les concentrations en polluants gazeux et en particules, une circulaire allemande recommande d'installer des plantations de grande largeur (au moins 10 m).

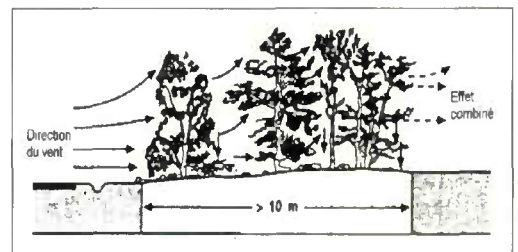
Les figures d'origine allemande ci-après montrent la structure et la configuration de boisements le long d'une route en vue de contrôler les pollutions dues à la circulation.



En été, réduction d'environ 20% des concentrations gazeuses (la plantation est imperméable au vent et n'a donc pas d'effet filtrant). En hiver, augmentation des concentrations gazeuses et dépôt des poussières grassières par modification du champ d'écaulement (plantation filtrante, car perméable au vent).

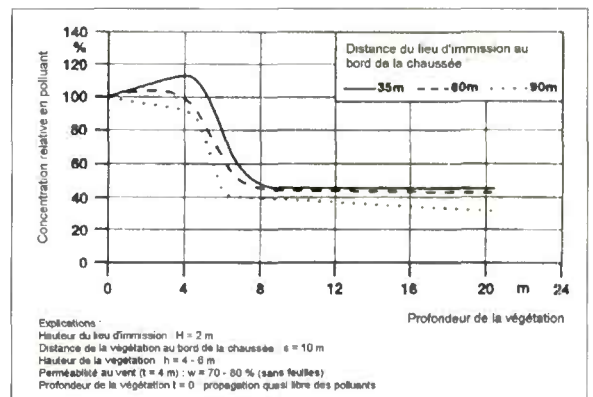


Réduction potentielle des concentrations d'environ 60%. Très bonne filtration des poussières en été, plus réduite en hiver.



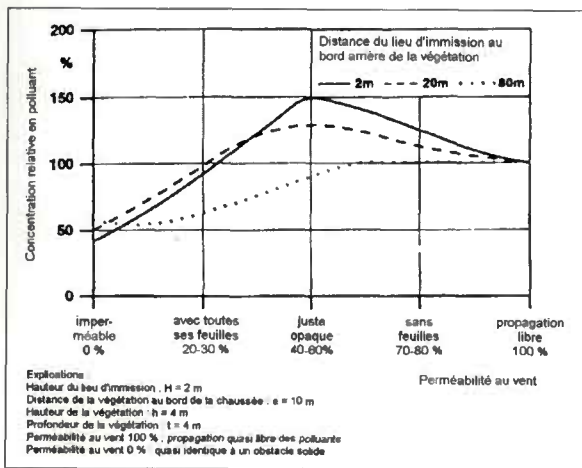
Plantation mixte composée de feuillus et de conifères. Réduction potentielle des concentrations d'environ 60%. En été comme en hiver, très bonne filtration des poussières par déposition. Pas d'augmentation des concentrations gazeuses en hiver, du fait de la présence supplémentaire des conifères.

Des études allemandes, sur l'influence de la profondeur et de la perméabilité au vent des plantations, ont été réalisées en soufflerie.



Exemple d'effet de la profondeur de la plantation sur la concentration (ou immission) en polluants, pour trois distances depuis le bord de la chaussée.

Les faibles profondeurs de végétation conduisent à une augmentation des concentrations en polluants derrière le boisement par rapport à une situation sans plantations. Par contre, pour des profondeurs dépassant 8-10 m, on obtient des réductions importantes des niveaux de pollution.



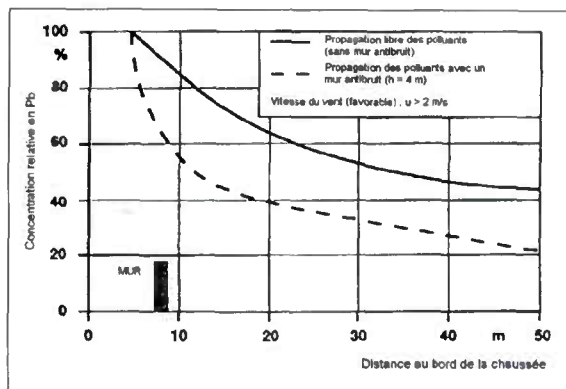
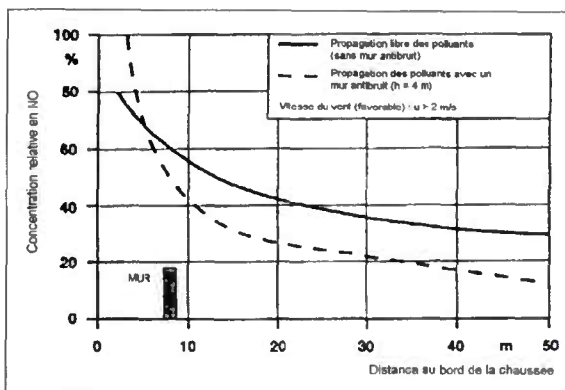
Exemple d'effet de la perméabilité au vent d'une plantation sur la concentration (au lieu d'immission) en polluants, pour trois distances depuis le bord arrière de la végétation.

La faible perméabilité au vent de la zone boisée a un effet réducteur notable sur les niveaux de pollution, à proximité comme à distance des plantations, alors qu'une perméabilité moyenne conduit à une augmentation importante des concentrations à proximité du boisement. Toutefois, il faut signaler que cette étude a été réalisée avec une profondeur de plantation de 4 m, cas le plus défavorable présenté précédemment.

17.4 Influence des écrans acoustiques

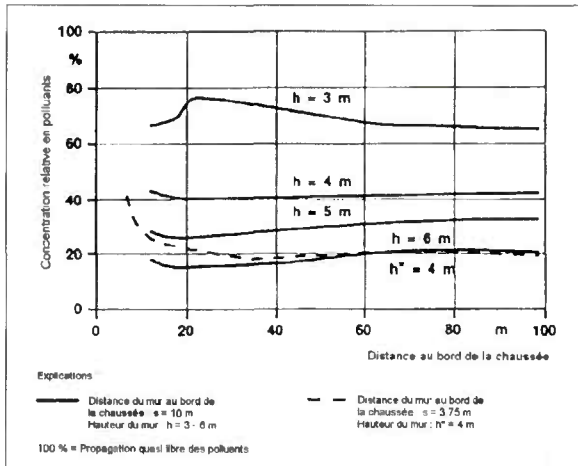
Les écrans acoustiques sont des obstacles physiques, normalement utilisés pour réduire les nuisances sonores à proximité des infrastructures. Des études ont été menées en Allemagne, sur le terrain et en soufflerie, pour connaître leurs effets sur les niveaux de pollution atmosphérique routière de proximité.

Sur le terrain, des mesures ont été réalisées, en Allemagne, sur une section d'autoroute équipée d'un écran acoustique de 500 m de long et de 4 m de haut. Elles montrent un net effet de protection contre les polluants gazeux et les particules. Les concentrations à 50 m du mur dans la direction du vent sont réduites de moitié par rapport à la section sans écran acoustique. Par contre, les concentrations entre le mur et la chaussée sont en hausse.



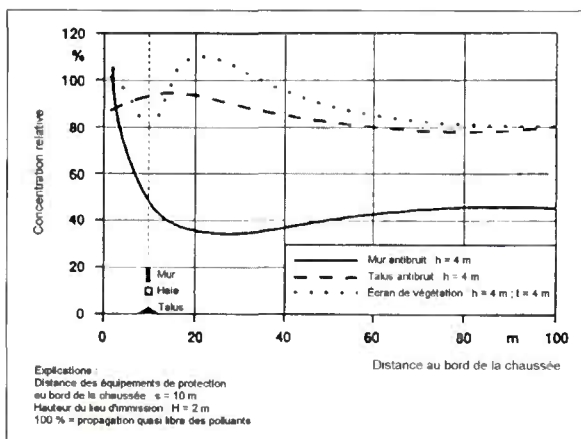
Exemples de l'effet d'un mur antibruit sur la concentration en NO et en Pb.

En soufflerie, deux types d'études allemandes ont été menées : les unes, pour comparer les protections phoniques et les protections végétales ; les autres, pour évaluer l'effet de la variation de la hauteur et de la position de l'écran par rapport à la chaussée.



Exemple de l'effet des murs et talus antibruit et des végétaux sur la propagation des polluants (études en soufflerie).

La comparaison entre les trois types de protection donne un net avantage à un mur antibruit de 4 m de hauteur par rapport au talus et à l'écran de végétation. Cependant, l'écran végétal utilisé n'a que 4 m de profondeur, ce qui offre une protection très limitée.

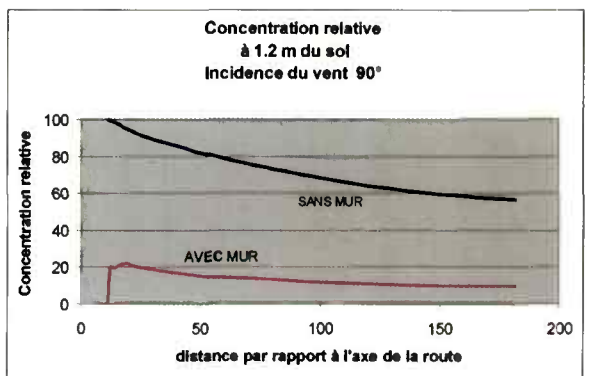
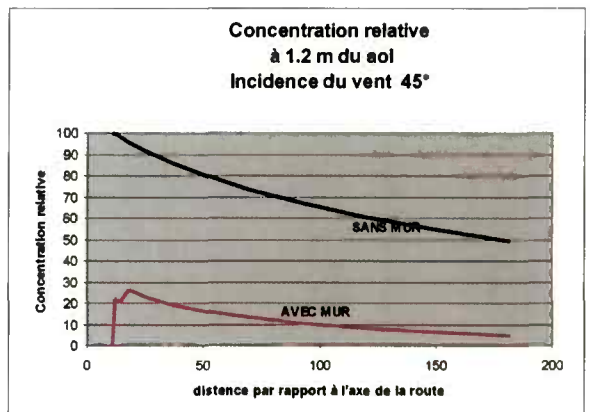


Exemple de l'effet de la hauteur d'un mur antibruit sur la concentration de polluants (études en soufflerie).

Un effet réducteur significatif d'un écran acoustique sur les concentrations des polluants n'est observé que pour une hauteur d'au moins 3 m. De plus, en le rapprochant à 3,75 m de la chaussée, on obtient,

pour une hauteur de 4 m, une protection similaire à celle octroyée par un mur placé à 10 m et haut de 6 m.

Des études, commandées par le Certu, sont en cours de réalisation pour la modélisation de l'effet des murs antibruit sur la dispersion des polluants. Quelques résultats sont d'ores et déjà disponibles. On trouvera, ci-après, l'effet de l'écran moyen français (3,7 m de haut) encadrant une 2x2 voies pour une vitesse de vent de 2 m/s (45 ou 90° par rapport aux voies de circulation). Ces courbes ont été obtenues par simulation 3D et montrent que les écrans agissent de manière non négligeable sur les concentrations (au niveau 1,2 m par rapport au sol) en les réduisant par rapport à une solution ouverte.



17.5 Conclusions

L'utilisation d'obstacles physiques, tels les murs antibruit ou les plantations d'arbres et de buissons, en bordure d'infrastructure peut permettre de réduire la pollution atmosphérique de proximité. Cette limitation de la pollution de proximité réduit le nombre de polluants concernés par de tels dispositifs aux polluants dits primaires, c'est-à-dire ceux directement émis par les véhicules. Pour les polluants secondaires (comme l'ozone), aucun effet n'a encore été mis en évidence.

Compte tenu de l'espace nécessaire à leur implantation, l'utilisation des écrans végétaux est restreinte à des routes aux abords non ou faiblement construits. Par contre, l'utilisation des murs antibruit ne concerne que les milieux urbain ou périurbain. Avant de vouloir mettre en place des mesures de protection, il est important de bien définir les enjeux réels.

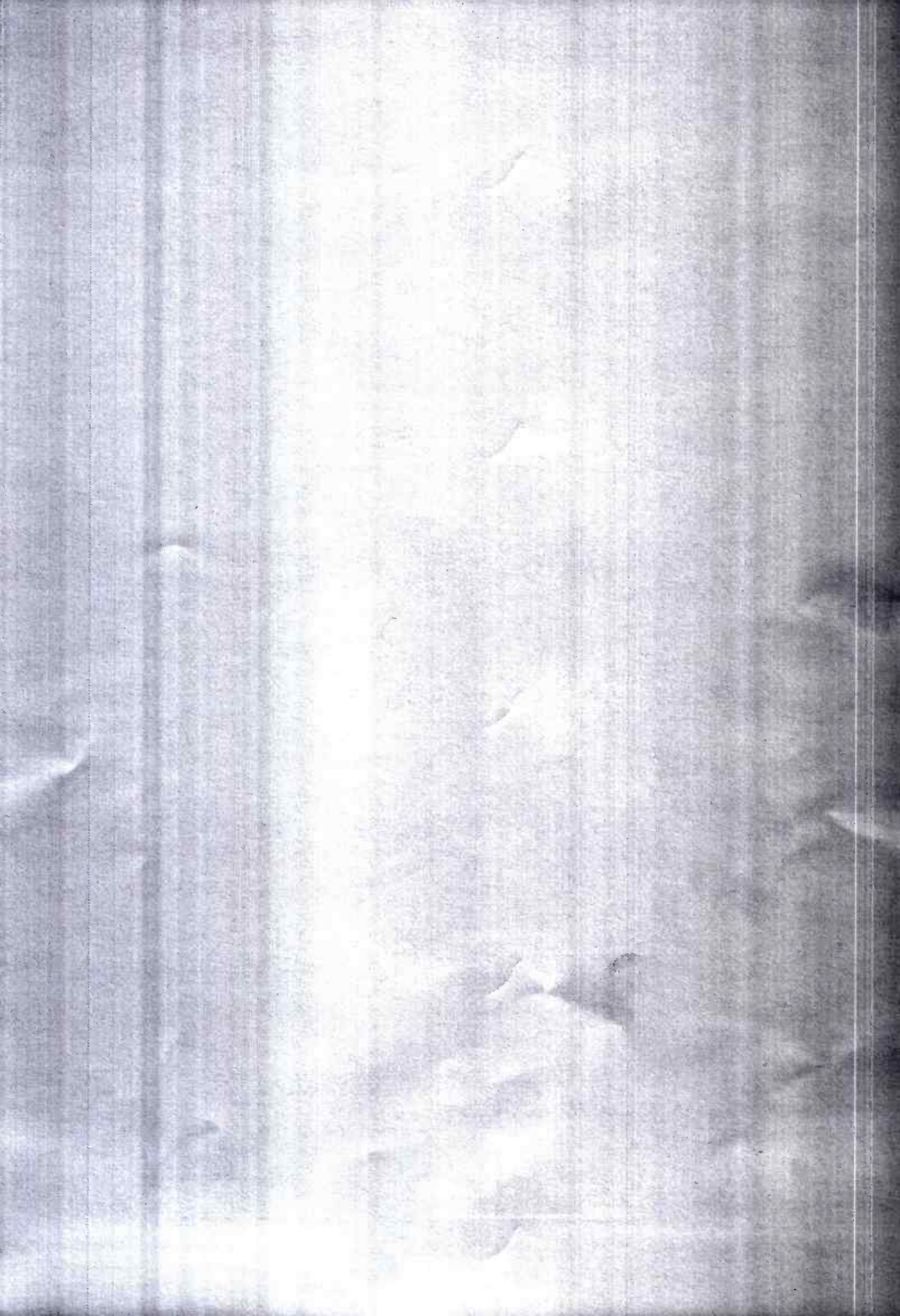
18. Impact des chantiers

En phase chantier, la pollution émise par tous les matériels roulants ainsi que les compresseurs, les groupes électrogènes, etc, peut être considérée comme non négligeable. Des valeurs unitaires d'émissions en polluants et en consommation énergétique sont disponibles dans la littérature spécialisée. Toutefois, si l'on peut estimer l'émission unitaire, il est très difficile de chiffrer l'activité des différents engins de chantier et des camions au moment de l'étude d'impact, étant donné que cette valeur dépend de la stratégie de l'entreprise ayant obtenu le marché bien après l'étude d'impact. Une évaluation de cette pollution est donc hasardeuse et n'apporte rien à l'étude proprement dite. On effleurera seulement le sujet dans les études d'environnement et dans l'étude d'impact.

Une autre forme de pollution est la pollution sensible (odeurs, transparence de l'air, nuages de poussières). Contre les odeurs des engins Diesels ou des centrales à bitume, il n'y a pas de solution mais, contre les poussières, nous avons un remède fort simple à notre disposition : il suffit d'asperger d'eau le sol pendant les travaux de terrassement, évitant ainsi l'envol des poussières. Ce point est très important pour les riverains des travaux ainsi que pour la sécurité des travailleurs. Pour les installations de chantier, il convient de prendre en considération la réglementation ICPE (installations classées pour la protection de l'environnement - juillet 1976). Dans certains cas critiques, il pourra être envisagé d'interdire aux entreprises de continuer certains travaux en cas de direction et de force du vent défavorables aux riverains sur le plan de la pollution atmosphérique.

À ce sujet, il conviendra, bien évidemment, de récupérer les eaux de ruissellement chargées de particules fines et de préconiser, avant le début des travaux, la mise en place de tout dispositif qui permettrait de retenir le maximum de matières en suspension (bassin de stockage, de décantation, dispositifs pour diminuer la vitesse d'écoulement...).

Rappelons enfin, qu'en milieu urbain, l'un des principaux effets des travaux est la perturbation du trafic pendant la période du chantier. Toutefois, l'estimation des pollutions émises est délicate à appréhender et ce point ne sera pas donc abordé dans l'étude d'environnement.



Conclusion

Les progrès effectués dans la prise en compte des réductions des émissions effectuées dans l'industrie, conjugués à la forte croissance du trafic automobile en site urbain, caractérisée par de la congestion et une multiplication de nouvelles infrastructures routières urbaines ou interurbaines, font porter à la circulation la plus grande part de la pollution atmosphérique (mis à part le SO_2).

Si la qualité de l'air s'améliore par réduction de certains polluants, elle se détériore ou stagne sous l'action de certains autres, incitant fortement les citoyens à se mobiliser pour la protection de leur environnement.

Compte tenu des enjeux en matière environnementale et de santé publique, les études d'environnement « air » sont donc appelées à se développer et à s'affiner.

Les nombreux programmes de recherche tant européens (Cost 319, Meet, Copert...) que nationaux (Primequal, Predit...) permettent d'espérer une amélioration sensible des moyens d'investigation et de contribuer, par une connaissance plus fine des phénomènes de pollution atmosphérique d'origine automobile, à rationaliser les critères d'évaluation des nuisances « air ».

Le présent guide, qui est, avant tout, un document modeste d'aide à l'étude, aura, dans ce contexte, une durée de vie limitée.



Annexes

I - Niveaux actuels en polluants

II - Quelques notions de trafic

III - La circulation du parc de véhicules en France

IV - Émissions de polluants et consommation énergétique

V - Cas particulier des NOx

VI - Métrologie

VII - La santé

VIII - L'écotoxicologie

IX - Relations avec les Sig

X - Cas des ouvrages souterrains

XI - Adresses utiles

I. Niveaux actuels en polluants

I.1 Généralités

Les réseaux de mesures ont mis en œuvre des points de mesures à proximité des voies de circulation. Cet équipement devrait être complété ultérieurement dans le cadre des crédits affectés pour l'application de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

On trouvera ci-après quelques résultats (année 1995) concernant des polluants mesurés à proximité des voies de circulation et la comparaison par rapport aux valeurs de qualité de l'air (valeurs tirées du rapport sur la qualité de l'air - Ademe, ministère de l'Environnement). Pour le benzène, les valeurs proviennent de résultats de mesures effectuées sur la région parisienne par le Laboratoire central de la préfecture de Police.

Des relevés d'ozone n'ont pas été incorporés car ce polluant n'est pas un polluant de proximité. En effet, l'O₃ réagit immédiatement avec le NO émis par les véhicules pour former du NO₂.

Actuellement, les relevés en fumées noires (représentatives de la pollution automobile pour des particules inférieures à 5 µm) ne sont pas nombreux en pollution de proximité (la surveillance concerne, surtout, les sites industriels) et il n'est pas possible de les comparer avec les valeurs seuil. Les PM10 étaient très peu mesurées en 1995.

I.2 NO₂, NO et NO_x

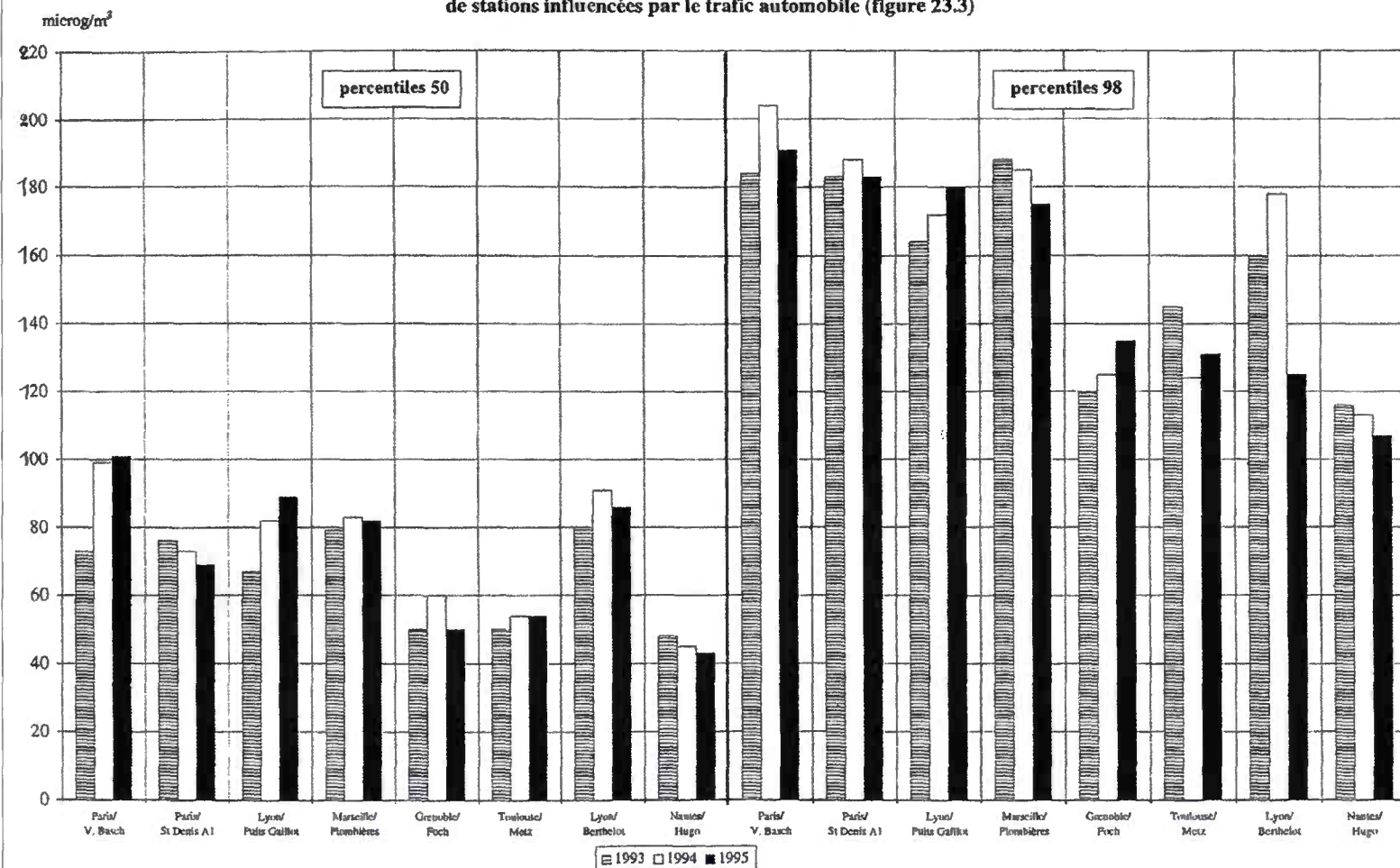
On trouvera, les relevés en NO₂, NO et NO_x des stations de proximité, pour l'année 1995. À lecture de ces graphiques, on peut conclure qu'un certain nombre de points de mesures dépasse, en NO₂, la valeur guide de qualité de l'air (135 µg/m³) actuellement en vigueur au 1/12/97, alors que la valeur limite n'est jamais dépassée (200 µg/m³).

I.3 Oxyde de carbone (CO)

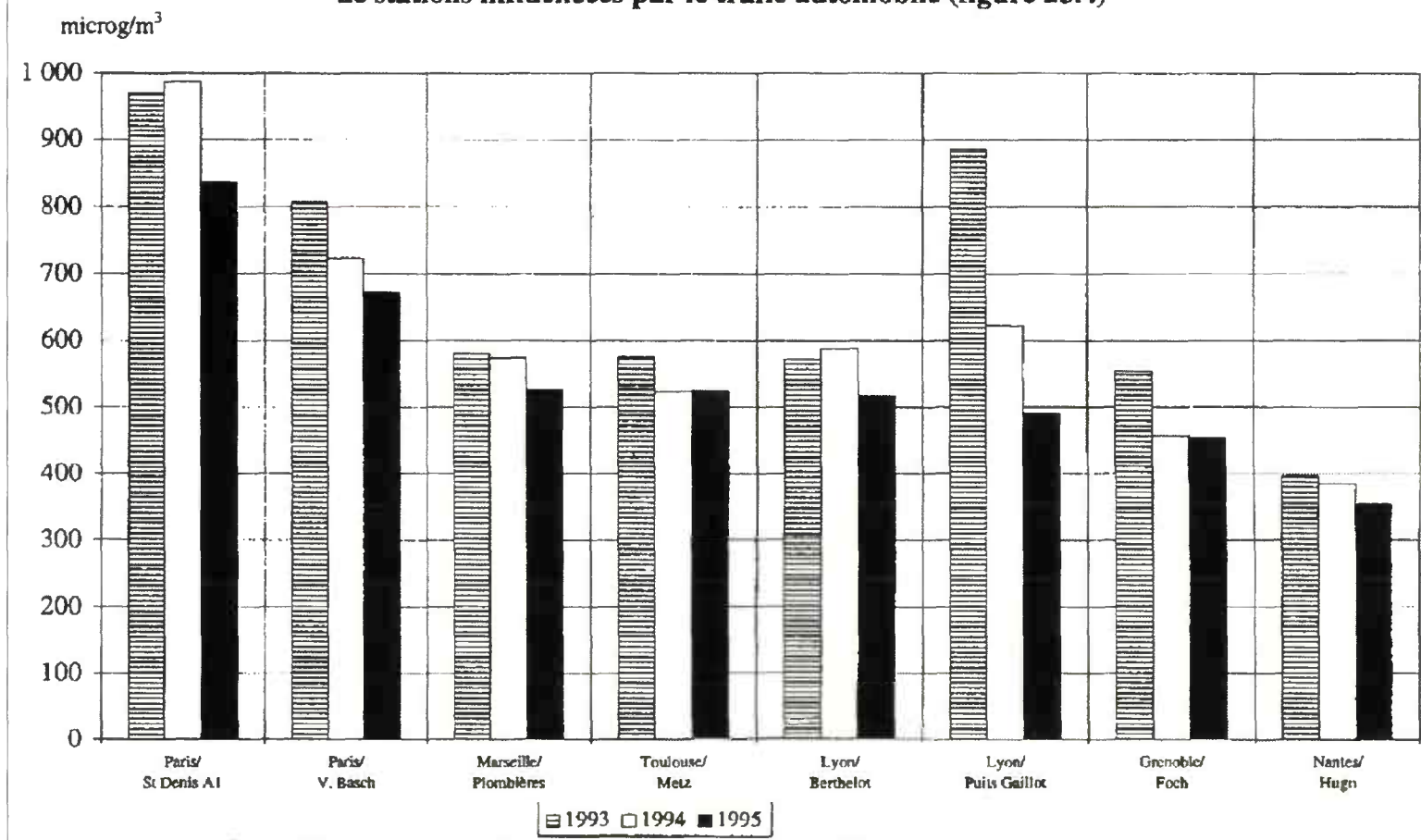
Pour 1995, les valeurs de pointe, recommandées par l'OMS, sont dépassées :

- pour la valeur maximale, sur une heure (30 µg/m³), dans seulement deux sites
- pour la valeur maximale, sur 8 heures consécutives (10 µg/m³) dans 11 sites soit 1/3 des stations des grandes agglomérations et durant quelques jours par an (Paris, Strasbourg, Marseille, Lyon, Nice et Toulouse).

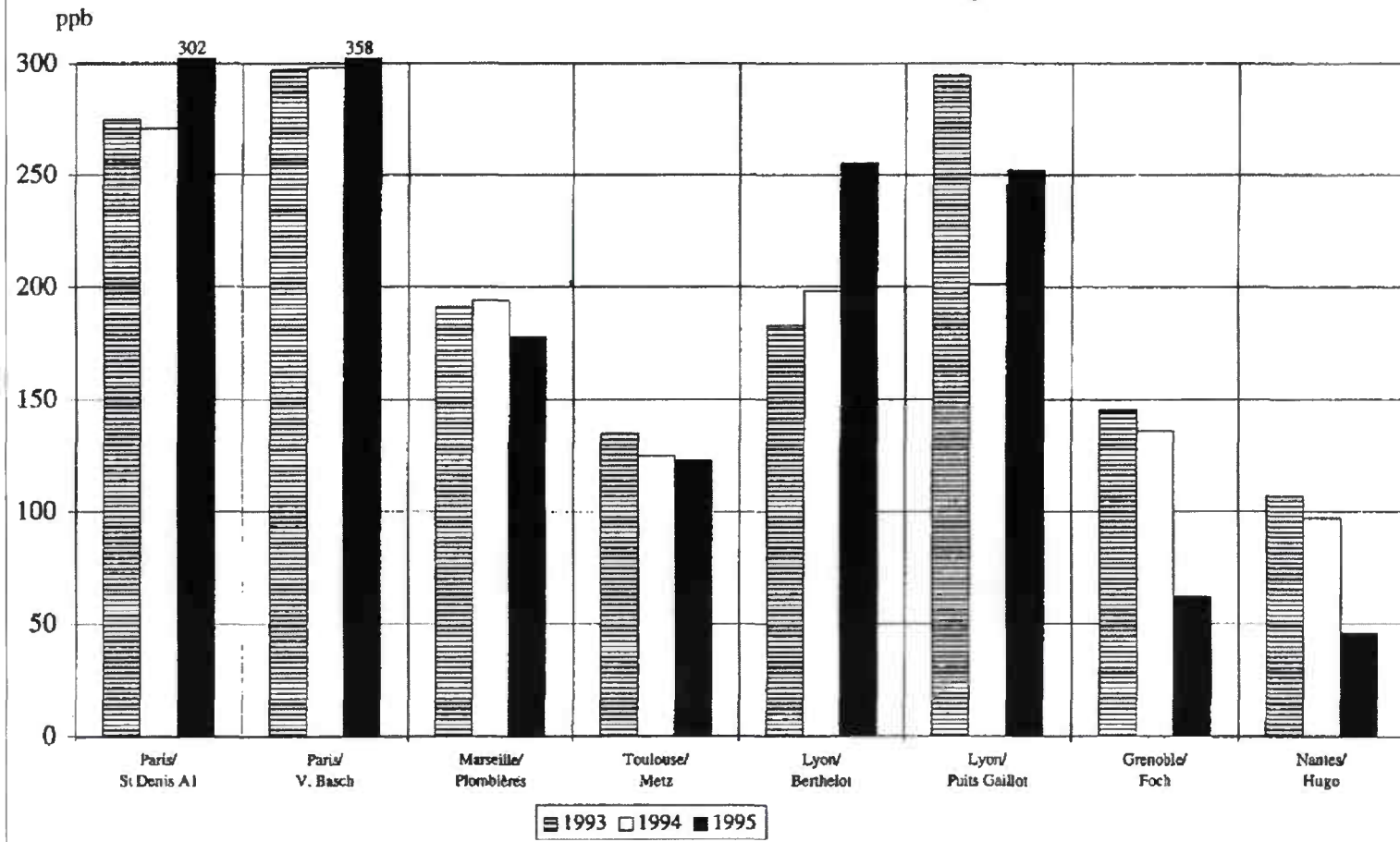
NO₂ : percentiles 50 (médianes) et percentiles 98 (des moyennes 1 h)
de stations influencées par le trafic automobile (figure 23.3)



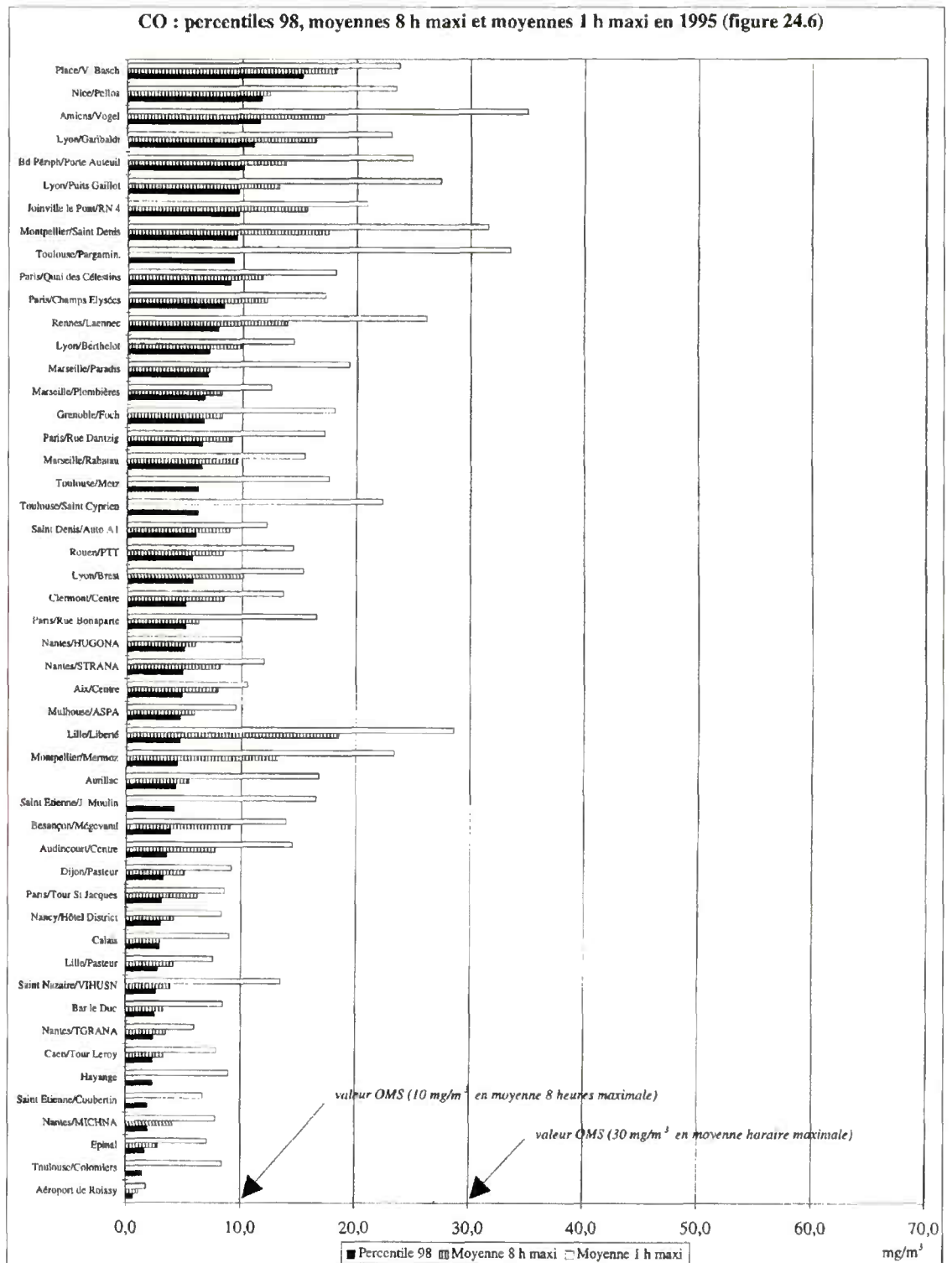
**NO : percentiles 98 (des moyennes 1 h)
de stations influencées par le trafic automobile (figure 23.4)**



**NOx : moyennes arithmétiques annuelles
de stations influencées par le trafic automobile (figure 23.5)**



CO : percentiles 98, moyennes 8 h maxi et moyennes 1 h maxi en 1995 (figure 24.6)



I.4 Benzène (C₆H₆)

Ce polluant vient d'être normé, en France, et peu de sites sont actuellement équipés en capteurs.

On trouvera, ci-après, quelques résultats de mesures effectuées sur la région parisienne par le laboratoire central de la préfecture de Police et Airparif, relatives aux années 1993 à 1998.

MOYENNES ANNUELLES EN BENZÈNE exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$

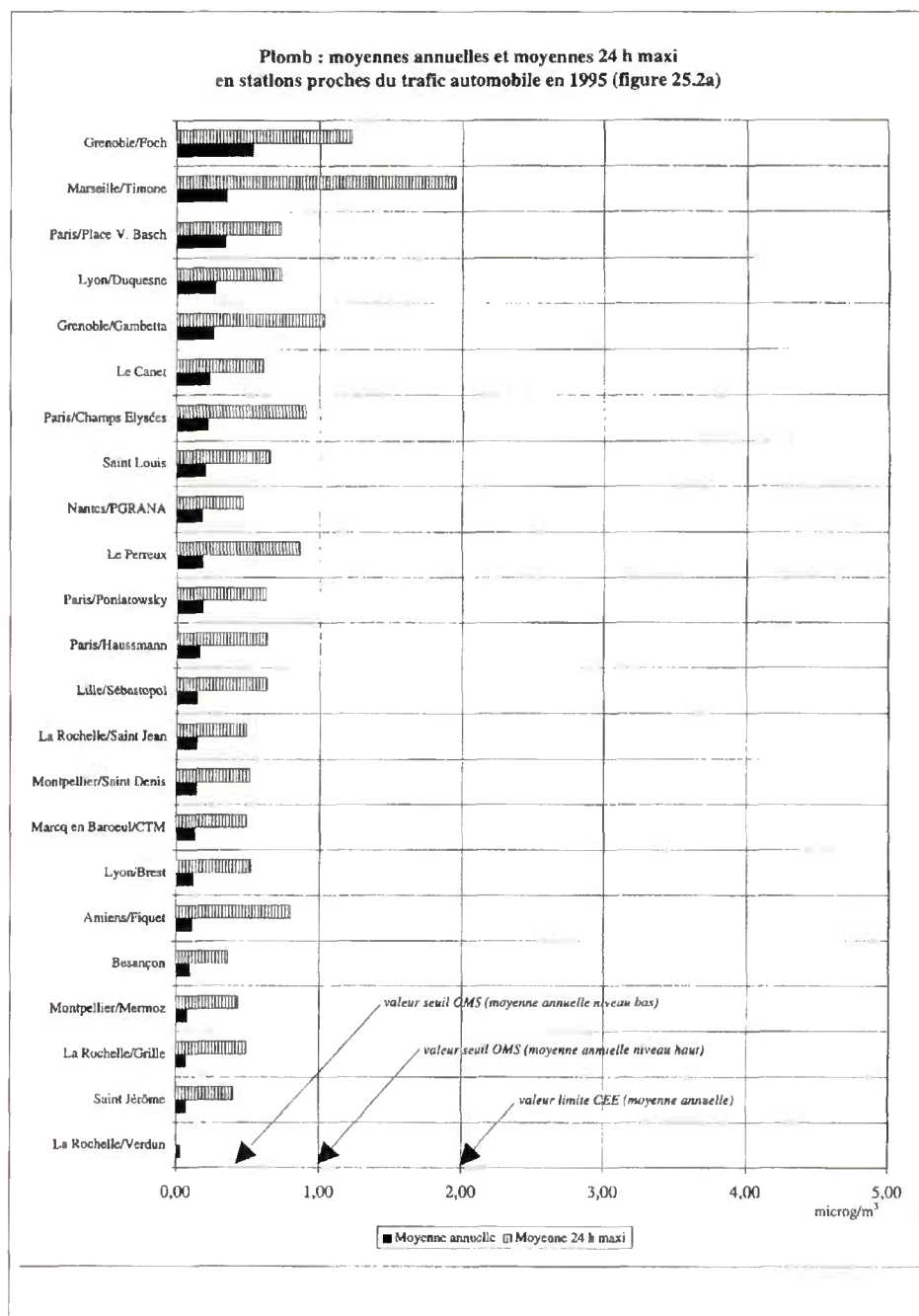
Site	1994	1995	1996	1997	1998
Rue de Dantzig	11,1	10,6	9,8	9,8	8,2
Place V. Basch	31	29,8	29,4	26,7	24,4
Rue G. Eastman		4,8	5	5,1	3,8
Créteil (94)			6	6,8	7,3
Tour St-Jacques Paris (4 ^e)				6,6	5,4
Neuilly-sur-Seine (92)				5,9	4,5
Issy les Moulineaux (92)				6,1	4,2
Saint-Denis (93)				4,6	3,6
Montreuil (93)				4,6	4,1
Genevilliers (92)			4	5,5	3,7

De 1993 à 1998, on peut constater une légère baisse des teneurs moyennes sur les 2 sites de proximité (rue de Dantzig et place V. Basch). Malgré tout, si l'on compare à la nouvelle norme française ($2 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle), on s'aperçoit que la valeur de l'objectif de qualité n'est pas respecté, tant pour les sites de proximité que pour la pollution de fond. La norme française n'introduit pas de valeur limite de qualité de l'air. Toutefois, une valeur limite annuelle de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ a été retenue par le Conseil supérieur d'hygiène publique de France.

Le benzène est donc, à notre avis, un polluant à prendre sérieusement en compte et à ne pas sous-estimer dans les études d'environnement d'infrastructure routière, en proximité directe, dans la bande d'études.

I.5 Plomb (Pb)

En 1995, tous les sites respectent la valeur limite CEE de qualité de l'air. De plus, comme le plomb a disparu du «super» en janvier 2000, ce n'est plus une problématique (hors site industriel).



I.6 Pollution des sols

Une étude, visant à caractériser la pollution atmosphérique de proximité des autoroutes par les éléments métalliques (plomb, zinc, cadmium) a débuté, en 1995, au Setra, en partenariat avec l'Ademe, le BRGM, le ministère de l'Environnement et l'université de Metz.

Cette étude permettra d'évaluer le risque que représentent les éléments métalliques (Pb, Zn, Cd) pour l'environnement et la santé et de dresser un cadre méthodologique applicable aux études d'impact.

Elle devra contribuer à caractériser cette pollution en terme de :

- nature et niveaux de contamination (Pb, Cd, Zn puis hydrocarbures totaux et HAP)
- cinétique de pollution (influence de l'occupation des sols, des paramètres météorologiques et topographiques sur la dispersion des polluants)
- toxicité, dans et hors emprises, vis-à-vis de valeurs seuils existantes et de témoins ou bio-indicateurs.

Plusieurs études ont été menées en Europe. Le tableau ci-après résume les principales teneurs en polluants mesurées à proximité des infrastructures routières.

Par comparaison au tableau du § 13.2 qui donne quelques valeurs guides des polluants du sol, on peut s'apercevoir qu'à proximité des infrastructures, les teneurs en polluants dépassent parfois nettement les valeurs guides.

En ce qui concerne cette étude, les premiers résultats indiquent une contamination réelle, mais limitée et localisée, de l'ensemble des compartiments (sol, végétal, dépôt, escargot) à proximité immédiate de la voie. Les niveaux de contamination décroissent rapidement dans les 40 premiers mètres. Le bruit de fond est généralement atteint entre 20 et 40 m.

La recherche des chlorures (sels de déverglaçage) sur le manteau neigeux persistant (février 1997) confirme la zone d'influence et le rôle déterminant des vents dominants dans la distribution de la pollution de proximité.

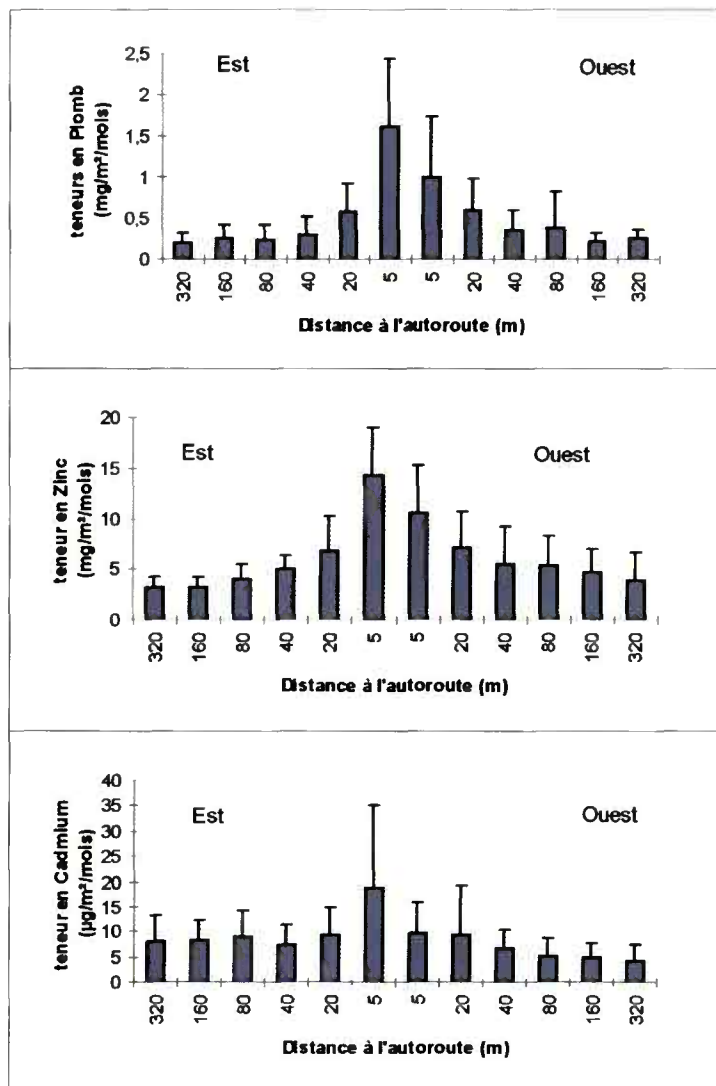
La recherche d'hydrocarbures totaux dans les sols indique un faible niveau de contamination pour les trafics pris en considération.

La pollution par le zinc est importante mais surtout liée aux équipements de la route (glissière, clôture).

La généralisation de l'essence sans plomb se traduit par une baisse significative de ce métal dans les sols à proximité de la route.

À titre d'exemple, voici les teneurs en métaux lourds (tableau ci-après) observées dans les dépôts humides, en fonction de la distance à une autoroute de l'Est de la France :

Flux moyen de déposition en métaux lourds
(moyenne calculée sur l'année 1996) pour une
autoroute en léger remblai avec 40 000 véh/j et
un vent dominant d'ouest :



Source : Promeyrot

Contamination métallique et organique des sols
de surface à proximité des autoroutes :

Sites	Polluants	Teneurs mg/kg de PS		FC proximité	Référence
périphérique anglais 120 000 v/j vent perpendiculaire	plomb	proximité (0 - 1 m)	BF 8500 55	154	Ward, 1990
autoroute italienne construite en 1988	plomb	y=83+3,2 106 x y : teneur en plomb x : nombre de véhicule			Gratani et al., 1992
route italienne 19 200 v/j 10 900 v/j	plomb	proximité	3 - 4 m 162.9 24.4 49.9 33.1		Garcia et Millan, 1994
autoroute italienne 11 001 - 18 000 v/j	5 m plomb cadmium HAP PCB *PCDD *PCDF	20 m = BF 137.3 48.8 0.84 0.36 0.0052 0.02 0.082 0.013 0.068 0.012 0.058 0.014		2.8 2.3 2.6 6.3 5.6 4.1	Benfati et al., 1992
Allemagne route en forêt 3200 v/j	plomb cadmium zinc cuivre nickel naphthalène phénanthrène anthracène chrysène B(a)P B(ghi)pérylène indéno(1,2,3-cd) pyrène	Proximité	BF 245 49 1.96 0.392 241 85 34 23 32 8.2 22 0.083 6.3 0.28 3.7 0.031 32 0.36 20 0.3 43 0.23 27.2 0.14	5 5 2.8 1.5 3.9 265 22.5 119 89 66 187 194	Munch, 1993

FC.: facteur de contamination

*PCDD et PCDF sont exprimés en µg/kg

Source: Setro

II. Quelques notions de trafic

II.1 Pourcentage de poids lourds

Souvent, les spécialistes trafic ne sont pas en mesure de donner au spécialiste «air» des informations sur le trafic PL. Une étude est actuellement en cours sur ce sujet au Certu à partir de comptages effectués sur des voies existantes. On se renseignera donc auprès du Certu, afin d'obtenir les recommandations qui seront publiées ultérieurement.

II.2 Coefficient d'équivalence, vitesse des PL en rampe

Une autre remarque est à formuler pour les poids lourds: elle concerne leur coefficient d'équivalence en uvp et leur vitesse, lorsque la rampe dépasse 2%. Cet élément «déclivité» n'est pas pris en compte dans les modèles de simulation de trafic induisant donc de fortes erreurs sur les courbes débit - vitesse introduites dans les modèles sauf dans le cas d'installation d'une VSVL (voie spéciale pour véhicules lents) où les PL se retrouvent alors tous sur cette voie affectée aux véhicules lents. Par contre, s'il n'y a pas une VSVL, les VL et PL sont intimement mélangés et la vitesse du flot est celle relative aux PL. Afin de pouvoir corriger les courbes débit-vitesse sur les portions de voirie à déclivité supérieure à 4% (bien que l'influence sur les PL se fait sentir à partir de 2 %), il est proposé, ci-après, d'une part un tableau donnant le coefficient d'équivalence (k) des PL en fonction de la déclivité et, d'autre part, un graphique donnant la vitesse des PL en fonction de la rampe (longueur et déclivité). Concernant ce dernier point, on peut également utiliser le programme Diavi, mis au point par le Cete de Lyon. Il convient de souligner que le diagramme présenté ci-après ne tient compte que des PL à haute motorisation et, qu'en cycle urbain, il conviendrait théoriquement de prendre en compte un véhicule type moins performant. De même pour certains itinéraires, les caravanes posent un problème en rampe. On se référera pour plus de détails au HCM (Highway

Capacity Manuel) qui traite des «recreational vehicles» (table 7.9).

En interurbain, la rampe est prise en considération, dans le programme Ariane, dans le calcul des temps de parcours. Ceci a un effet sur:

- l'affectation et le choix de l'itinéraire via l'intermédiaire des courbes débit-vitesse
- le calcul économique via l'intermédiaire des gains de temps.

Cependant, la vitesse (ou temps de parcours) n'apparaît pas comme un résultat proprement dit et il conviendra donc de les réévaluer, dans le cadre des études d'environnement.

Influence des déclivités sur le coefficient d'équivalence

% de la rampe longueur de la rampe	4 %	5 %	6 %
0 - 500 m	4	5	6
500 - 1000 m	5	6	7
> 1000 m	7	8	9

Nous rappellerons simplement que le passage des débits en véh/h aux débits en uvp s'effectue par l'intermédiaire d'une des 2 formules ci-après (en négligeant les 2 roues):

$$N_{\text{tot, uvp}} = N_{\text{vl}} + k N_{\text{pl}}$$

ou

$$N_{\text{tot, uvp}} = N_{\text{tot, véh}} (1 + k p\%)$$

avec

$N_{\text{tot, uvp}}$: nombre total de véhicules exprimé en uvp

N_{vl} : nombre total de véhicules légers (VL)

N_{pl} : nombre total de poids lourds (PL)

$N_{\text{tot, véh}}$: nombre total de véhicules (VL + PL)

k: coefficient d'équivalence des PL (sur le plat $k = 2$)

p%: pourcentage de PL par rapport au trafic total (VL + PL)

II.3 Tonnage des PL

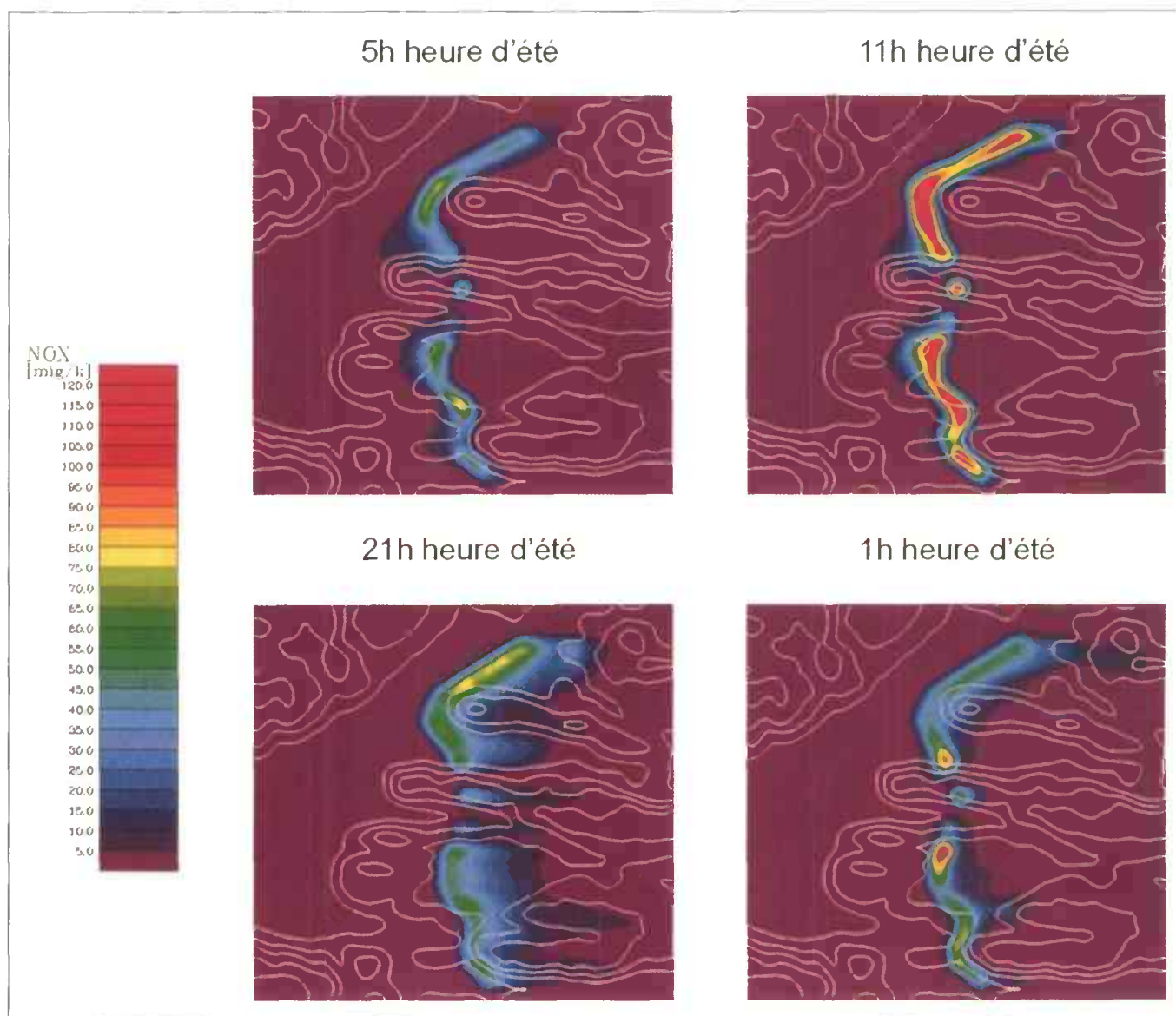
La dernière remarque à formuler concerne le poids des PL. En effet, les émissions pour les PL sont données dans Copert II (cf. annexe III et chapitre 6.3) en fonction du tonnage des PL (4 classes de poids différentes). Dans l'attente d'études spéciales sur ce sujet, on se contentera de chiffres moyens.

II.4 Répartition 0-24h des trafics

Dans le cas où les spécialistes «trafic» sont dans l'impossibilité de fournir les éléments de circulation nécessaires à l'étude «air», tant pour le trafic VL que pour le trafic PL, il conviendra de prendre contact avec le Certu qui est en train d'analyser, sur différents types de voies, la répartition 0-24 h des trafics. Cette étude fera l'objet d'une publication ultérieure.

Comme, tout au long de la journée, les conditions de trafic changent ainsi que les conditions météorologiques, les concentrations évoluent. On trouvera ci-après quelques résultats de concentrations obtenus, à différents moments de la journée, à partir d'une modélisation mathématique.

L'exemple illustre les concentrations de NO_x autour d'un projet autoroutier qui franchit une série de collines et vallées orientées est ouest. La modélisation réalisée heure par heure (modèle Mar) prend en compte les tunnels et viaducs, la topographie, la variation des trafics et l'évolution météorologique type d'une journée chaude d'été anticyclonique avec inversion thermique. En particulier, les quatre figures ci-après visualisent l'effet des brises thermiques sur les concentrations.



Source: Cete de Lyon

À 5 h, heure d'été, brise de nuit: l'air frais s'écoule le long des pentes; cet excédent d'air entraîne les polluants vers l'ouest, à la sortie de la vallée.

À 11 h, heure d'été, en raison de l'immobilité de l'atmosphère et du trafic important, les polluants restent à proximité de l'autoroute: les concentrations s'élèvent.

À 21 h, heure d'été, l'ensoleillement intense de la journée a réchauffé le sol. La brise de vallée remonte le long des pentes et crée un appel d'air d'ouest vers l'est. Les concentrations sont modérées.

À 1 h, heure d'été de nouveau, par suite du refroidissement du sol, l'atmosphère se stabilise et les émissions de polluants restent à proximité de l'autoroute.

La circulation du parc de véhicules en France **III.**

Pour évaluer les émissions et la consommation de véhicules en circulation, il est nécessaire de connaître la distribution du parc français en termes de classes homogènes au regard de la consommation et des émissions, ainsi que le kilométrage moyen annuel de chaque classe. On introduit ici la notion de «structure de trafic» ou de «**parc roulant**» qui permet la prise en compte de la probabilité **de présence dans la circulation** de chacune de ces classes, afin de réaliser la pondération nécessaire à l'évaluation de facteurs d'émission moyens.

Les estimations du parc français actuel se fondent sur les travaux du CCFA (Comité des constructeurs français de l'automobile) et du Citepa (Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique). Or, la croissance du parc et du trafic s'accompagne de changements de structure déterminants pour l'évaluation des émissions et de la consommation liées à la circulation routière. Des travaux récents, encadrés par l'Inrets et l'Ademe, ont permis de déterminer la structure prévisionnelle du trafic en France, année par année jusqu'en 2020.

III.1 Le parc automobile et la mobilité : faits marquants

Depuis les années soixante-dix, la mobilité des personnes et des marchandises a très fortement progressé, tant en France que dans le monde. Ce phénomène de société, lié notamment à l'urbanisation et à l'activité économique, se manifeste par un accroissement très important de la circulation et du parc automobile et s'accompagne de profondes évolutions de structure.

On compte actuellement près de 30 millions de véhicules, dont environ 25 millions de voitures particulières et 5 millions d'utilitaires (hors deux-roues motorisés estimés à environ 3 millions d'engins). En vingt-cinq ans, le taux de motorisation des ménages est passé de 250 à un peu plus de

400 véhicules pour 1000 habitants, selon L. Hivert (Inrets), tandis que l'on constatait un doublement du trafic des véhicules particuliers, avec un large recours à la diésélisation encouragé par une fiscalité avantageuse. Parallèlement, le trafic routier de marchandises a augmenté de 70% entre 1970 et 1992.

La répartition du trafic par type de voirie, estimée à 32% en ville, 49% sur route et 19% sur autoroute, est également susceptible d'évoluer. Le groupe de travail du Snadt a ainsi estimé que les plus fortes hausses de trafic sont attendues sur le réseau autoroutier national, entre 1990 et 2015, avec +155% pour les voitures particulières et +112% pour les poids lourds de PTAC supérieur à 10t.

Un autre fait marquant est la forte croissance du trafic automobile urbain et périurbain qui a enregistré une hausse nettement supérieure à celle des transports collectifs. La grande majorité des déplacements urbains de passagers est désormais assurée par l'automobile, avec une proportion importante de courts trajets : pour les voitures particulières, en moyenne, un déplacement urbain sur deux est inférieur à 3 km. Les prévisions du Snadt tablent sur une hausse de trafic urbain de 40% pour les voitures particulières et de 100% pour les véhicules utilitaires légers entre 1990 et 2015.

III.2 Le parc en service ou «parc statique»

Le parc automobile d'une année donnée est constitué de véhicules neufs immatriculés la même année et d'un certain nombre de véhicules anciens encore en circulation, immatriculés au cours des années précédentes. Le nombre de véhicules neufs immatriculés chaque année est connu grâce aux cartes grises délivrées par les préfetures lors de l'acquisition d'un nouveau véhicule.

En revanche, il est difficile d'estimer par ce biais le

nombre de véhicules des années précédentes encore en circulation au moment du calcul, car les cartes grises des véhicules détruits ne sont pas toutes systématiquement retournées aux préfectures. Des recherches ont donc été effectuées à partir d'enquêtes réalisées auprès des citoyens et des entreprises, ainsi qu'à partir de statistiques sur les cartes grises restituées et les vignettes délivrées, afin d'établir des lois de survie pour différentes catégories de véhicules. Ce type d'enquête permet aussi de connaître le kilométrage annuel des véhicules, ainsi que la part effectuée en ville, sur route et sur autoroute.

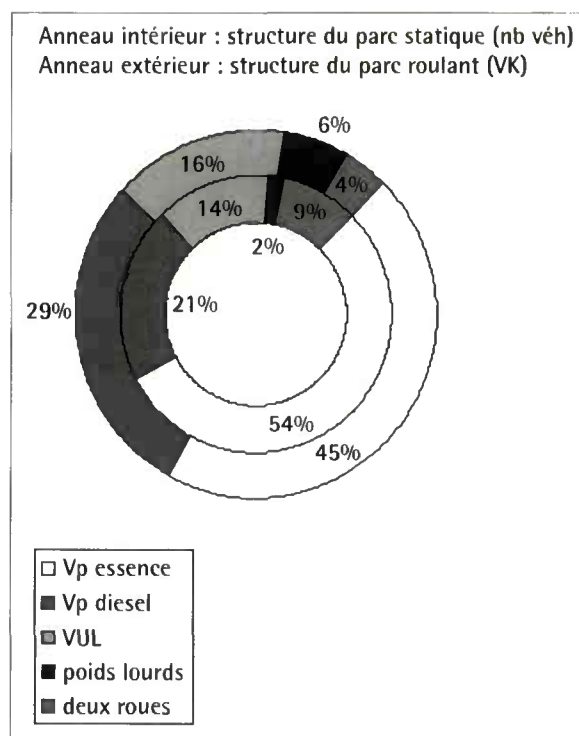
Pour estimer la structure du parc futur à partir d'une année donnée, chaque volume d'immatriculations antérieures est multiplié par un coefficient de survie différent selon l'âge, le carburant et la taille considérée, soit la part de tous les véhicules du même âge encore en vie. La somme des véhicules anciens subsistants et neufs de l'année est appelée « parc statique » ou « parc en service ».

III.3 Du parc statique au parc roulant

La connaissance du parc statique ne renseigne que sur le nombre de véhicules en état de rouler. Cette information est insuffisante pour rendre compte de leur probabilité de présence dans la circulation. En effet, les distances parcourues annuellement varient en fonction de l'âge du véhicule (les véhicules anciens parcourent moins de kilomètres par an que les véhicules récents), du type de motorisation et de la puissance (les véhicules Diesel roulent plus que les véhicules à essence ; les grosses cylindrées, plus que les petites) et de la dimension des poids lourds (les poids lourds de PTAC supérieur à 19 t ont un kilométrage annuel moyen de 38000 km, alors que les camions de moins de 6 t parcourent environ 20000 km par an).

Aussi la notion de « structure de trafic » ou de « parc roulant » est-elle introduite ici : il s'agit de la répartition du trafic (exprimé en véhicules-kilomètres) en classes homogènes de véhicules, le nombre de véhicules de chaque classe étant pondéré par son coefficient d'utilisation (rapport entre le kilométrage annuel moyen de la classe et le kilométrage annuel moyen de l'ensemble des classes). En formulant l'hypothèse que la segmentation du parc roulant en classes homogènes sur la zone étudiée est identique à celle du parc roulant national, on admettra l'équivalence entre la part du volume de trafic national assuré par une classe donnée et sa probabilité de présence dans la circulation.

Le graphique suivant montre la structure du parc statique et du parc roulant pour l'année 1995.



Source : CITEPA - Estimation du trafic routier en France métropolitaine en 1995, 1996

Comparaison des structures de parc statique et de parc roulant par nature de véhicule, en 1995

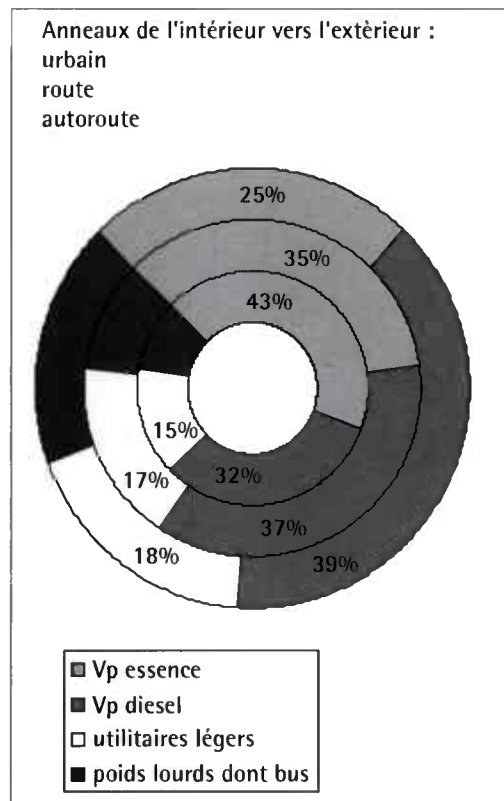
La comparaison des structures de parc statique et de parc roulant montre qu'en 1995 :

- les Diesel ne constituent que 28% du parc statique de voitures particulières, alors que leur part dans le kilométrage parcouru - donc leur taux de présence sur la voirie - atteint 40% du kilométrage total des voitures particulières.
- le fort kilométrage annuel des poids lourds entraîne une présence moyenne sur la voirie de 6%, tandis qu'ils ne représentent que 2% du parc statique de véhicules
- la situation est inversée pour les deux-roues avec 4% de présence sur la voirie et 9% du parc statique.

III.4 Observation du parc actuel et de son évolution

Les travaux effectués à l'Inrets sur l'évolution future du parc roulant, en France, nous permettent de disposer de la part du kilométrage effectué par chaque classe de véhicule en pourcentage du volume total de trafic et ce, pour chaque année, jusqu'en 2020. Cette information est indispensable pour estimer les facteurs moyens d'émission unitaire pour l'ensemble du parc français, par la prise en compte de la présence effective dans la circulation des véhicules de chaque classe homogène.

Ces travaux ont permis de déterminer une répartition du kilométrage annuel effectué par chaque classe de véhicule selon le type de voirie (urbaine, routière, autoroutière); trois structures de parc roulant ont ainsi été obtenues, permettant de tenir compte des disparités entre types de voirie. La répartition du trafic en 4 grandes catégories de véhicules, estimé pour l'an 2000 sur ces 3 types de voirie, est donnée par la figure suivante :



Source : B. Bourdeau (INRETS)

Comparaison de la structure de trafic (VK) en ville, sur route, sur autoroute, pour l'année 2000

Nous insisterons, dans ce qui suit, sur les particularités du trafic urbain quand des différences notables ont pu être mises en évidence par rapport aux données « tous types de voirie confondus ».

III.4.1 Voitures particulières essence et Diesel

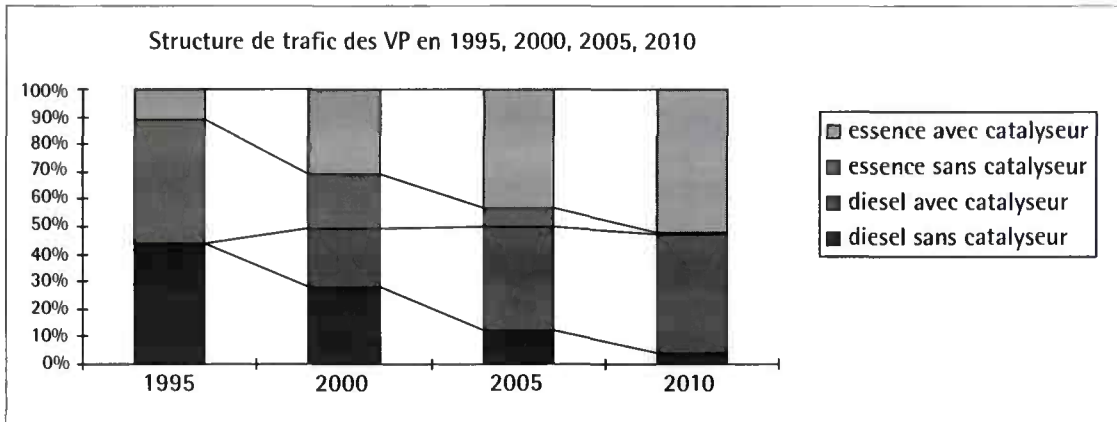
Avec une part de marché du Diesel qui a frôlé les 50% des voitures particulières, la France est, avec la Belgique et l'Autriche, le pays d'Europe connaissant le plus fort taux de diésélisation. Cette part de marché a cependant accusé une inflexion notable depuis les deux dernières années : de 47,5% fin 1994, elle a baissé à 46,5% fin 1995, puis à 39,1% fin 1996. Ses évolutions peuvent donc être fort contrastées. D'après les travaux de prospective de parc de l'Inrets,

en France, la proportion de véhicules Diesel dans le parc en service est passée de 15% en 1990 à près de 30% en 1995 et devrait se stabiliser autour de 35% à l'horizon 2000-2005. Toutefois, les voitures Diesel ayant un kilométrage moyen supérieur à celui des voitures à essence, elles participent à hauteur de 50% au kilométrage total effectué par les voitures particulières en l'an 2000.

Les voitures particulières essence non catalysées, mises en circulation avant le 1/1/1993, constituaient la grande masse du parc statique de voitures particulières en circulation en 1995 (environ 60%) avec 45% du kilométrage parcouru (tous types de voirie); ces véhicules émettent des quantités beaucoup plus importantes de CO, de HC et de NOx que les voitures essence catalysées, mais aussi que les voitures Diesel; aussi, nous porterons une attention particulière aux facteurs d'émission réelle de ces véhicules et à leur contribution aux émissions moyennes des toutes prochaines années; en effet, ils contribuent encore pour 20% au kilométrage parcouru par les voitures particulières en l'an 2000 (tous types de voirie) et pour 40% au kilométrage parcouru en ville.

On retiendra que la voiture roulant le plus fréquemment en ville, fin 1992, avait 6,33 ans d'âge pour 70 100 km au compteur, et effectuait environ 11 100 km/an; ces valeurs sont restées stables durant plusieurs années.

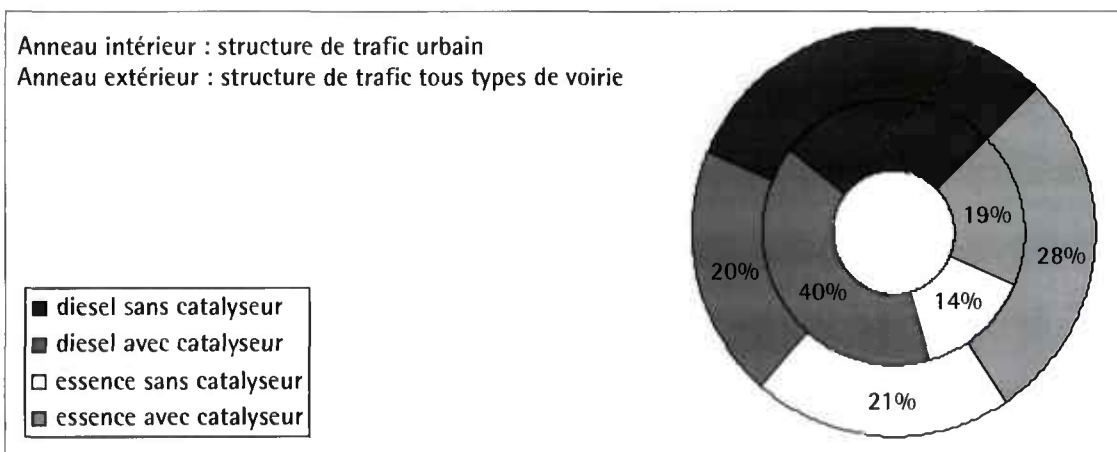
La figure suivante montre l'évolution de la structure de trafic des voitures particulières réparties en quatre catégories: VP essence sans catalyseur produites avant 1993, VP essence avec catalyseur produites à partir de 1993, VP Diesel sans catalyseur produites avant 1997, VP Diesel avec catalyseur produites à partir de 1997.



Source: B. Bourdeou (INRETS)

Évolution de la structure de trafic (VK) des voitures particulières moyenne nationale, tous types de voirie

La figure suivante illustre les différences de structure de trafic des voitures particulières présentes sur voirie urbaine et en moyenne nationale. On notera que 33% du kilométrage total parcouru par les voitures particulières en France est effectué en ville (année 2000).



Source: B. Bourdeou (INRETS)

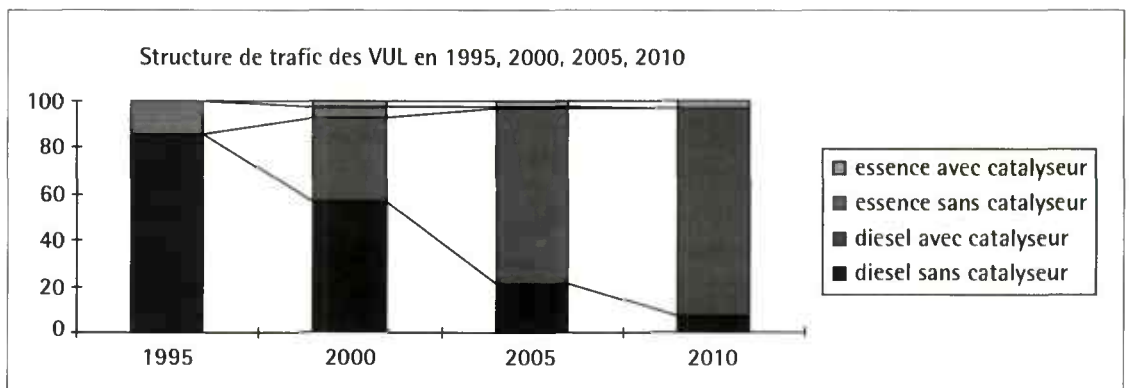
Comparaison de la structure de trafic (VK) des VP «urbains» et «tous types de voirie» pour l'année 2000

III.4.2 Parc de véhicules utilitaires légers

Le parc de VUL s'est accru au même rythme que les VP (8-9%) sur la période 1990-1995, avec une tendance marquée à la diésélisation, passant de 45% du parc en 1990 à 70% en 1995 ; plus de 90% des nouvelles immatriculations de VUL portent sur des motorisations Diesel.

En l'an 2000, la proportion de trafic de VUL assuré par des véhicules produits avant que leurs émissions ne soient réglementées en octobre 1994, est encore de 35% ; en l'an 2005, elle sera de 12%. La figure ci-dessous montre la répartition des VUL en quatre catégories, à différents horizons ; elle illustre également l'écrasante majorité des Diesel dans les kilomètres parcourus par les VUL.

On notera que 28% du kilométrage parcouru par les VUL a lieu en ville (2000) ; la structure du trafic en catégories de VUL en ville est très proche de la moyenne nationale, donnée dans la figure suivante.



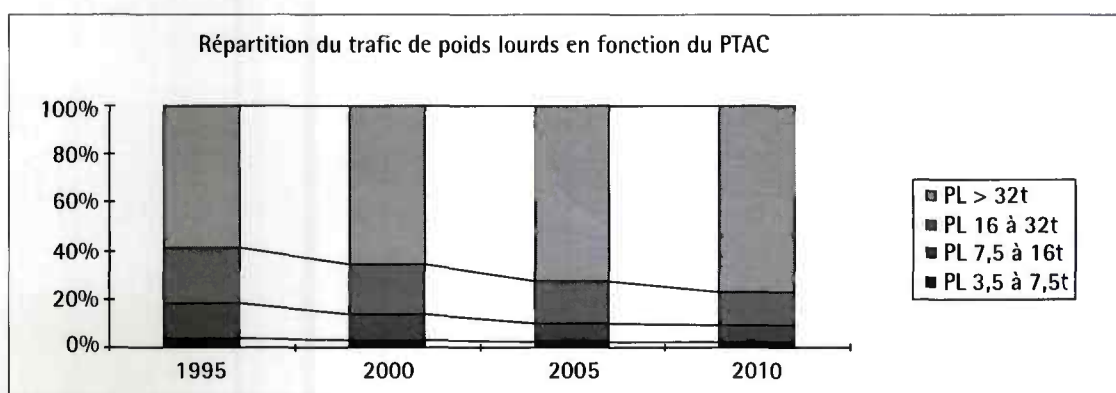
Source : B. Bourdeau (INRETS)

**Évolution de la structure de trafic des VUL,
tous types de voirie**

III.4.3 Poids lourds de PTAC > 3,5 t

Le nombre total de véhicules utilitaires lourds (camions et tracteurs routiers) immatriculés en France est resté stable entre 1990 et 1996, mais avec une tendance à l'augmentation du tonnage; la part des véhicules ayant un PTAC > 16 t est passé de 50% en 1990 à plus de 60% en 1996.

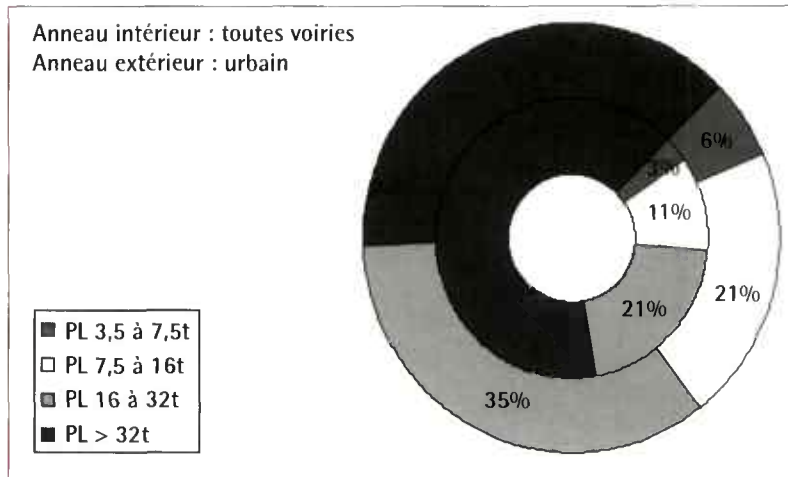
Au total, le parc de bus et cars a augmenté de 15% entre 1990 et 1996. Sur cette même période, le nombre de minibus (PTAC < 3,5 t) a diminué d'un facteur 4, tandis que le nombre de cars et bus de PTAC > 3,5 t a augmenté de 82%.



Source: B. Bourdeau (INRETS)

Évolution de la structure de trafic des poids lourds en fonction du PTAC tous types de voirie

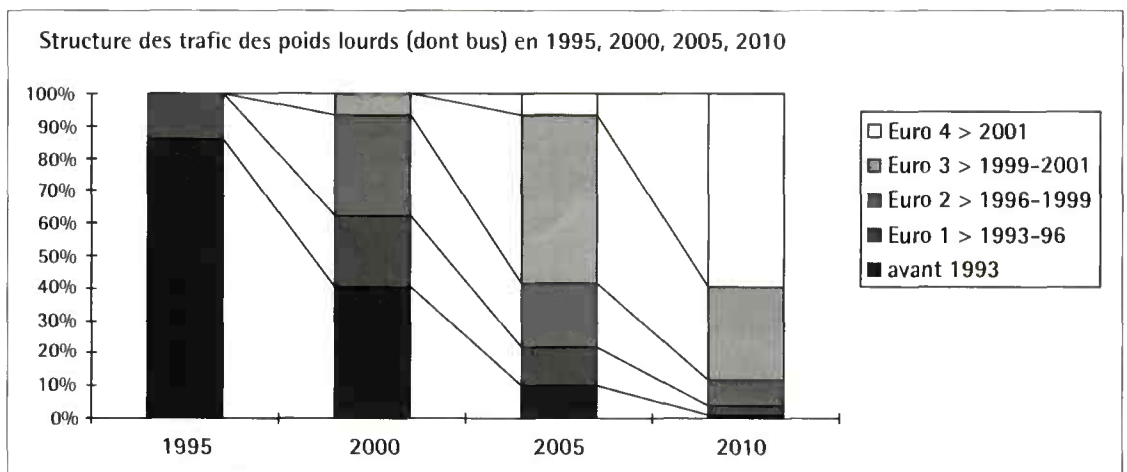
Des différences notables peuvent être constatées entre les structures de trafic en terme de PTAC sur voirie urbaine et en moyenne nationale. En effet, les poids lourds de PTAC < 32 t représentent 62% du trafic urbain de poids lourds contre 35% du trafic national, tous types de voirie confondus.



Source : B. Bourdeau (INRETS)

Comparaison de la structure de trafic des poids lourds en fonction du PTAC Trafic «urbain» et «tous types de voirie»

La figure ci-dessous montre la pénétration dans le parc de poids lourds des véhicules conformes aux nouvelles et futures réglementations ; on notera qu'en l'an 2000, environ 40% du trafic de PL est encore réglementation Euro 1, introduite en octobre 1993. Cette évolution de structure en classes réglementaires est similaire en ville et sur les autres types de voirie.



Source : B. Bourdeau

Évolution du parc roulant national de PL par classes de réglementation tous types de voirie

III.4.4 Deux-roues motorisés

Le nombre total de deux-roues en circulation est d'environ 3 000 000; il a diminué de 5% entre 1990 et 1995. Ce parc est composé à 72% de mobylettes à motorisation 2-temps < 50 cm³ dont le nombre diminue; seul le nombre de 4-temps a augmenté pendant cette période (+ 14%). Malgré un kilométrage annuel, estimé à environ 7 000 km/an, faible en comparaison avec le trafic des 4-roues, on s'efforcera de tenir compte de la contribution à la pollution, notamment en ville, des deux roues dont la première réglementation des émissions n'a été imposée qu'en 1999 pour les nouveaux engins. En effet, une motocyclette 2-temps émet autant de CO et 5 fois plus de COV qu'une voiture essence non catalysée.

IV. Émission de polluants et consommation énergétique

IV.1 Principes de base

Les véhicules présents sur un axe ou une zone à un instant donné peuvent être répartis en différentes classes homogènes au regard de leurs émissions (ex: véhicules particuliers, motorisation Diesel, mis en service entre le 1/1/93 et le 31/12/96).

Si l'on s'intéresse aux émissions d'un polluant donné, on peut calculer ainsi la quantité émise par un ensemble de véhicules de différentes classes, soumis à des conditions de circulation données :

$$Q_i = \sum_j VK_j * e_{ij}$$

où

l'indice i caractérise le polluant étudié

l'indice j caractérise la classe de véhicules

Q_i représente la masse du polluant i émise par cet ensemble de véhicules (en grammes)

VK_j , la distance cumulée parcourue par les véhicules de classe j (en véh.km) ;

e_{ij} est le facteur d'émission unitaire caractéristique du polluant i et des véhicules de classe j (en g/km)

De même, pour la consommation, $Q_{carb} = \sum_j VK_j * e_{carb,j}$, où Q_{carb} est la quantité de carburant consommée (en grammes) et $e_{carb,j}$ la consommation unitaire des véhicules de classe j (en g/km).

Étant donnée l'analogie entre consommation et émissions, on traitera la consommation de carburant de la même façon que l'émission de polluants dans la suite du texte, sauf précision particulière.

L'application de cette méthode de calcul suppose donc que l'on dispose d'une estimation du volume du trafic concerné (en véh.km) pour chaque classe de véhicule (dans un espace et pendant une durée déterminés) et, d'autre part, des facteurs d'émission de chaque classe de véhicules circulant sur la voirie étudiée.

Pour des conditions de circulation données, le facteur d'émission unitaire moyen f_i d'un ensemble de véhicules quelconque est la moyenne, pondérée par leur présence dans la circulation, des facteurs d'émission des différentes classes de véhicules que l'on notera :

$$f_i = \sum_j e_{ij} * p_j$$

où

p_j est la proportion de véhicules-kilomètres effectués par les véhicules de la classe j, en % du volume du trafic exprimé en véhicules-kilomètres.

L'élaboration de facteurs d'émissions unitaires moyens du parc en circulation à une date donnée résulte d'un processus assez complexe, dont les grandes lignes sont données ci-dessous.

IV.2 Facteurs d'émissions unitaires moyens

Un grand nombre de résultats ont été acquis sur les émissions réelles des véhicules légers par les laboratoires français (Inrets, Utac, constructeurs automobiles...). Toutefois, le coût de ces campagnes de mesure étant très élevé, seule une coopération européenne active permet de disposer d'une base de données complète couvrant toutes les classes des différents types (voitures particulières, utilitaires légers, poids lourds, bus, deux-roues) de véhicules du parc européen ; les données françaises ont donc été complétées par les résultats de mesures effectuées dans d'autres laboratoires européens. Mais il faut noter un déficit important de données sur les véhicules utilitaires, particulièrement les poids lourds, notamment en raison de la diversité des gammes de PTAC et du coût plus élevé des campagnes de mesures.

L'ensemble de ces données sur les émissions réelles des véhicules a été mis en commun dans le cadre de l'accord de coopération européen Cost 319 et du

projet Meet (Methodology for estimating pollutant emissions from transport), dont les conclusions seront prochainement disponibles.

Le modèle Copert (Computer programme to calculate emissions from road transport), développé sous l'égide de l'Agence européenne de l'environnement pour permettre aux états-membres d'effectuer des inventaires homogènes de polluants liés au transport routier, intègre l'ensemble des données disponibles aujourd'hui et permet également le calcul de facteurs d'émissions moyens sur une voie donnée ou un ensemble de voies, pour peu que les véhicules circulant sur cette voie constituent un échantillon représentatif du parc national.

Copert contient une base de données « émissions réelles » représentatives de chaque classe existante de véhicules, exprimées en fonctions analytiques de la vitesse moyenne, et ce pour une gamme de vitesses moyennes de 10 à 130 km/h, ainsi que les algorithmes nécessaires à la prise en compte d'autres paramètres déterminants, tels que l'état thermique des moteurs et des catalyseurs (prise en compte des surémissions à froid) et la déclivité de la pente (surémissions des poids lourds)...

Les fonctions émissions de Copert font déjà l'objet d'un large consensus européen ; de plus, les travaux du Cost 319 et de Meet permettront une mise à jour importante de Copert. C'est pourquoi l'Ademe, le Setra et le Certu préconisent cette méthodologie pour le calcul des émissions réelles.

IV.3 Prise en compte de la structure du parc et de son évolution

La relation $f_i = \sum_j e_{ij} * p_j$ prend en compte, à un instant donné (l'année N), la composition du parc français de véhicules.

Pour évaluer les émissions à un horizon d'étude donné, la connaissance de la répartition du volume global du trafic (en véhicules-kilomètres) entre les différentes classes de véhicules est indispensable (voir chapitre III 5.1 et annexe III).

Cette répartition de trafic ou « structure de parc roulant » prend en compte les disparités des distances parcourues par les différents types de véhicule, contrairement à la structure de « parc statique » qui ne renseigne que sur la répartition du nombre de véhicules en service. En effet, les distances parcourues annuellement et, donc, la présence sur la voirie varient en fonction de l'âge du véhicule (les vieux véhicules parcourent moins de km par an que les véhicules récents), de la motorisation (les véhicules Diesel roulent plus que les véhicules à essence), de la puissance (on trouve plus de petits véhicules en circulation urbaine et plus de grosses cylindrées en interurbain) et de la dimension des PL (plus de maxi-codes en interurbain, plus de camions de moins de 10 tonnes en livraison urbaine...).

Des travaux récents, encadrés par l'Inrets et l'Ademe, ont permis de déterminer la structure du parc roulant prévisionnel français, année par année jusqu'en 2020, pour trois types de situation : urbain, route et autoroute. Nous disposons donc, pour une configuration moyenne, des coefficients p_j de la relation ci-dessus, ce qui permet le calcul des facteurs d'émission unitaires moyens pour l'ensemble du parc français, en prenant en compte la présence effective dans la circulation des véhicules de chaque classe.

IV.4 Prise en compte de l'évolution future des performances environnementales des véhicules

Enfin, comme il s'agit d'estimer l'impact d'actions à entreprendre dans le cadre d'un projet (comparaison futur/présent ou futur/futur pour différents scénarios),

il est nécessaire de disposer de valeurs prospectives sur la structure de trafic et les émissions réelles des véhicules.

La base de données du modèle Copert contient des fonctions d'émission réelle pour les différentes classes de véhicules existants ; il propose des coefficients de sévérisation des émissions réelles jusqu'à la mise en œuvre de la réglementation prévue pour l'étape 2005, tant pour les véhicules légers (VP et VUL) que pour les poids lourds (PL). Les hypothèses retenues résultent des travaux européens du programme Auto-Oil, qui ont contribué à l'élaboration des directives européennes correspondantes.

On dispose ainsi de facteurs d'émissions unitaires pour les véhicules qui seront mis en circulation à l'avenir.

En pratique, il est exclu de faire un inventaire des km parcourus par chaque classe de véhicules dans le cadre d'une évaluation locale. L'Ademe a donc développé un logiciel de quantification des émissions liées à la circulation routière (programme Impact-Ademe). D'autres logiciels sont disponibles sur le marché (cf. IV.7).

IV.5 Quelques résultats d'émissions unitaires

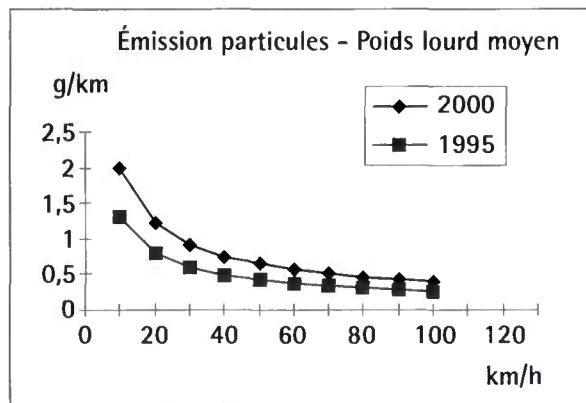
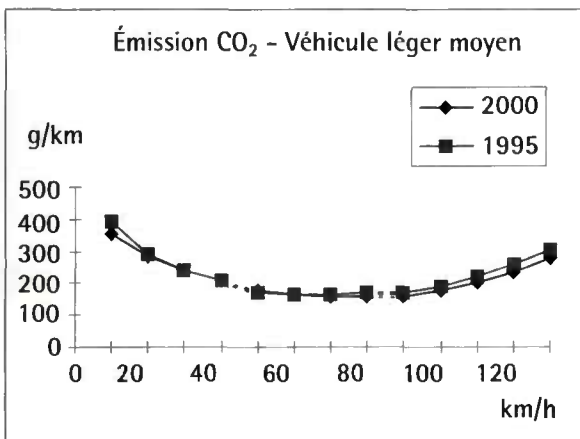
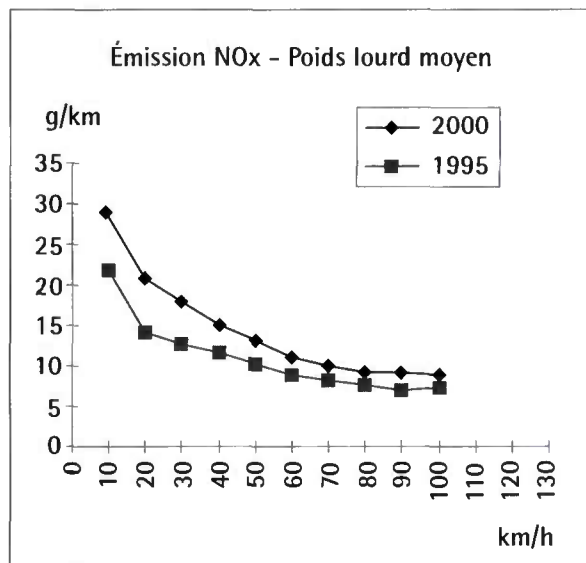
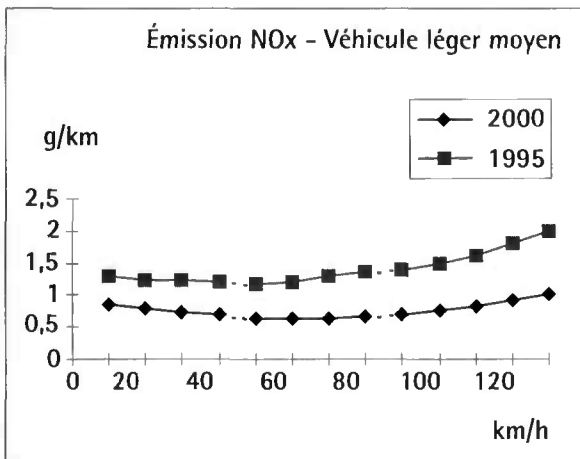
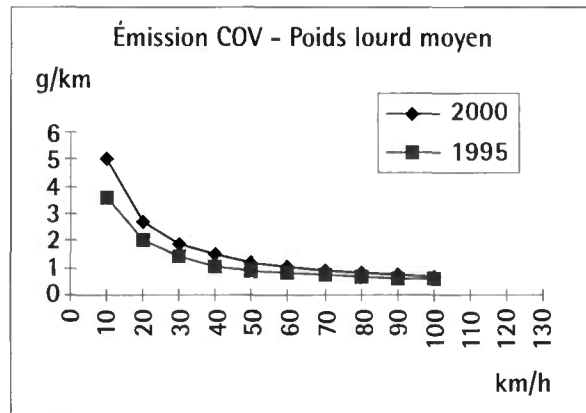
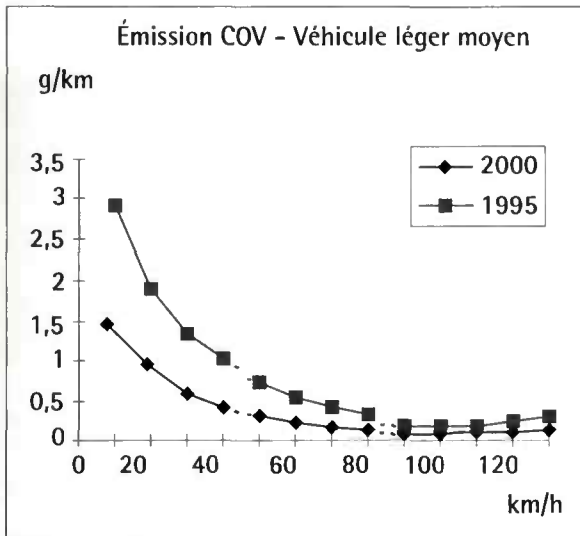
Les graphiques obtenus avec le logiciel Impact-Ademe de la page suivante donnent les facteurs d'émissions unitaires moyens $f(V)$ de CO₂, COV et NO_x, pour les années 1995 et 2000, et pour des vitesses moyennes V entre 10 à 130 km/h, pour les deux grandes familles de véhicules (légers et poids lourds). Cela rend possible des évaluations pour différentes configurations de voirie, des rues de desserte locale aux autoroutes interurbaines.

Ces graphiques ont été établis sur la base des hypothèses suivantes :

- les vitesses inférieures à 50 km/h reflètent une circulation urbaine ou périurbaine, avec une part de trajet à froid de 50%, correspondant à une longueur moyenne de trajet de 3 km environ
- les vitesses comprises entre 50 et 80 km/h reflètent une circulation routière en zone rurale avec une part de trajet à froid de 20%, correspondant à une longueur moyenne de trajet de 12 km environ
- à partir de 90 km/h, les vitesses reflètent une circulation de type autoroutière sans surémission à froid, tous les véhicules étant supposés rouler « à chaud ».

Il ne s'agit ici que de quelques exemples de résultats obtenus avec la méthodologie Copert. Le logiciel Impact-Ademe permet de faire varier à volonté l'horizon d'étude, la vitesse moyenne de circulation, la part de trajets à froid, la saison (température ambiante)...

Les émissions données par le logiciel Impact-Ademe tiennent compte des effets présumés sur les émissions réelles de la future de la réglementation sur les carburants et émissions des véhicules, ainsi que de l'évolution prévisible de la composition du parc français (remplacement des véhicules en fin de vie par des véhicules neufs et maintien des tendances d'évolution actuelles pour les lois de survie, les kilométrages annuels, le taux de dieselisation des véhicules légers...).



IV.6 Recommandations

Si la méthode d'évaluation des émissions est potentiellement assez précise, les connaissances encore très imparfaites sur les facteurs d'émission et les caractéristiques du trafic (composition, flux, cinématique, distances parcourues moteur froid...) rendent illusoire cette précision apparente. Il ne faut donc pas attacher trop de crédibilité aux valeurs absolues des quantités de polluants et des consommations d'énergie calculées.

Un inventaire d'émissions, basé sur des données locales, même imprécises, peut servir à hiérarchiser les bilans agrégés sur un axe ou un réseau, selon les quantités de polluants qui y sont émises ou selon les consommations d'énergie qui résultent des déplacements qui y sont effectués.

Ces méthodes peuvent donc servir utilement à la comparaison de variantes de tracés entre elles, tant que l'on s'attache aux variations relatives des bilans sur les zones étudiées. Les effets, en valeurs relatives, sur les bilans d'émissions et de consommations d'énergie, de scénarios ayant une influence sur les vitesses moyennes, les flux, la composition des flux (VL/PL/TC), la distribution des déplacements, la répartition modale, la capacité du réseau, l'offre de transport, le plan de circulation, peuvent être appréhendés par ce type de méthode, si les données de trafic caractérisant ces situations sont disponibles.

Par contre, il n'est pas possible actuellement de quantifier l'impact de mesures telles qu'un changement de régulation de feux (modification des temps de vert, onde verte...), où le paramètre accélération joue un rôle prépondérant.

IV.7 Les modèles informatiques actuellement sur le marché

IV.7.1 Introduction

Une étude, menée par le Cete de l'Est en collaboration avec l'Ademe et le Certu, réalise une première évaluation de l'offre actuelle en matière d'outils pour l'inventaire des émissions liées à la circulation routière et de leur adéquation avec les besoins des prestataires d'études de la pollution atmosphérique (études d'impact, PDU, PPA, PRQA, inventaires nationaux et modélisation de la qualité de l'air).

Le recensement des outils s'est fait sur la base d'un questionnaire envoyé à des bureaux d'études, centres techniques et organismes de recherche susceptibles d'intervenir dans ce domaine, leur évaluation se limitant à l'exploitation des réponses reçues.

Dans le cadre de ce guide relatif au volet « qualité de l'air » des études d'environnement et des études d'impact, nous ne présenterons que les résultats adéquats, à savoir les outils accessibles sur le marché français pour n'importe quel bureau d'études et utilisables pour les inventaires d'émissions des études d'impact.

IV.7.2 Les outils

À la suite de l'envoi du questionnaire, nous avons reçu la description de 14 outils différents, parmi lesquels 8 seulement correspondent aux critères énoncés précédemment. Ces réponses ont été répertoriées dans un tableau de synthèse.

■ Description des champs

Quelques explications sur les contenus des champs (colonnes) de ce tableau :

• <i>Nom de l'outil :</i>	nom du logiciel d'inventaire des émissions routières.
• <i>Développement :</i>	nom de l'entité qui a développé l'outil présenté.
• <i>Facteurs d'émissions :</i>	origine des facteurs d'émissions utilisés dans l'outil.
• <i>Support informatique :</i>	indique le type de matériel permettant de faire fonctionner l'outil.
• <i>Parc :</i>	indique le niveau de détail des données de trafic qui doivent être fournies par l'utilisateur.
• <i>Polluants :</i>	donne une information sur les polluants pris en compte et les possibilités de compléments offertes par l'outil.
• <i>Années d'utilisation :</i>	indique les années pour lesquelles l'outil possède les données adéquates pour réaliser un inventaire.

■ Tableau de synthèse

Nom de l'outil	Développement	Facteurs d'émissions	Support informatique	Parc	Polluants	Années d'utilisation
Emitra Technologies	Aria	Corinair/Copert II	PC/Windows ou station Unix	détaillé	C	1995-2010
Impact - ADEME	Ademe	Corinair/Copert II	PC/Windows	semi-agrégé	D	1995-2020 (2020)
Miel	IFP	Corinair/Copert II	PC/Windows	détaillé	C	?
MVimpact	The MVA Consultancy	Corinair/Copert II	PC/Windows	détaillé	C	1990-2020
Polytox	Systems Consult	Corinair/Copert II ou HBEFA	PC/Windows	détaillé	C	données utilisateur
Street	KTT Umwelt und software	Corinair/Copert II	PC/Windows	semi-agrégé	D	1997-2010
Turban	Inrets	Corinair/Copert	PC/Windows	détaillé	C	données utilisateur
Enviman	Opsis AB	Données suédoises (Veto/EVA)	PC/Windows	détaillé	C	?

Remarques sur les outils :

Tous ces logiciels de calcul des émissions peuvent être utilisés indépendamment d'un modèle d'affectation de trafic ou de dispersion de la pollution atmosphérique, à l'exception de Polytox qui fait partie intégrante du modèle Polydrom d'affectation de trafic. Les liens trafic –

émissions- dispersion se font soit par des interfaces spécifiques existantes, soit grâce à la compatibilité des formats des fichiers en entrée ou en sortie.

Ces produits proposent, par défaut, à l'acquisition, une structure de parc automobile issue des travaux de l'Inrets .

Street n'est pas un outil d'inventaire des émissions au sens strict. Il utilise le résultat du calcul des émissions comme base pour évaluer la pollution atmosphérique provoquée par la circulation automobile en des points particuliers (carrefours, rues...). La récupération des données d'émissions pour une utilisation indépendante ne fait pas partie de ses fonctionnalités.

Enviman contient, par défaut, les données d'émissions utilisées en Suède. Une évaluation doit avoir lieu cette année pour confirmer son adaptabilité à la méthodologie Copert II.

■ Contenu des champs particuliers

Pour certains de ces champs, les réponses ont été regroupées selon des grands types pour permettre une classification des outils. Les différentes typologies adoptées sont présentées ci-après.

Parc	
• agrégé	L'information utilisée par l'outil se limite au volume global de trafic (en nombre de véhicules par unité de temps) ou de déplacements (en véhicules-kilomètres). La structure fine du parc (intégrée à l'outil) ne peut pas être modifiée par l'utilisateur.
• semi-agrégé	Les données sur les flux de trafic ou de déplacements doivent être renseignées pour chaque grande catégorie de véhicules (VP, VUL, PL, 2R et bus). La structure fine du parc ne peut pas être modifiée par l'utilisateur.
• détaillé	L'utilisateur peut modifier et/ou doit renseigner la structure fine complète du parc.

Polluants

- A Par défaut, l'outil calcule les émissions pour les polluants recommandés dans ce guide au moins. L'utilisateur peut compléter la base de polluants.
- B Par défaut, l'outil calcule les émissions pour les polluants recommandés dans ce guide au moins. L'utilisateur ne peut pas compléter la base de polluants (ou pas de façon aisée).
- C Par défaut, l'outil ne calcule pas les émissions pour tous les polluants recommandés dans ce guide. Mais l'utilisateur peut en rajouter d'autres.
- D Par défaut, l'outil ne calcule pas les émissions pour tous les polluants recommandés dans ce guide. Et l'utilisateur ne peut pas en rajouter (ou pas de façon aisée).

■ Coordonnées des personnes assurant la distribution des outils

Société	Nom du contact	Nom de l'outil
Ademe 27 rue Louis Vicat 75737 Paris cedex 15	J. Noppe	Impact-Ademe
Aria Technologies Le Charlebourg 14-30 rue de Mantes 92700 Combes	A. Albergel	Emitra et Miel (IFP)
Inrets Centre de Lyon-Bron 25 avenue François Mitterand 69675 Bron cedex	R. Jourmard	Turban
The MVA Consultancy 78 boulevard Saint Marcel 75005 Paris	P. Odent	MVImpact
Néréides 4 avenue des Indes 91969 Courtabœuf cedex	D. Baranger	Enviman
Systems Consult Les Abeilles MC-98000 Monaco	C. de Rham	Polytox
Targeting 4bis rue A. Joly 78000 Versailles	M. de Jerphanion	Street

Cas particuliers des NOx *V.*

V.1 Généralités sur les NOx

Seul le NO₂ est normé, compte tenu de son action générale sur la santé humaine, le NO ayant peu d'influence. On voit donc une difficulté supplémentaire dans la mesure où il va falloir partir des émissions NOx, étudier la diffusion de ce «gaz» et estimer le pourcentage de NO₂ en tout point, avant de comparer avec les valeurs de référence. Cependant, une autre complexité intervient dans la mesure où les valeurs réglementaires sont données pour le percentile 98. Il va donc falloir passer des conditions (météorologiques et de trafic) prises en compte dans le modèle de diffusion aux conditions des percentiles 98 et 50 afin de pouvoir les comparer aux normes de qualité de l'air.

Ce bref résumé montre bien toutes les difficultés pour comparer des concentrations en NO₂ aux valeurs limites de protection de la santé.

V.2 Influence de la composition sur la dispersion – diffusion

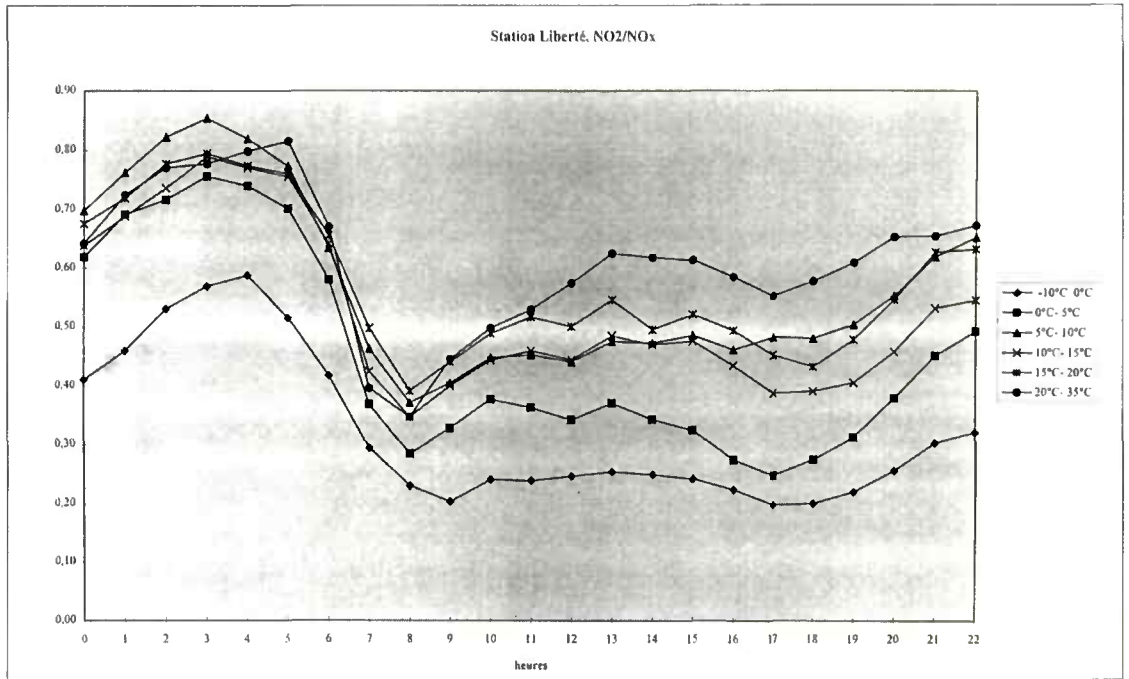
Les modèles de diffusion prennent généralement en compte les caractéristiques (masse volumique, coefficients thermodynamiques et de diffusion...) du gaz NO₂, alors qu'il s'agit d'un mélange de NO et de NO₂ variable en pourcentage. Ceci introduit une incertitude supplémentaire sur le résultat final de la diffusion.

V.3 Influence de la photochimie sur la composition des NOx

À la sortie du pot d'échappement, on considère généralement que le mélange NOx est à 80% NO et 20% NO₂. Ensuite, le NO s'oxyde relativement rapidement en NO₂ en prenant à l'ozone un atome d'oxygène (raison pour laquelle on ne trouve pas d'ozone à proximité des voies de circulation). Cette réaction est très influencée par les conditions climatiques, le niveau d'ozone et la quantité de NO émise. Inversement, la réaction contraire de la

décomposition du NO₂ en NO avec formation d'O₃ est beaucoup plus lente et ne se produit pas à proximité des voies de circulation. On trouvera ci-après un exemple, sur une station de proximité routière (4 mètres d'une 1x4 voies en milieu urbain, à Lille), la variation du rapport NO₂/NOx suivant la température et l'heure (pour les jours ouvrés).

À lecture de ce graphique, on s'aperçoit que le rapport NO₂/NOx est extrêmement variable puisqu'il est compris **entre 0,25** (par température basse < 0°C la journée) **et 0,8** (voire 0,85 au maximum) la nuit (temp > 0 °C).

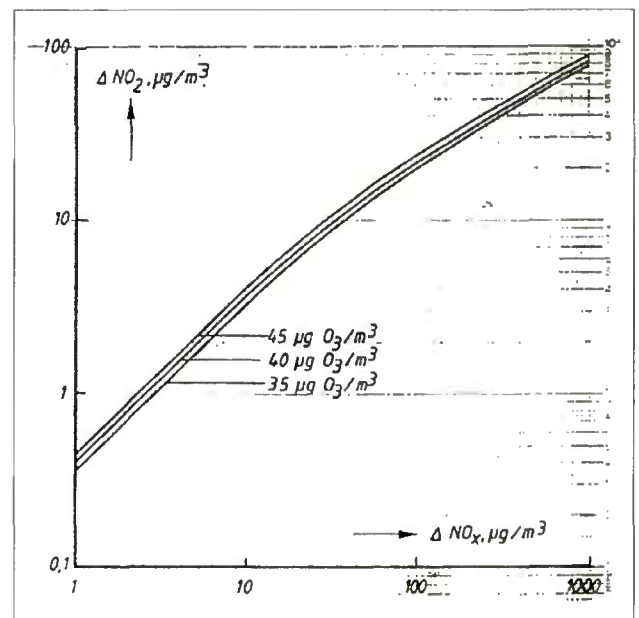


Station Liberté rapport NO₂/NO_x (en masse)

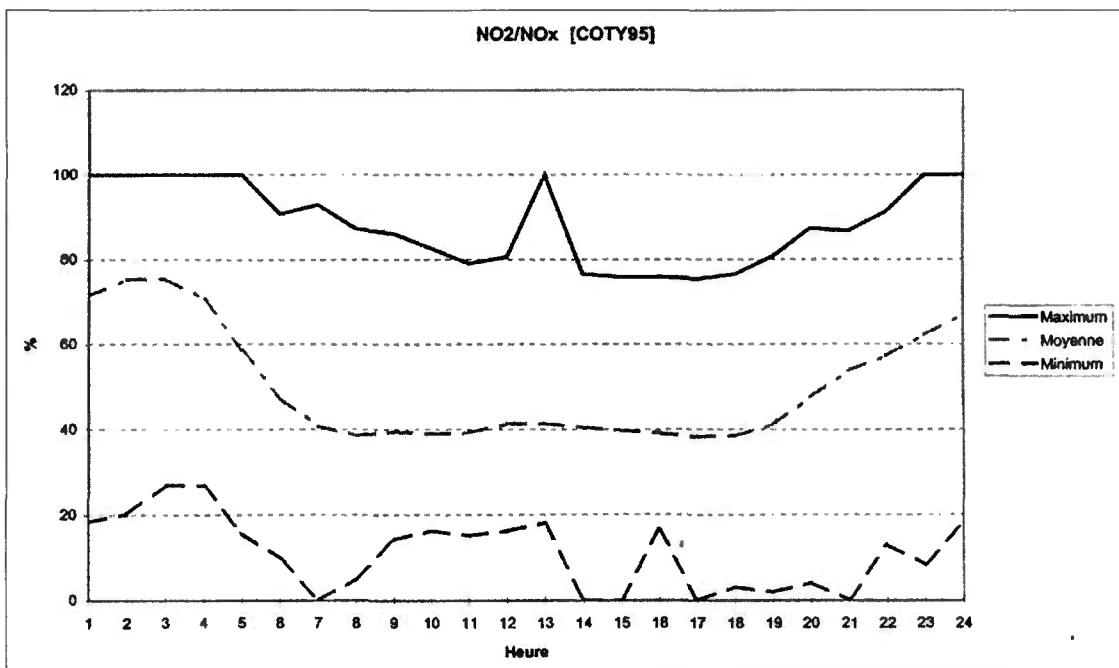
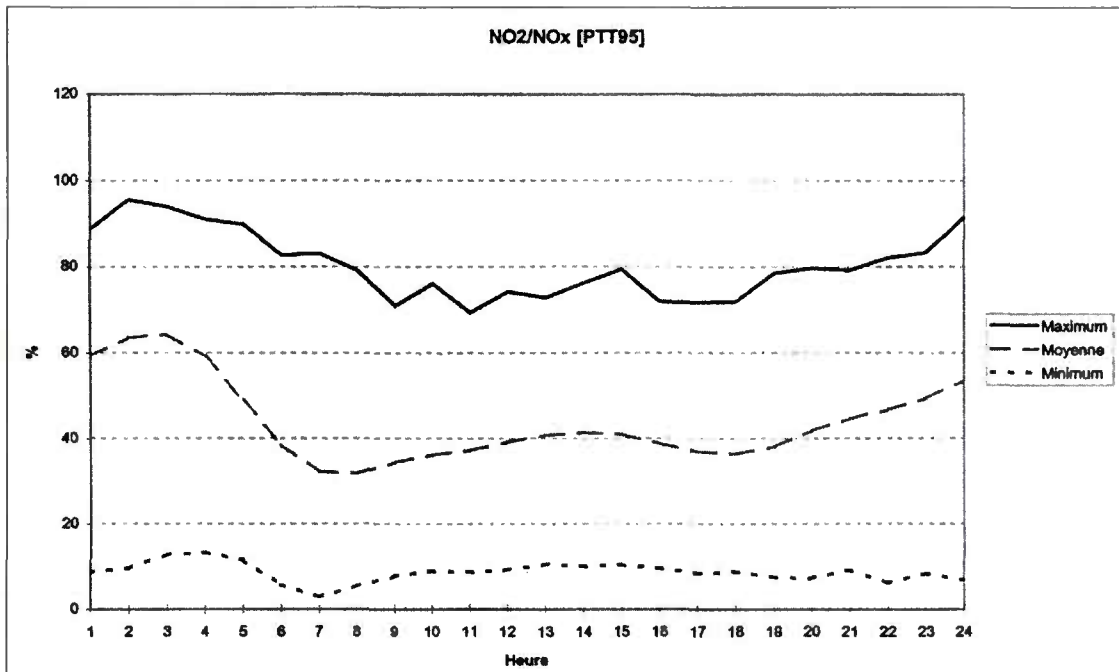
Source : Jaurdheuil d'après des données Arema

On trouvera, ci-après, quelques graphiques montrant la variation moyenne annuelle du rapport sur quelques sites de proximité (pour les jours ouvrés uniquement) ainsi que la moyenne de tous les points de mesure actuellement étudiés.

Si l'on prend la littérature néerlandaise et ses recommandations, on trouve un rapport pris complètement différent puisqu'il est voisin de 0,1 comme le montre le graphique ci-contre :



Courbe de transformation néerlandaise



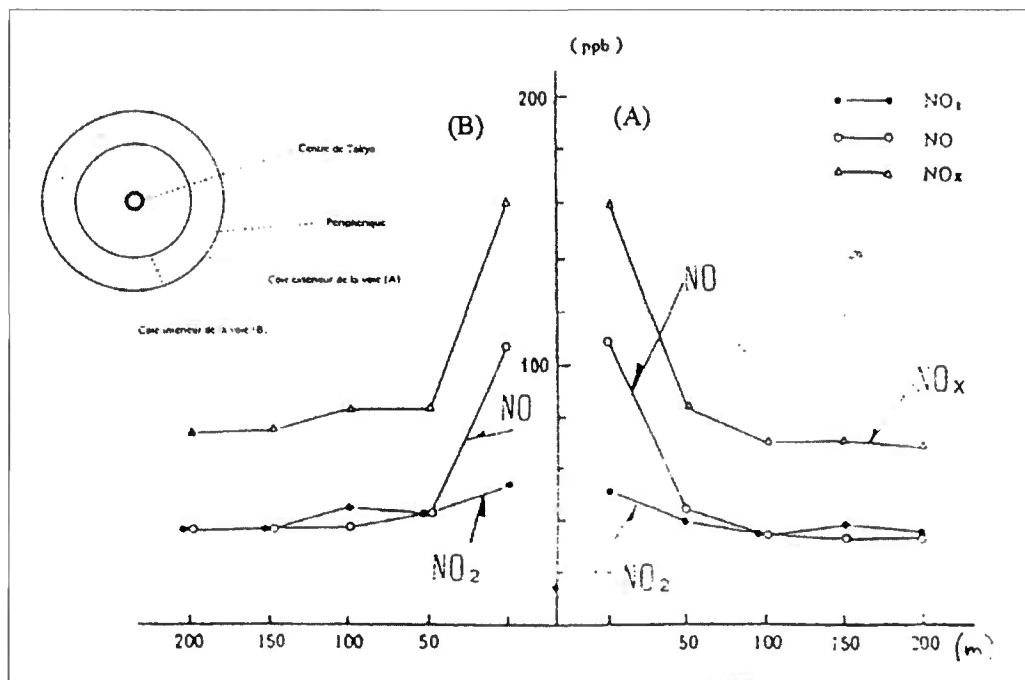
Courbes de rapport NO₂/NO_x obtenues sur des sites français (jours ouvrés)

Source: Logoche d'après des données Airnormand

V.4 Influence de la distance à la voie sur la teneur NO_2

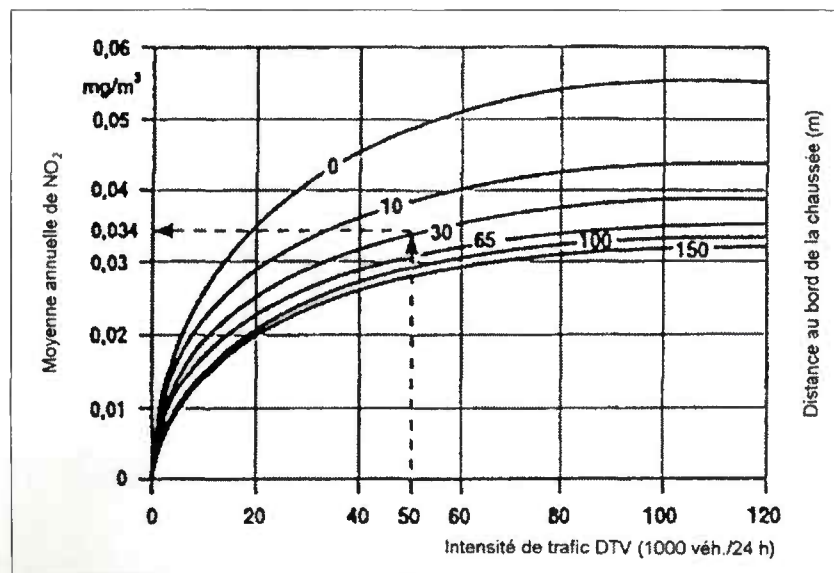
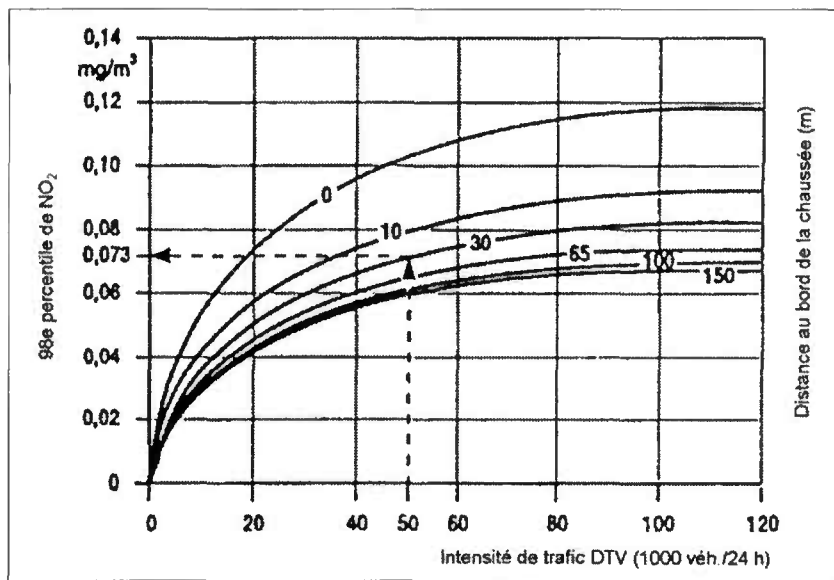
Plus on s'éloigne de la voie et plus l'oxydation du NO en NO_2 se produit. Il n'existe pas actuellement, en France, d'expérimentation ou de sites équipés de manière à établir des courbes de transformation par rapport à la distance à la voie. En l'état actuel, un certain nombre de pays ont établi leurs recommandations afin de cerner au mieux le phénomène.

Par exemple, les Japonais ont mis au point des courbes de décroissance différentes suivant que l'on se trouve vers le centre-ville ou vers la périphérie comme le montre le diagramme ci-après :



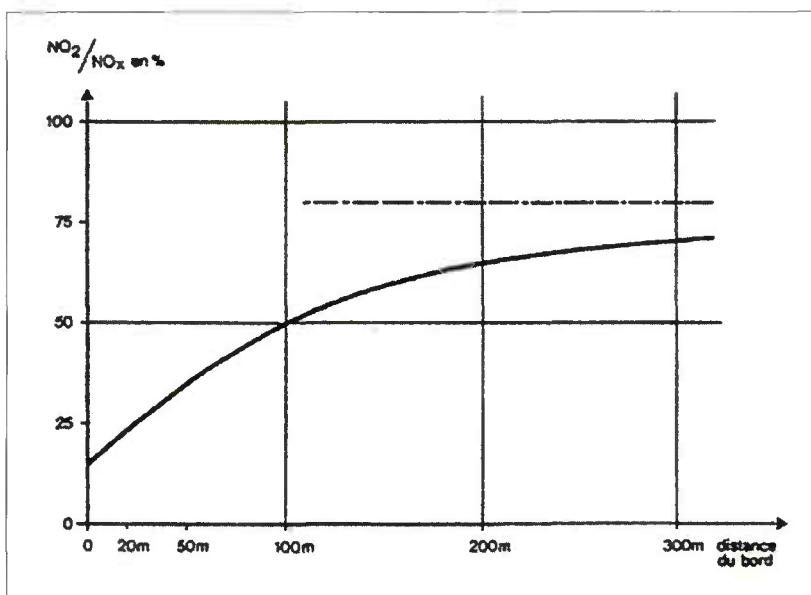
Courbes relationnelles japonaises entre NO_x , NO et NO_2 suivant la position à la voie

La méthodologie officielle allemande (MLuS-92 mise à jour 96) combine les deux facteurs, à savoir la distance par rapport à la voie et le coefficient de transformation des NO_x en NO_2 . On trouvera, ci-après, l'abaque synthétique de leur influence.



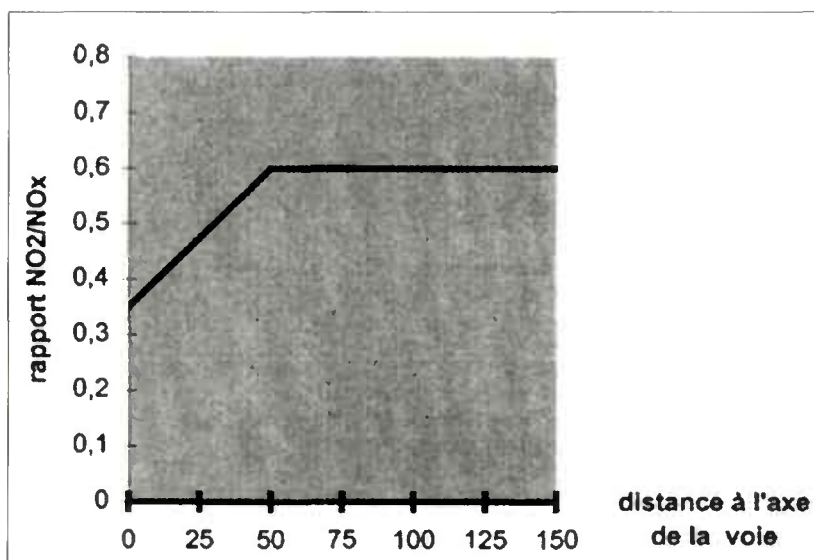
Détermination des P₅₀ ET P₉₈ dans la méthodologie allemande

La méthodologie suisse est plus simple dans la mesure où l'on ne retient que la transformation du NO en NO₂ par rapport à la distance par rapport à la voie (cf exemple de courbe de transformation ci-après). Il n'est pas introduit la notion de percentile 98 pour la « norme » de qualité de l'air.

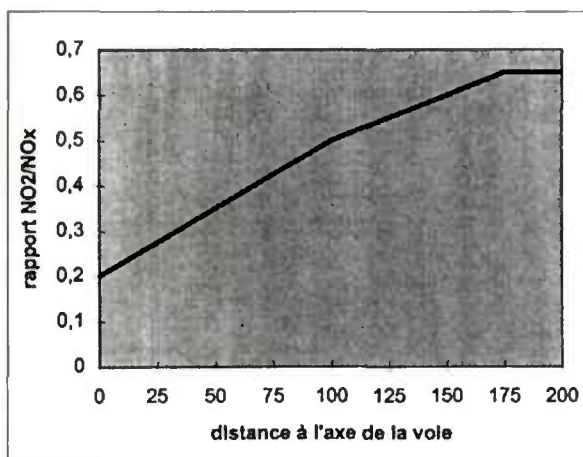


Taux de transformation suisse NO_2/NO_x (vent perpendiculaire - supplément de 15% pour un vent parallèle)

Pour la France, en l'état actuel des connaissances, on retiendra les graphiques de croissance ci-après :



Sites très urbains



Sites moyennement urbains ou de rase campagne

V.5 Pollution de fond

Aux valeurs trouvées par le modèle, il convient de rajouter la pollution de fond, en provenance des autres rues, des installations industrielles, du domestique (chauffage) et diverses sources fixes ou mobiles (chantiers, tondeuses, motoculteurs, tracteurs...). Cette pollution de fond peut être relativement importante et il convient véritablement de faire une analyse sérieuse pour proposer la valeur à prendre en considération (variable suivant la saison et la température, la localisation géographique du site en centre-ville ou en périphérie, sous le panache ou non d'une unité industrielle, la direction et la force du vent...). On se rapprochera des réseaux de mesure pour connaître la pollution moyenne annuelle de fond.

V.6 Le percentile 98

La valeur de référence à prendre en compte pour la santé est celle relative au percentile 98 des valeurs horaires annuelle. Il est bien évident que vouloir combiner les 8760 heures de trafic avec les 8760 données météo (direction et force des vents, température, gradient de température...) est complètement illusoire, tant sur le plan de la démarche scientifique que sur le plan des coûts d'étude. Actuellement, en

France, il n'existe rien sur ce problème. Certains pays étrangers ont un coefficient de correspondance entre résultat du modèle et le percentile 98. Par exemple, pour les Néerlandais, le passage se fait empiriquement par la formule :

$$\text{NO2}_{P98(1h)} \# 2.3 * C_{\text{moy.an}}$$

$C_{\text{moy.an}}$ étant obtenu pour les conditions moyennes climatologiques par un modèle de simulation.

Ceci oblige donc à bien cerner les conditions à prendre en compte pour la simulation mathématique. Cet état pourra évoluer éventuellement, dans l'avenir, si le décret sur les teneurs limites en NO_2 fixe une valeur horaire à ne pas dépasser à proximité des voies de circulation (comme dans certains pays).

Si l'on examine la situation française des stations de mesure de proximité, on s'aperçoit globalement (cf ci-après les données correspondantes issues de l'Ademe) que le rapport est voisin de 2 à 2,5 mais généralement plus près de 2,3. On retiendra donc actuellement la formulation suivant :

$$\text{NO2}_{P98} \# 2.3 * C_{\text{moy}}$$

La concentration moyenne sera obtenue pour les conditions maximales de trafic au point de vue inventaire d'émission et pour les conditions moyennes de météorologie (direction et force des vents).

V.7 Le percentile 50

La relation entre le percentile 50 et la valeur moyenne, après traitement des résultats de mesures français des sites en proximité d'infrastructure routière, est donnée par la relation (identique aux résultats néerlandais) :

$$\text{NO2}_{P50} \# 0.9 * C_{\text{moy}}$$

V.8 La valeur maximale (percentile 100)

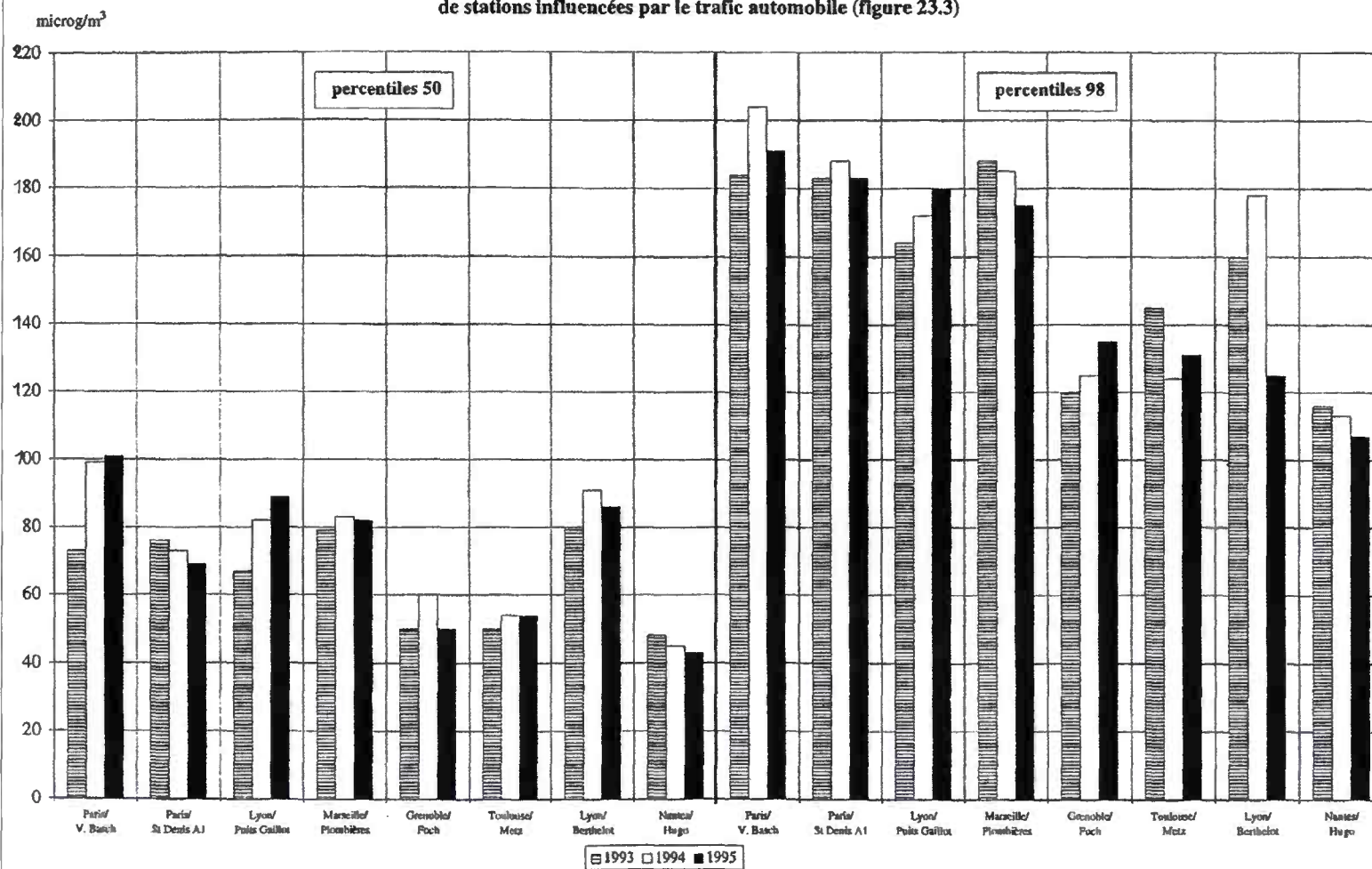
La valeur max est donnée par la relation :

$$\text{NO2}_{\text{MAX}} \# 64.7 + 3.3 * C_{\text{moy}}$$

V.9 Conclusion

Sans même parler de la simulation mathématique proprement dite, tant sur le champ de vent que sur la diffusion en elle-même, nous voyons qu'il y a beaucoup d'incertitudes quand aux différents paramètres à prendre en considération. On ne peut donc que s'interroger sur la validité du résultat en valeur absolue. Toutefois, lorsque l'on raisonne en comparaison de variantes ou de scénarios, l'utilisation de modèles peut s'avérer d'une grande utilité. Des recherches sont entreprises afin de donner des ordres de grandeur de validité des modèles. C'est la raison pour laquelle il nous est impossible, actuellement, de conseiller les maîtres d'œuvre et d'ouvrage sur le choix de ce genre de modèles.

**NO₂ : percentiles 50 (médianes) et percentiles 98 (des moyennes 1 h)
de stations influencées par le trafic automobile (figure 23.3)**



VI. Métrologie

VI.1 Typologie de métrologie

On peut distinguer différents types de métrologie pour les polluants atmosphériques, ces typologies engendrant des contraintes particulières d'exploitation des appareils et impliquant des variations importantes de la qualité de l'information recueillie, moins au niveau de la fiabilité de la mesure que de l'interprétation des résultats.

VI.1.1 Métrologie par appareil fixe/mobile

On entend par appareil fixe un capteur ne pouvant pas être déplacé ou impliquant des efforts de déplacement trop importants à l'échelle de l'étude d'impact. À l'inverse, un capteur mobile peut être déplacé et opérationnel dans la journée.

VI.1.2 Période d'échantillonnage : mesure avec exploitation des résultats en continu / exploitation des résultats agrégée

Les capteurs à exploitation des résultats agrégés donnent des quantités de polluants sur un laps de temps assez long (de l'ordre de la semaine) sans qu'il soit possible d'estimer les variations temporelles du polluant lors de cette période. À l'inverse, les capteurs à exploitation des résultats en continu permettent d'estimer les variations des polluants sur la base de pas de temps relativement courts (quart horaire par exemple).



Photo: Cete Nord Picardie

VI.1.3 Métrologie par mesure étalonnée / mesure indicative

La plupart des capteurs peuvent être étalonnés suivant des procédures classiques de métrologie ; cependant, il existe des capteurs (dans le cas de la bio-indication) pour lesquels la mesure sera comparative (spatialement ou temporellement) mais non rattachable à un référentiel physique (type gaz étalon).

VI.2 Métrologie des polluants atmosphériques applicable aux études d'impact

Suivant le découpage énoncé au VI.1, on peut dresser les tableaux suivants:

Métrologie	appareil		résultats		mesure	
	fixe	mobile	continus	agrégés	étalonnée	indicative
tube passif	✓			✓	✓	
tube actif	✓			✓	✓	
analyseur automatique	✓	☑	✓		✓	
analyseur semi-automatique	✓	☑	✓		✓	
Doas/Lidar		☑	✓		✓	
bio-indicateur	✓			✓		✓

☑: semi-mobile dans le cas de l'installation de l'appareillage dans un camion laboratoire

Métrologie	prélèvement		analyse	
	automatique	autre	automatique	autre
tube passif		diffusif		en laboratoire
tube actif	✓			en laboratoire
analyseur automatique	✓		✓	
analyseur semi automatique	✓			en laboratoire
Doas/Lidar	✓		✓	
bio-indicateur				en laboratoire ou in situ

VI.2.1 Le tube passif

Les tubes passifs sont des tubes en plastique ou en téflon dont une extrémité contient une substance spécifique destinée à fixer le gaz dosé et l'autre extrémité est décapsulée lors du commencement de l'échantillonnage. Le dosage est effectué après une période d'environ 15 jours par une méthode chimique colorimétrique conventionnelle (dosage en laboratoire).

Le tube passif est donc un moyen de dosage facile, peu encombrant, ne nécessitant pas d'énergie extérieure et peu onéreux (60 F HT l'unité environ). Il permet donc la réalisation de cartographie de pollution à moindre coût. Cependant, les données temporelles sont agrégées pour donner une « moyenne » qui ne permet pas de suivre les variations journalières, en particulier celles liées aux pointes de trafic.

Ce capteur est couramment utilisé dans les démarches d'installation des réseaux de mesure. Cependant, la précision de la mesure est moindre que pour les analyseurs fixes classiques (le laboratoire d'analyse, Airmaraix a pu observer des écarts compris entre 25 et 65%). De plus, suivant les mêmes sources, il semblerait que ce type de métrologie sous-estime (de plus de 30%) les concentrations en site de proximité automobile.

Polluants mesurables: NO₂ (O₃, C₆H₆)



Photo: CETE de Lyon

Tubes passifs de NO₂

VI.2.2 Le tube actif

Il fonctionne sur le même principe que le tube passif, le passage de l'air dans le tube n'étant plus effectué par diffusion moléculaire mais forcé par un pompage. Ce prélèvement d'air nécessite donc la présence d'un canister. La quantité d'air analysée est connue avec une grande exactitude, la traçabilité du pompage pouvant être assurée par une centrale d'acquisition. Outre un prix plus important que celui du tube passif, l'inconvénient majeur du tube actif est son besoin en énergie électrique.

Polluants mesurables: NO₂ (O₃, C₆H₆)

VI.2.3 Analyseur automatique et semi-automatique

Ces analyseurs permettent une mesure quasiment en continu de la plupart des polluants atmosphériques. Ils nécessitent une installation de prélèvement et des analyseurs spécifiques à chaque polluant (détecteurs IRND, catalytique, électrochimique, à chimiluminescence). Leurs coûts et leurs impératifs d'installation limitent leurs applications dans les études d'impact. Ils sont cependant les instruments de référence des réseaux de mesures, les données issues de ces appareils devant être considérées comme les plus fiables et les plus exactes pour les références aux textes législatifs. Si le prélèvement est toujours automatique, la mesure peut être effectuée in situ de façon automatique ou ultérieurement en laboratoire (mesure continue ou discontinue). Le tableau ci-dessous résume les principaux appareils utilisés:

Type d'analyseur	Technique analytique	Fournisseur	Prix indicatif
Analyseur SO ₂	fluorescence UV	Cosma Environnement SA Horiba Megatec Seres	70 à 80 kF
Analyseur NO _x	chimiluminescence	Cosma Environnement SA Horiba Megatec Seres Siemens	70 à 100 kF
Analyseur O ₃	absorption UV	Cosma Environnement SA Horiba Megatec Seres	50 à 60 kF
Analyseur CO	absorption IR + corrélation	Cosma Environnement SA Horiba Maihak Megatec Seres	50 à 80 kF
Analyseur PM ₁₀	TEOM, absorption b	Ecomesure Environnement SA Horiba Seres	90 à 140 kF
Analyseurs COV et BTX	CPG et FID	Chromatosud Chrompack Environnement SA (BTX) Siemens Néréides (BTX)	200 à 400 kF
Doas	spectrométrie d'absorption différentielle UV	Environnement SA (BTX) Siemens Néréides (BTX)	300 à 400 kF
Anémomètre girouettes			5 à 30 kF (3D)
Camion laboratoire		Comex ELG Environnement SA (BTX) Siemens Horiba	0,7 à 1,2 MF

Source: Environnement Magazine, 11/97

VI.2.4 Analyseur type Doas/Lidar

Ces nouveaux types d'analyseurs permettent la télédétection de la pollution atmosphérique dans le domaine de longueur d'onde de l'ultraviolet. Ils permettent une acquisition en continu des paramètres de pollution sur une certaine étendue spatiale (suivant les positions respectives de l'émetteur et du récepteur ou suivant les réglages des fréquences de résonance). Cette intégration est effectuée sur un parcours optique 2D (Doas) ou 3D (Lidar). Ils permettent donc d'obtenir le maximum d'informations possible. Toutefois, les résultats de ces méthodes ne sont pas encore directement comparables à ceux des analyseurs décrits au VI.2.3. Assez mobiles (ils peuvent être inclus dans une camionnette), leur principal défaut, outre le besoin d'alimentation électrique, est le coût. Cependant, ce coût doit être comparé à celui d'une installation classique multi-polluants.

VI.2.5 Le camion laboratoire

Le camion laboratoire consiste en l'installation de différents analyseurs avec prélèvement d'air dans une unité mobile possédant sa propre station météorologique. Le gain principal par rapport aux solutions de type VI.2.3 est, bien sûr, la mobilité et la flexibilité. Son coût peut être estimé à 50 kF HT par semaine de mesure.

VI.2.6 La bio-indication

La bio-indication peut être en fait de deux types :

- la bio-indication pour laquelle les nécroses foliaires de végétaux particulièrement sensibles à un (ou plusieurs) polluant(s) sont observées. On obtient une information sur la présence du polluant et une indication très approximative sur son niveau de concentration (analyse qualitative et spatiale) ;
- la bio-accumulation pour laquelle le renseignement provient du dosage de la pollution accumulée dans ces feuilles (analyse quantitative cumulée).

Ces méthodes peuvent être utilisées sur des végétaux en place ou sur des « stations » spécialement introduites pour l'étude. Si le coût général de l'investigation est faible, le niveau de connaissance atteint reste au niveau indicatif. Cette méthodologie est donc à utiliser pour un zonage préliminaire à d'autres investigations ou à une densification d'un réseau de mesure. Il ne permet pas d'obtenir des informations fiables, réutilisables en simulation.

Les principaux végétaux utilisés sont les lichens (bio-indicateur du SO₂ ou bio-accumulateurs de métaux lourds), le tabac (Bel W3, bio-indicateur de l'ozone), le ray-grass (bio-indicateur de poussières et de métaux lourds) et les arbres d'alignement (bio-accumulateur de poussières et de métaux lourds).

VI.3 Implantation des capteurs

Si la détermination du type de capteur peut être rapide, le choix de l'implantation des capteurs est toujours difficile. Voici, à titre indicatif, les recommandations du groupe de travail « caractérisation des sites » sur la classification et les critères d'implantation des stations de mesures de la qualité de l'air :

- un capteur de type station de proximité, principalement concerné par la pollution de type automobile, doit être situé à moins de 10 mètres de la voie, le rapport NO/NO₂ devant être supérieur à 2 ;
- un capteur de type station urbaine, mesurant la pollution de fond urbaine, doit obéir aux conditions de placement suivantes :

Débit Q (TMJA) en véhicules/jour	Distance minimale à la voie en mètres
< 1 000	-
1 000 à 3 000	10
3 000 à 6 000	20
6 000 à 15 000	30
15 000 à 40 000	40
40 000 à 70 000	100
> 70 000	200

le rapport NO/NO₂ devant être inférieur à 1,5.

La TMJA est pour les 2 sens de circulation.

VII. La santé

VII.1 L'étude Aphea

Il est reproduit ci-après *in-extenso*, avec l'aimable autorisation des auteurs, la synthèse des résultats de l'étude Aphea (Air pollution and health: european approach) parue au Bulletin épidémiologique hebdomadaire (BEH) de février 1998.

Cette synthèse, valable pour l'estimation des effets à court terme de la pollution de fond dans de grosses agglomérations, **ne peut être appliquée aux effets sur la santé à proximité d'infrastructure routière.**

PRÉAMBULE

Nous présentons ici une synthèse, pour les agglomérations de l'Europe de l'Ouest, des principaux résultats de six méta-analyses réalisées dans le cadre de l'étude Aphea et qui ont déjà été publiées par ailleurs [1] [2] [3] [4] [5] [6].

INTRODUCTION

Dès les années 1950-1960, des enquêtes épidémiologiques avaient clairement montré l'existence d'une augmentation de la mortalité respiratoire et cardiovasculaire lors d'épisodes de pollution caractérisés par des niveaux très élevés de polluants acido-particulaires (particules en suspension et dioxyde de soufre -SO₂- notamment). Ces études ont été à l'origine des premières mesures réglementaires de contrôle des émissions des polluants atmosphériques, comme le Clean Air Act qui fut adopté au Royaume-Uni en 1957 ou la loi relative à la pollution atmosphérique votée en France en 1961. Suite à ces mesures, dans la majorité des pays industrialisés occidentaux et plus particulièrement en France, avec le développement du programme électronucléaire dans les années 1970, les niveaux de pollution atmosphérique de SO₂ et de particules en suspension liés aux émissions résultant d'installations fixes de combustion (activités industrielles et chauffage domestique) ont fortement diminué.

Néanmoins, au cours des années 1980-1990, de nombreuses publications scientifiques, essentiellement nord-américaines, ont montré que des niveaux modérés ou faibles de pollution atmosphérique avaient un impact à court terme sur la santé. De plus, le retentissement de la pollution photo-oxydante d'été (oxydes d'azote -NO_x- et ozone -O₃-) a été également mis en évidence par des études épidémiologiques. Ces résultats sont à mettre en rapport avec l'évolution des sources de pollution atmosphérique en milieu urbain, où les transports automobiles représentent désormais la principale source de production des polluants, notamment particulaires et photo-oxydants.

Jusqu'à présent, très peu d'études avaient été menées en Europe. C'est dans ce contexte que l'étude Aphea (Air pollution and health: a european approach) a été menée. Son objectif était de fournir des estimations quantitatives des effets à court terme, sur la santé, de la pollution atmosphérique, en milieu urbain, et de contribuer à la révision, au plan international, des valeurs limites d'exposition.

MATÉRIEL ET MÉTHODES

Neuf agglomérations de l'Europe de l'Ouest (Amsterdam, Athènes, Barcelone, Cologne, Helsinki, Londres, Lyon, Milan, Paris, Rotterdam) contrastées du point de vue socio-démographique, du climat, des conditions géographiques et de la pollution atmosphérique (de par la nature des polluants et des niveaux ambiants) ont participé à l'étude. Dans chacune d'elle, une étude écologique temporelle rétrospective a été menée, sur une période d'étude variable selon les agglomérations, comprise entre 1977 et 1992. Ce type d'étude consiste à étudier l'association, au jour le jour, entre des indicateurs de pollution caractérisant l'exposition de la population et des indicateurs de mortalité et de morbidité hospitalière caractérisant son état de santé [7].

Les indicateurs de pollution ont été construits à partir des données recueillies par les réseaux publics de surveillance de la qualité de l'air. Les indicateurs retenus dans cette étude sont les particules en suspension (mesurées par la méthode des fumées noires -FN-), le SO₂, le dioxyde d'azote : (NO₂) et O₃.

Les données de mortalité journalière ont été obtenues auprès des registres nationaux de décès. Seuls les décès concernant les personnes domiciliées dans la zone d'étude et survenant dans celle-ci ont été pris en compte. Les indicateurs étudiés sont la mortalité totale (causes accidentelles exclues), la mortalité pour cause respiratoire (CIM-9 codes 460-519) et la mortalité pour cause cardio-vasculaire (CIM-9 codes 390-429).

Les données de morbidité ont été recueillies, selon les pays, soit auprès des registres nationaux, soit auprès de systèmes de collecte opérant au niveau local ou municipal. Les indicateurs étudiés sont les admissions hospitalières en rapport avec une affection respiratoire (CIM-9 460 - 519) chez les adultes (15-64 ans) et les personnes âgées de plus de 65 ans, les admissions hospitalières pour crise d'asthme (CIM-9 493) chez les enfants (0-14 ans) et les adultes (15-64 ans), et les admissions pour broncho-pneumopathie chronique obstructive (CIM-9 490 - 492 et 496) tous âges et pour les personnes âgées de plus de 65 ans.

L'analyse des données a été réalisée dans chacune des agglomérations selon un protocole commun standardisé mais suffisamment «souple» pour permettre la prise en compte des caractéristiques locales. Ce protocole a reposé sur une analyse temporelle des indicateurs de pollution et de santé, utilisant une régression de Poisson et permettant de contrôler les variations temporelles à long terme, les variations périodiques saisonnières et hebdomadaires, les épidémies de grippe, les événements inhabituels et les variations météorologiques. Les résultats obtenus dans chacune des agglomérations ont ensuite fait

l'objet d'une méta-analyse. Ceux-ci sont exprimés sous forme de risques relatifs (RR) calculés pour une augmentation de 50 µg/m³ du niveau moyen journalier (moy-24 h) ou de la valeur horaire maximale (max - 1 h) selon l'indicateur de pollution considéré.

RÉSULTATS

Les 9 agglomérations de l'Europe de l'Ouest qui ont participé à l'étude couvrent, au total, une population moyenne de 22 millions d'habitants. Dans la majorité de ces agglomérations, pour les niveaux de pollution rencontrés et avec la méthodologie d'analyse mise en œuvre, la forme de la relation observée entre les indicateurs de pollution et les indicateurs de santé est de type linéaire sans seuil. En ce qui concerne la mortalité totale, il a été estimé qu'une augmentation de 50 µg/m³ du niveau moyen journalier des indicateurs de pollution acidoparticulaire (FN et SO₂) s'accompagne dans les jours suivants d'un excès de 3% de la mortalité totale journalière. Pour les indicateurs de pollution photo-oxydante (NO₂ et O₃), cet excès varie entre 1 et 3% (tabl. 1). Pour la mortalité spécifique, une augmentation de 50 µg/m³ du niveau des indicateurs de pollution s'accompagne d'un excès de 1 à 4% de la mortalité cardiovasculaire et, à l'exception de l'indicateur NO₂, de 4 à 5% de la mortalité respiratoire (tabl. 2).

Tableau 1
Risques relatifs de la mortalité journalière totale pour une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux de polluants dans les agglomérations de l'Europe de l'Ouest

Polluants	Villes*	RR	IC 95%
FN moy-24h	4	1,03	1,02 - 1,04
SO ₂ moy-24h	7	1,03	1,02 - 1,04
NO ₂ max-1h	6	1,01	1,01 - 1,02
O ₃ max-1h	4	1,03	1,01 - 1,05

* Selon l'indicateur de pollution : Athènes, Barcelone, Cologne, Londres, Lyon, Milan, Paris.

Tableau 2
Risques relatifs de la mortalité journalière spécifique pour une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux de polluants dans les agglomérations de l'Europe de l'Ouest

Mortalité	Polluants	Villes*	RR	IC 95%
Cardio-vasculaire	FN moy-24h	4	1,02	1,01 - 1,04
	SO ₂ moy-24h	5	1,04	1,01 - 1,06
	NO ₂ max-1h	4	1,01	1,00 - 1,01
	O ₃ max-1h	4	1,02	1,00 - 1,03
Respiratoire	FN moy-24h	4	1,04	1,02 - 1,07
	SO ₂ moy-24h	5	1,05	1,03 - 1,07
	NO ₂ max-1h	4	0,99	0,98 - 1,01
	O ₃ max-1h	4	1,04	1,02 - 1,06

* Selon l'indicateur de pollution : Barcelone, Londres, Lyon, Milan, Paris.

En ce qui concerne la morbidité hospitalière respiratoire, une augmentation de 50 µg/m³ du niveau des indicateurs de pollution s'accompagne d'un excès d'admissions hospitalières variant de 1 à 3% chez les adultes ou les personnes âgées de plus de 65 ans (tabl. 3). Concernant les admissions hospitalières pour asthme, seul l'indicateur SO₂ est statistiquement associé

à un excès d'admissions chez les enfants, de l'ordre de 8% (tabl. 4). Enfin, une augmentation de 50 µg/m³ du niveau des divers indicateurs de pollution est associée à un excès de 1 à 4% des admissions hospitalières pour broncho-pneumopathie chronique obstructive (tabl. 5).

Tableau 3
Risques relatifs d'admissions hospitalières pour affections respiratoires pour une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux de polluants dans les agglomérations de l'Europe de l'Ouest

Polluants	Villes*	RR et IC 95% 15-64 ans	RR et IC 95% > 65 ans
FN moy-24h	4	1,03 {1,01 - 1,05}	1,02 {0,99 - 1,05}
SO ₂ moy-24h	5	1,01 {0,99 - 1,03}	1,02 {1,00 - 1,05}
NO ₂ max-1h	4	1,00 {0,99 - 1,01}	1,01 {0,99 - 1,03}
O ₃ max-1h	4	1,02 {1,00 - 1,03}	1,03 {1,02 - 1,05}

* Selon l'indicateur de pollution : Amsterdam, Londres, Milan, Paris, Rotterdam.

Tableau 4
Risques relatifs d'admissions hospitalières pour asthme pour une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux de polluants dans les agglomérations de l'Europe de l'Ouest

Polluants	Villes*	RR et IC 95% 0-14 ans	RR et IC 95% 15-64 ans
FN moy-24h	4	1,03 {0,99 - 1,08}	1,02 {0,99 - 1,06}
SO ₂ moy-24h	4	1,08 {1,03 - 1,13}	1,00 {0,96 - 1,03}
NO ₂ max-1h	4	1,01 {0,99 - 1,02}	1,01 {0,99 - 1,02}
O ₃ max-1h	4	1,01 {0,98 - 1,04}	1,02 {0,96 - 1,08}

* Selon l'indicateur de pollution : Barcelone, Helsinki, Londres, Paris.

Tableau 5
Risques relatifs d'admissions hospitalières pour BPCO* pour une augmentation de 50 mg/m³ des niveaux de polluants dans les agglomérations de l'Europe de l'Ouest

Polluants	Villes**	RR	IC 95%
FN moy-24h	5	1,04	1,01 - 1,06
SO ₂ moy-24h	6	1,02	0,98 - 1,06
NO ₂ max-1h	5	1,01	1,00 - 1,02
O ₃ max-1h	5	1,03	1,01 - 1,05

*BPCO = broncho-pneumopathie chronique obstructive

** Selon les indicateurs de pollution: Amsterdam, Barcelone, Milan, Londres, Paris, Rotterdam.

DISCUSSION

Par rapport aux nombreuses études écologiques publiées dans ce domaine, le principal intérêt de ce travail est qu'il s'agit d'une méta-analyse menée de manière planifiée. De ce point de vue, les principales limites inhérentes à la méta-analyse comme les biais de publication ou de sélection ont été minimisées. De même, l'adoption d'un protocole standardisé pour le recueil des données, pour la construction d'indicateurs comparables d'exposition ou d'effets et pour l'analyse statistique, a permis de réduire l'hétérogénéité habituellement observée entre des études menées de manière indépendante.

Néanmoins, un certain degré d'hétérogénéité persiste entre les agglomérations du fait, par exemple, d'une structure différente des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. De même, les indicateurs de santé, en particulier de morbidité hospitalière, n'ont pas strictement la même «signification», du fait de systèmes de collecte de données sanitaires qui varient d'un pays à l'autre, ou du fait des caractéristiques générales du système de soins. Une des retombées majeures de ce travail a été ainsi de contribuer, dans chacune des agglomérations participant à l'étude,

au développement d'une expertise épidémiométrologique permettant, par exemple, d'utiliser de manière plus appropriée (i.e. en termes d'exposition) les données produites en routine par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air.

Les résultats observés dans toutes les agglomérations, ainsi qu'au sein de chacune d'entre elles, montrent une cohérence et une forte stabilité. Globalement, les résultats de la méta-analyse sont du même ordre de grandeur quel que soit l'indicateur sanitaire. Cependant, lorsque l'on considère les résultats ville par ville (non présentés ici), les risques relatifs augmentent à mesure que l'on s'intéresse à des phénomènes de santé de plus en plus spécifiques et sensibles (par exemple, de la mortalité générale aux admissions hospitalières pour asthme) ou à des populations plus «réactives» comme les enfants ou les personnes âgées de plus de 65 ans. Ces résultats, observés dans des contextes très différents, ainsi que ceux des modèles multi-polluants (non présentés ici), plaident en faveur d'associations indépendantes entre les différents indicateurs de pollution et de santé. De plus, par rapport aux études nord-américaines essentiellement orientées sur l'étude de la pollution particulaire, l'étude Aphea a permis d'objectiver l'existence d'une association entre la mortalité à court terme et l'indicateur ozone. Elle a permis également de mettre en évidence la persistance d'effets délétères sur la santé pour de faibles niveaux de SO₂. Enfin, les résultats de cette étude doivent amener les épidémiologistes à accorder davantage d'attention à l'indicateur NO₂ qui, en milieu urbain ambiant, est un bon reflet de la source automobile.

Enfin, malgré les risques relatifs faibles mis en évidence par cette étude, il faut garder à l'esprit que, du fait de l'ubiquité de l'exposition aux polluants atmosphériques ambiants et de la prévalence élevée de certaines affections, notamment cardio-vasculaires, ces excès de risque se traduisent au niveau de l'ensemble de la population par des risques attribuables

non négligeables [8]. Ces risques, contrairement à l'interprétation qui en est faite le plus souvent, ne sont pas en rapport avec la survenue de pics de pollution mais résultent des variations journalières des niveaux de pollution atmosphérique de fond couramment observés en milieu urbain.

CONCLUSION

Cette étude a permis de combler les lacunes sur les connaissances des liens existant à court terme entre la pollution atmosphérique et la santé en Europe et, en France, dans les agglomérations lyonnaise et parisienne. Dans toutes les agglomérations de l'Europe de l'Ouest, mais aussi dans certaines agglomérations de l'Est (résultats non présentés ici), des excès de risque, en terme de mortalité et de morbidité cardio-respiratoire, ont été mis en évidence pour des niveaux de pollution inférieurs aux seuils définis dans les directives européennes. Par ailleurs, ces risques relatifs, estimés sur le court terme, sont du même ordre de grandeur que ceux estimés pour le long terme.

Ces résultats ont été pris en compte par les groupes d'experts qui, actuellement, travaillent à la révision des directives européennes. Ils justifient également la poursuite des efforts de prévention et la nécessité de continuer la surveillance pour en évaluer les bénéfices sanitaires.

Reposant sur une approche écologique, cette étude ouvre la voie de la surveillance épidémiologique des effets sur la santé liés à la pollution. En Ile-de-France, cette surveillance a été mise en place en 1995 dans le cadre du programme Erpurs [9]. La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie ayant introduit l'obligation de surveiller les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique, il convient maintenant de préciser le contenu, les modalités et les conditions d'une telle surveillance au niveau national. Depuis début 1997, une étude multicentrique coordonnée par le Réseau national de Santé publique a été lancée

dans 9 agglomérations françaises afin de définir au plan national et local les modalités de cette surveillance [10].

Financement : Le projet Aphea a bénéficié d'un financement de l'Union européenne, DG XII, Programme Environnement 1991-1994 (contrat n° EV5VCT92-0202 ; responsable scientifique : Dr C Nolan).

Le groupe Aphea est constitué de : K. Katsouyanni (Coordinatrice) ; G. Touloumi, E. Samoli (Grèce, Centre de coordination) ; D. Zmirou, P. Ritter, T. Barumaridzadeh, F. Balducci, G. Laham (Lyon, France) ; H.E. Wichmann, C. Spix (Allemagne) ; J. Sunyer, J. Castellsague, M. Saez, A. Tobias (Espagne) J.P. Shouten, J.M. Vonk, A.C.M. de Graaf (Pays-Bas) ; A. Pönka (Finlande) H.R. Anderson, A. Ponce de Leon, R. Atkinson, J. Bower, D. Strachan, M. Bland (Royaume-Uni) ; W. Dab, P. Quénel, S. Medina, A. Le Tertre, B. Thélot, B. Festy, Y. Le Moulec, C. Monteil (Paris, France) ; B. Wojtyniak, P. Piekarsky (Pologne) ; M.A. Vigotti, G. Rossi, L. Bisanti, F. Repetto, A. Zanobetti (Italie) ; L. Bacharova, K. Fandakova (Slovaquie).

Bibliographie

- [1] K. Katsouyanni, G. Touloumi, C. Spix et al. - *Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the Aphea project.* British medical Journal, 1997 ; 314 : 1658-1663.
- [2] G. Touloumi, K. Katsouyanni, D. Zmirou et al. - *Short-term effects of ambient oxidants exposure on mortality: a combined analysis within the Aphea project.* - American Journal of epidemiology, 1997 ; 146 : 177-185.
- [3] D. Zmirou, J. Schwartz, M. Saez et al. - *Time-series analysis of air pollution and cause-specific mortality: a quantitative summary in Europe (Aphea study).* - Epidemiology, 1998.
- [4] C. Spix, H.R. Anderson, J. Schwartz et al. - *Short-term effect of air pollution on hospital admissions*

of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of Apeha study results. - Archives of environmental health, 1998; sous presse.

[5] J. Sunyer, C. Spix, P. Quénel et al. - *Urban air pollution and emergency admissions for asthma in four European cities: the Apeha project.* - Thorax, 1997; 52: 760-765.

[6] H.R. Anderson, C. Spix, S. Medina et al. - *Air pollution and daily admissions for chronic obstructive pulmonary disease in 6 European cities: results from the Apeha project.* - European Respiratory Journal, 1997; 10: 1064-1071

[7] K. Katsouyanni, J. Schwartz, C. Spix et al. - *Short-term effects of air pollution on health: an European approach using epidemiologic time series data: the Apeha protocole* - Journal of Epidemiology and Community Health, 1996; 50: S12-S18.

[8] P. Quénel, D. Zmirou, A. Le Tertre et al. - *Impact de la pollution atmosphérique urbaine de type acido-particulaire sur la mortalité quotidienne à Lyon et dans l'agglomération parisienne.* - Santé publique, 1995; 4: 363-376.

[9] S. Medina, A. Le Tertre, P. Quénel, Y. Le Moullec - *Évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Île-de-France.* - ORS Ile-de-France, Paris, novembre 1994; 104 pages.

[10] P. Quénel, C. Le Goaster, C. Cassadou et al. - *Surveillance des effets sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain: étude de faisabilité dans 9 villes françaises. Objectifs et principes.* - Pollution atmosphérique, 1998; sous presse.

AUTEURS

Philippe Quénel, Réseau national de santé publique, Saint-Maurice.

Denis Zmirou, Université Joseph-Fourier, Grenoble.

Sylvia Medina, Observatoire régional de santé d'Île-de-France, Paris.

Alain Le Tertre, Réseau national de santé publique, Saint-Maurice - Observatoire régional de Santé d'Île-de-France, Paris.

Franck Balducci, Université Joseph-Fourier, Grenoble.

Yvon Le Moullec, Laboratoire d'hygiène de la ville de Paris.

Philippe Ritter, Laboratoire d'écologie urbaine de la ville de Lyon.

Taghi Barumandzadch, Labsad - Université Pierre Mendès-France, Grenoble.

William Dab, Association pour la prévention de la pollution atmosphérique, Paris.

VII.2 Le CO

Effets sur la santé du CO, aux faibles niveaux d'exposition (Salonen 1994)

teneur en carboxyhémoglobine (%)	Effets
2,3 - 4,3	Diminution significative (3-7%) du temps d'exercice avant épuisement pour des jeunes hommes en bonne santé
2,9 - 4,5	Diminution significative de la capacité d'exercice pour des personnes souffrant d'angine de poitrine et augmentation de la durée de l'attaque angineuse
5 - 5,5	Diminution significative de la consommation maximale d'oxygène et du temps d'exercice pour des jeunes hommes en bonne santé
< 5	Aucun signe de diminution significative de la vigilance après exposition
5 - 7,6	Affaiblissement significatif des tâches de vigilance pour des expérimentateurs en bonne santé
7 - 17	Diminution significative de la perception visuelle, de la dextérité, des facultés d'apprentissage ou des performances lors de tâches complexes telles que la conduite des véhicules
7 - 20	Diminution significative de la consommation maximale d'oxygène pendant les exercices violents pour des jeunes hommes en bonne santé

VII.3 Conclusions du rapport SFSP (Santé et Société n°4)

La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique

Bilan de 15 ans de recherche internationale

Treize ans après la publication d'un rapport sur l'«Impact médical des pollutions d'origine automobile», dirigée par le professeur André Roussel, la Société française de santé publique a souhaité actualiser ce travail afin de rendre disponible un «état de l'art» sur cet important problème de santé publique. Elle a bénéficié, pour ce faire, du concours d'une vingtaine d'experts de différentes disciplines scientifiques et techniques, y compris des industriels concernés (Renault, Rhône-Poulenc, Union française des industries pétrolières), et du soutien des ministères chargés de la Santé, de l'Environnement et des Transports, ainsi que de la collaboration de l'Institut national de recherche sur les transports et leur sécurité, de l'Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie et de l'Association pour la prévention de la pollution atmosphérique.

Cette synthèse, dont les conclusions sont reproduites ci-après *in extenso*, exprime l'essentiel des résultats de la mission conduite pendant deux ans. Pour une compréhension détaillée de ce texte, il convient de prendre connaissance du rapport complet.

1 – Pollution atmosphérique et santé

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

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

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

Plusieurs exemples témoignent de la pertinence de cette conjugaison des approches scientifiques. Ainsi,

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

En raison de la multiplicité des polluants respirés dans l'air, dont la nocivité reste mal connue pour beaucoup et qui sont par ailleurs souvent difficiles à mesurer, les quelques composés qui apparaissent « responsables » d'une incidence accrue de troubles respiratoires doivent plutôt être considérés comme des indicateurs de la qualité de l'air, parfois aussi comme des marqueurs d'une source de pollution complexe.

Par exemple, la question se pose de savoir ce que représente l'indicateur dioxyde d'azote en atmosphère urbaine. Bien que les études toxicologiques et expé-

riméntales montrent la toxicité à forte concentration de ce polluant, de type oxydant, les résultats des études épidémiologiques ne sont pas aussi probants. De même, les indicateurs ozone, dioxyde de soufre et sulfates particulaires doivent-ils vraisemblablement être considérés comme représentant une classe de polluants (oxydants ou acido-particulaires, respectivement), même s'ils peuvent aussi avoir une nocivité propre. Les interactions parfois observées entre les effets des différents polluants dans certaines études expérimentales (dioxyde de soufre/dioxyde d'azote, dioxyde de soufre/particules ou dioxyde d'azote/ozone...) pourraient expliquer que les associations entre les symptômes respiratoires et ces indicateurs de pollution, appréciés dans les études épidémiologiques, puissent varier quantitativement d'une étude à l'autre dans les conditions de la vie courante.

2 - Rôle de l'automobile

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

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

Dans le cas des études se basant sur la pollution urbaine générale, issue de diverses sources, il faut considérer l'importance de la contribution automobile. Les progrès de la prévention des émissions ou de leur dépollution dans l'industrie et, parallèlement, la forte augmentation du trafic en agglomération ont

eu pour conséquence une part croissante de l'origine automobile dans les émissions urbaines de polluants et, encore plus, dans l'exposition de la population des villes, en raison de la proximité de la source et de phénomènes de dispersion horizontale et verticale des polluants. Cette part de la source automobile dans l'exposition de la population ne peut pas encore être estimée précisément pour un grand nombre de polluants, en raison des limites actuelles des techniques de mesure, de la surveillance de la pollution urbaine et des connaissances sur le budget espace-temps des citoyens. Bien qu'elle varie d'un site à l'autre, selon l'importance du trafic et des autres sources, elle est aujourd'hui majoritaire pour le monoxyde de carbone, les oxydes d'azote, les hydrocarbures mono-aromatiques, les particules fines et le plomb atmosphérique, et minoritaire pour le dioxyde de soufre. Elle est difficile à apprécier pour les polluants secondaires tels que l'ozone, l'aérosol acide et les aldéhydes.

Pour apprécier l'exposition des citoyens, il faut également considérer des espaces dans lesquels, si les séjours sont habituellement d'une durée relativement brève, les concentrations des polluants émis directement par les véhicules peuvent être considérables. L'habitacle des voitures ralenties par des embouteillages, les parkings en sous-sol ou les tunnels et leur immédiate proximité apparaissent des lieux de haute concentration des polluants. Malgré les efforts considérables des industries automobile et pétrolière pour réduire les émissions unitaires de chaque véhicule - efforts couronnés de succès importants - la croissance continue du trafic, avec un lent renouvellement du parc, absorbe tout (pour les particules) ou partie (pour les composés organiques volatils, par exemple) de ces gains technologiques. L'air est-il de ce fait plus pollué qu'il y a vingt ans ? Sans doute pas, en masse, mais ce mélange complexe a pour caractéristique d'être souvent émis à proximité immédiate des voies respiratoires de la population générale. Deux améliorations sensibles sont à souligner.

La baisse notable des teneurs atmosphériques pour le **plomb** est à consolider, car il n'y a pas de seuil reconnu pour les effets du plomb sur le développement psychomoteur de l'enfant. Le **monoxyde de carbone** est lui aussi en baisse, tendance qui devrait, selon toute logique, s'accroître, en raison de l'extension du parc de véhicules à essence catalysés. Cependant l'aggravation du risque cardiaque existe même pour de faibles teneurs, et localement, notamment en des lieux confinés ou mal ventilés (parkings, tunnels), on peut observer des teneurs encore excessives. Si le trafic a tendance à se stabiliser dans le centre des plus grandes agglomérations, il se reporte sur la périphérie.

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

Les variations de la mortalité respiratoire et cardiovasculaire qui ont été observées à de nombreuses reprises en liaison avec les fluctuations de la pollution acido-particulaire permettent, par exemple, d'estimer raisonnablement que de l'ordre de 150 à 250 décès anticipés annuels pourraient être évités dans l'ensemble des agglomérations de plus de 250 000 habitants (19,5 millions d'habitants) par une réduction de 20% de la pollution particulaire d'origine automobile, pour une contribution des transports estimée de 50 à 80% de l'exposition aux particules fines, selon les

sites. Cet effet sur la mortalité, s'il frappe les esprits, n'est pourtant pas forcément le plus pertinent du point de vue de la santé publique car il concerne une population vulnérable, dont l'espérance de vie ne serait que modestement raccourcie. Une autre estimation permet d'avancer l'ordre de grandeur de 5 à 6000 hospitalisations annuelles pour épisodes aigus respiratoires (soit de l'ordre de 2% des hospitalisations pour affections respiratoires) en liaison avec la pollution particulaire d'origine automobile dans les grandes cités françaises. Ces conséquences sanitaires, sources de gênes et de souffrances, se traduisent aussi par d'importantes dépenses sociales.

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

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

3 - Polluants à surveiller en priorité

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

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

L'**ozone**, indicateur de pollution photo-oxydante, s'accumulant de préférence à la périphérie des agglomérations, est également un polluant préoc-

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

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

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

S'il demeure des incertitudes, en l'état actuel des connaissances, sur la pertinence du **dioxyde d'azote** en tant qu'indicateur de risque sanitaire, il constitue un intéressant indicateur global d'émissions d'origine

automobile. En outre, il joue un rôle important dans la photochimie de l'atmosphère.

4 - Recommandations

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

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

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

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

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

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

VIII. Pollution des sols et des végétaux notion d'écotoxicologie

Cette annexe fournit des données chiffrées complémentaires qui illustrent les propos du chapitre 13 sur la contamination des sols et des végétaux ainsi que quelques notions d'écotoxicologie.

Une note d'information du Setra fera prochainement le point complet sur le sujet.

VIII.1 Pollution des sols et des végétaux

Une analyse de la bibliographie (cf. en I.4) permet de synthétiser les données existantes sur la pollution par les dépôts, la pollution des sols et des végétaux.

VIII.1.1 Dépôts

Auteurs	Pays	Année	Trafic journalier	distance	en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$			
					Pb	Cd	Zn	
Laxen et Harrison, 1977	UK	1974	autoroute très empruntée		2360			
Johnston et Harrison, 1984	UK	1981	35500	5	1414,89	18,16		
Hewitt et Rashed, 1991	UK	1987	37800	5	248,5	5,12		
Muller, 1994	France	1992		3	115,28	203,24	509,59	
Ylaranta, 1994	Finlande	1987	9500	22	20,149	0,142	18	
				58	12,687	0,119	12	
				200	11,194	0,164	15	
			5500	22	17,91	0,149	19	
				58	12,687	0,134	13	
				200	11,94	0,149	16	
1988	5500	22	12,5	0,268	22			
		58	8,929	0,08	21			
		200	6,25	0,268	25			
Contat et al., 1991	Suisse		50000	5-20	13,77			
Granier, 1991	France		urbain		99,17	3,86	23,4	
Kaya et Tuncel, 1997	Turquie		urbain		6,06	4,12	9,36	
Malbreil, 1997	France	1997	19000	5	20,549	0,311	111,67	
			30 000	5	24,83	0,509	152,77	
Gelinas et Schmit, 1998	Canada		5000	10	34,51	1,26	161,06	
				10000	10	22,29	1,12	145,35
					25	20,13	0,82	98,21
				100	12,94	0,74	51,07	
			500	5	20,85	0,89	86,42	
50	13,66	0,89		58,93				

Auteurs	Pays	Année	Trafic journalier	distance	en $\mu\text{g}/\text{m}^2/\text{jour}$		
					Pb	Cd	Zn
Promeyrat, 1999	France	1996-1998	63000	5	69,98	0,69	315
			39000	5	48,94	0,396	388
			21000	5	25,58	0,21	107,7
			18000	5	22,99	0,27	271

VIII.1.2 Contamination des sols

Auteur	années	pays	distance	trafic journalier	profondeur	en mg/kg PS		
						Pb	Cd	Zn
Lagerwerff et Specht, 1970	1966	USA	8	20 000	0-5 cm	522	1,45	172
				48 000		540	0,94	162
				7 500		242	0,9	54
				23 000		150	1,82	72
Gerea, 1982	1981		10			2-3,6		
	1982					1,8-9,6		
Rodriguez et Rodriguez, 1982	1979	Puerto Rico	3	630	0-5	21	0,09	
				13 680		600,5	0,895	
				22 100		708,5	0,8	
				40 000		794,5	0,725	
				72 250		639,5	0,685	
Ho et Tai, 1988	1979	Hong Kong	3	36 sites de <10000 à >25000	0-2	50 - 2215	0,23 - 2,31	84 - 1445
Benfenati et al., 1992		Italie	5	18000 et 11500	0-10	137,3		
Munch, 1993		Allemagne	0	3200	0-5	2445	1,96	241
Muller, 1994	1992	France	2		0 - 15	166,75	4,9	158,25
Piron-Frenet et al., 1994	1990	France	10	4453-23974	0-5 cm	9 - 181		
Fatoki, 1997	1984	Afrique du Sud	0	11520 (heure de pointe)	0-10 cm			120+-4
			2					72+-2
			4					68+-1
Malbreil, 1997	1997	France	5	19 000	0 - 10	19,575	0,21	56,32
				30 000		45,6	0,125	83
Narin et al., 1997				4 920		42+-4		96+-2
				6 600		51+-3		73+-6
				8 448		122+-3		103+-6
				2 544		87+-6		73+-3

Auteur	années	pays	distance	trafic journalier	profondeur	en mg/kg PS		
						Pb	Cd	Zn
Othman et al., 1997	1995-1996	Syrie		35 400	0-5	175,6		
				63 984		134,1		
				86 904		223,1		
				10 4592		111		
				68 856		282,9		
				38 880		110,2		
				27 600		214,7		
				53 304		78,9		
				65 904		825,6		
				59 736		341		
				32 808		78,4		
	13 344	81						
	90 696	832,4						
Garcia et Millan, 1998	1994	Espagne	0	19 350	0-5 cm	1548	1,51	1023
			2-3			106	0,35	97
			0	2 160		72	0,14	85
			2-3			39	0,07	63
			0	30 700		512	0,84	463
			2-3			127	0,32	195
			0	6 670		38	0,21	130
			2-3			35	0,14	134
			0	3 280		183	0,28	233
			2-3			38	0,42	225
			0	24 000		557	1,85	826
			2-3			189	0,4	225
			0	3 000		518	1,2	470
			2-3			254	0,53	257
0	9 270	365	0,4	229				
2-3		117	0,2	79				
Norrstrom et Jacks, 1998	1993	Suède	0,5	40 000-50 000	0-5	542		140
			2,5			205		96

VIII.1.3 Contamination des végétaux

Auteurs	Années	Pays	Distance	Espèce	lavage	trafic	en mg/kg PSec (sauf * /kg l'Frais)		
							Pb	Cd	Zn
Lagerwerff et Specht, 1970	1966	USA	8	graminées	rinçage	20 000	68,2	0,95	32
						48 000	51,3	0,75	40
						7 500	21,3	0,49	36,3
						23 000	31,3	0,74	85
Gerea, 1982	1981	France	TPC	graminées		2,6-8			
	1982		TPC			28-60			

Auteurs	Années	Pays	Distance	Espèce	lavage	trafic	en mg/kg PSec (sauf * /kg PFrais)				
							Pb	Cd	Zn		
Rodriguez-Flores et Rodriguez- Castellon, 1982	1979- 1980	Puerto Rico	3	<i>chenchrus echinatus, sorghum halopense, paspahum paniculum, stipa ichu</i>		630	13,7	0,31			
							13 680	99	2,47		
							13 680	13	0,9		
							22 100	40	0,3		
							22 100	22,4	0,35		
							40 000	68,7	0,81		
							40 000	128	0,9		
							72 250	311	0,73		
						72 250	208	0,57			
Ratcliffe et Beeby, 1984	1977- 1980		0,5	graminées		7 500	52-947				
			7				11-254				
							(selon le mois)				
							(selon le mois)				
Ho et Tai, 1988	1979	Hong Kong	3	cynodon dactylon		36 sites entre < 10 000 à >25 000	14 - 463	0,09 - 1,46	43 - 276		
Madany et al., 1990			5	feuilles de différentes espèces			180-420				
Igwegbe et al., 1992	1988	Libye		tomate	eau distillée non lavé	20 000- 30 000	0,48 *	1*			
							1,45*	1,19*			
							raisin	eau distillée non lavé	0,28*	0,37*	
									0,71*	0,77*	
							épinard	eau distillée non lavé	1,38*	0,90*	
									2,25*	1,4*	
							patate	eau distillée non lavé	0,23*	0,50*	
0,86*	0,85*										
oignon	eau distillée non lavé	0,42*	0,28*								
		0,92*	0,66*								
Muller, 1994	1992	France	2	graminées	lavage HCl 5%		15,5	3	33		

Auteurs	Années	Pays	Distance	Espèce	lavage	trafic	en mg/kg PSec (sauf * /kg PFrais)			
							Pb	Cd	Zn	
Ward, 1994		UK	30	épinard	non lavé		0,112*		0,89*	
					lavé		0,025*		0,23*	
				oignon	non lavé		0,475*		0,02*	0,82*
					lavé		0,088*			0,38*
				raisin	non lavé		0,212*		0,004*	1,09*
					lavé		0,039*			0,72*
				fraise	non lavé		0,447*			1,06*
lavé	0,053*		0,49*							
estragon	non lavé	0,260*	0,069*	3,74*						
	lavé	0,142*		2,48*						
graminées	non lavé	0,064*		0,6*						
	lavé	0,037*		0,47*						
Ylaranta, 1994	1987	Finlande	22	Triticum aestivum (grain)	eau déionisée	9 500	0,03	0,009	30	
				Lactuca sativa	eau déionisée	9 500	0,87	0,97	47	
				Lolium multiflorum (1 ^{ère} coupe)	eau déionisée	9 500	0,55	0,038	22	
				Lolium multiflorum (2 ^e coupe)	eau déionisée	9 500	1,25	0,034	18	
				Triticum aestivum (grain)	eau déionisée	5 500	0,026	0,007	33	
				Lactuca sativa	eau déionisée	5 500	0,58	0,77	35	
				Lolium multiflorum (1 ^{ère} coupe)	eau déionisée	5 500	0,63	0,019	20	
				Lolium multiflorum (2 ^e coupe)	eau déionisée	5 500	0,92	0,032	15	
Garcia et Millan, 1998	1994		0 2-3	Lolium sp.		19 350	11,7	0,64	130	
							2	0,16	20,9	
						2 160	3,4	0,12	18	
							1,6	0,13	27	
						30 700	5,1	0,13	26,9	
							3,4	0,15	26,2	
0 2-3			0 2-3			6 670	10,3	0,24	53,9	
							4	0,25	54,9	

Auteurs	Années	Pays	Distance	Espèce	lavage	trafic	en mg/kg PSec (sauf * /kg PFrais)		
							Pb	Cd	Zn
			0			3 280	1,6	0,13	39
			2-3				2,3	0,15	37
			0			24 000	6,8	0,3	70,4
			2-3				2,3	0,23	34,6
			0			3 000	3,1	0,17	42,8
			2-3				2,5	0,14	20,6
			0			9 270	5,7	0,15	32,6
			2-3				2	0,13	16,2
Fatoki, 1997	1984	Afrique du Sud	0	graminées					135
			2						113
			4						90
Malbreil, 1997	1997	France	5	graminées	Lavage HCl 5%	19 000	0,975	0,055	16,81
						30 000	0,44	0,02	31,97
Promeyrat, 1999	1996-1998	France	5	graminées		63 000	4,47	0,079	49,22
						39 000	3,18	0,068	56,125
						21 000	3,3	0,038	42,13
						18 000	1,86	0,062	54,19

VIII.1.4 Bibliographie

E. Benfenati, S. Valzacchi, G. Mariani, L. Airoidi et R. Fanelli, 1992. *PCDD, PCDF, PCB, PAH, Cadmium and lead in roadside soil: relationship between road distance and concentration*. Chemosphere, 24 (8), pp. 1077-1083.

F. Contat, H. Shariat-Madari et F.X. Stadelman, 1991. *Déposition et accumulation du plomb le long de quatre secteurs autoroutiers- Evolution en fonction des années, des saisons et de la météorologie*. Schweizerische landwirtschaftliche Forschung, 30 (1-2), pp. 29-43.

A.S. Fatoki, 1997. *Trace zinc and copper in roadside vegetation and soil in Alice, Eastern cape, as monitor of atmospheric pollution*. South African Journal of Science, 93, pp. 240-242.

R. Garcia et E. Millan, 1998. *Assessment of Cd, Pb and Zn contamination in roadside soils and grasses from Gipuzkoa (Spain)*. Chemosphere, 37 (8), pp. 1615-1625.

J. Garcia-Miragaya, S. Castro et J. Paolini, 1981. *Lead and zinc levels and chemical fractionation in road-side soils of Caracas, Venezuela*. Water, Air, and Soil Pollution, 15, pp. 285-297.

Y. Gelinis et J.P. Schmit, 1998. *Estimation of the bulk atmospheric deposition of major and trace elements to a rural watershed*. Atmospheric Environment, 32 (9), pp. 1473-1483.

Gerea, 1982. *Incidences écologiques de l'autoroute sur le milieu forestier: effet lisière et pollution*, rapport Ministère des Transports, CETE de Bordeaux, 73p.

- L. Gratani, S. Taglioni et M.F. Crescente**, 1992. *The accumulation of lead in agricultural soil and vegetation along a highway*. *Chemosphere*, 24 (7), pp. 941-949.
- R.M. Harrison et W.R. Johnston**, 1985. *Deposition fluxes of lead, cadmium, copper and polynuclear aromatic hydrocarbons (PAH) on the verges of a major highway*. *Science of the total environment*, 46, pp. 121-135.
- C.N. Hewitt et M.B. Rashed**, 1991. *The deposition of selected pollutants adjacent to a major rural highway*. *Atmospheric environment*, 25 (5-6), pp. 979-983.
- Y.B. Ho et K.M. Tai**, 1988. *Elevated levels of lead and other metals in roadside soil and grass and their use to monitor aerial metal depositions in Hong Kong*. *Environmental Pollution*, 49, pp. 37-51.
- A.O. Igwegbe, H.M. Belhaj, T.M. Hassan et A.S. Gibali**, 1992. *Effect of a highway's traffic on the level of lead and cadmium in fruits and vegetables grown along roadsides*. *Journal of Food Safety*, 13, pp. 7-18.
- G. Kaya et G. Tuncel**, 1997. *Trace element and major ion composition of wet and dry deposition in Ankara, Turkey*. *Atmospheric Environment*, 31 (23), pp. 3985-3998.
- J.V. Lagerwerff et A.W. Specht**, 1970. *Contamination of roadside soil and vegetation with cadmium, Nickel, Lead, and Zinc*. *Environmental, Science and Technology*, 4 (7), pp. 583-586.
- D.P.H. Laxen et R.M. Harrison**, 1977. *The highway as a source of water pollution: an appraisal with the heavy metal lead*. *Water research*, 11, pp. 1-11.
- I. Madany, S.M. Ali, M.S. Akhter**, 1990. *Assessment of lead in roadside vegetation in Bahrain*. *Environment International*, 16, pp.123-126.
- N. Malbreil**, 1997. *La pollution en bordure d'autoroute et son impact sur la végétation*. DESS Ressources Naturelles et Environnement, Université de Metz, 56 p.
- G. Muller**, 1994. *Étude des répercussions de l'axe autoroutier A36 Mulouse-Belfort sur l'environnement dans la vallée de la Doller, journée thématique sur la pollution de l'air*. Rapport CETE/CEREPha, 14 p.
- D. Munch**, 1993. *Concentration profiles of arsenic, cadmium, chromium, copper, lead, mercury, nickel, zinc, vanadium and polynuclear aromatic hydrocarbons in forest soil beside an urban road*. *Science of the total environment*, 138, pp. 47-55.
- L. Narin, M. Soylak et M. Dogan M**, 1997. *Traffic pollution in Nidge-turkiye: investigation of trace element contents of soils samples*. *Fresenius Environment Bulletin*, 6, pp. 749-752.
- L.O. Onasanya et K. Ajewole**, 1993. *Lead content in roadside vegetation as indicators of atmospheric pollution*. *Environment International*, 19, pp. 615-618.
- L. Othman, M. Al Oudat et M.S. Al Masri**, 1997. *Lead levels in roadside soils and vegetation of Damascus city*. *The Science of the Total Environment*, 207, pp. 43-48.
- M. Piron-Frenet, F. Bureau et R. Pineau**, 1994. *Lead accumulation in surface roadside soil: its relationships to traffic density and meteorological parameters*. *Science of the total environment*, 144, pp. 297-304.
- D. Ratcliffe et A.N. Beeby**, 1984. *Monitoring roadside lead deposition by sampling vegetation - some problems of interpretation*. *The Science of the Total Environment*, 33, pp. 103-112.

M. Rodriguez-Flores et E. Rodriguez-Castellon, 1982. *Lead and cadmium levels in soil and plants near highways and their correlation with traffic density*. Environmental Pollution (Serie B), 4, pp. 281-290.

M. Rodriguez-Flores et E. Rodriguez-Castellon, 1982. *Lead and cadmium levels in soil and plants near highways and their correlation with traffic density*. Environmental Pollution (Serie B), 4, pp. 281-290.

N.L. Ward et J.M. Savage, 1994. *Metal dispersion and transportation activities using food crops as biomonitors*. Science of the Total Environment, 146/147, pp. 309-319.

T. Ylärinta, 1994. *Effect of road traffic on heavy metal concentrations of plants*. Agricultural Science in Finland, 4, pp. 35-48.

VIII.1.5 Propositions de valeurs limites pour le plomb et le cadmium dans les aliments et les boissons (pour information)

Origine :

Conseil supérieur d'hygiène publique de France - Plomb, cadmium et mercure dans l'alimentation : évaluation et gestion du risque, Ministère du travail et des affaires sociales, Direction générale de la Santé, 1996.

■ Plomb (teneurs exprimées par rapport au poids frais)

1- Denrées d'origine végétale
 - céréales et produits céréaliers: 0,5 mg/kg
 - légumes et fruits: 0,3 mg/kg (à l'exception des légumes-feuilles suivants: salades, céleri, épinard et choux: 0,5 mg/kg)

2- Denrées d'origine animale
 - lait: 0,05 mg/kg
 - viandes (muscles): 0,25 mg/kg
 - foie: 0,5 mg/kg
 - rein: 1 mg/kg
 - poissons: 0,5 mg/kg
 - crustacés: 1 mg/kg
 - mollusques: 2 mg/kg

3- Boissons
 - vins, bières et cidres: 0,25 mg/l
 - jus de fruits et nectars: 0,1 mg/l
 - limonades, boissons aux fruits, sodas: 0,1 mg/l

4- Conserves (à l'exclusion des boissons)
 - légumes 0,3 mg/kg (à l'exception des légumes-feuilles énumérés en 1: 0,5 mg/kg)
 (à l'exception du concentré de tomates: 1,5 mg/kg)
 - viandes 0,25 mg/kg
 - poissons 0,5 mg/kg
 - crustacés 1 mg/kg
 - mollusques 2 mg/kg

■ Cadmium (teneurs exprimées par rapport au poids frais)

1- Denrées d'origine végétale
 - céréales et produits dérivés: 0,1 mg/kg (à l'exception des sons)
 - légumes: 0,1 mg/kg (à l'exception des salades, du céleri et des épinards: 0,2 mg/kg)

2- Denrées d'origine animale
 - poissons et produits de la pêche: 0,1 mg/kg
 - mollusques, crabes et produits dérivés: 2 mg/kg
 - autres crustacés et produits dérivés: 1 mg/kg
 - viandes (*) (muscles): 0,1 mg/kg
 - foie (*): 1 mg/kg
 - rein (*): 2 mg/kg
 (*) toutes espèces

3- Boissons

- limonades, sodas, boissons aux fruits et autres boissons rafraîchissantes sans alcool : 0,01 mg/l
- jus de fruits et nectars : 0,02 mg/l
- vins, bières et cidres : 0,02 mg/l

VIII.2 Notions d'écotoxicologie

La pollution de l'environnement est devenue, en quelques décennies, un des problèmes majeurs qui conditionne l'avenir de la civilisation technologique moderne. En effet, par la nature et l'étendue de son impact, la contamination chimique de tous les milieux continentaux et océaniques menace non seulement la santé publique ou l'efficacité économique et, donc, le devenir de nos sociétés développées, mais, également et surtout, la pérennité de la biosphère toute entière. Les dégradations de plus en plus étendues qui résultent de la pollution de l'écosphère compromettent la stabilité des écosystèmes affectés et, en conséquence, le renouvellement de ressources naturelles biologiques, voire minérales, considérées voici peu encore comme inépuisables, telles l'air et l'eau. L'ampleur et la gravité de la pollution de l'écosphère, à la fin des années soixante, ont été à l'origine de l'intensification des recherches consacrées à ces problèmes. Il fallait évaluer cette atteinte afin d'assurer un développement durable par la réduction des pollutions. La majorité des préoccupations scientifiques relatives à l'étude de l'impact des pollutions sur les milieux naturels se regroupe dans une science du nom d'**écotoxicologie**.

L'objet majeur de l'écotoxicologie n'est pas l'étude de l'action des polluants sur l'individu isolé, pouvant être définie comme la toxicologie de l'environnement. *Il concerne au contraire l'étude des mécanismes par lesquels s'effectue la pollution de la biosphère et de ceux par lesquels ces polluants agissent sur les peuplements végétaux et animaux propres aux divers écosystèmes et sur les ressources naturelles biologiques* (Ramade, 1992).

Historiquement, une analyse chimique des polluants présents dans le milieu était réalisée, mais celle-ci n'informait pas sur les risques encourus par les populations animales et végétales, de plus, elle possédait des limites techniques certaines puisque les concentrations très faibles de polluants et les cocktails de molécules n'étaient pas détectés.

Cette approche est toujours suivie actuellement, mais, récemment, le concept de **biomarqueur** a émergé : un biomarqueur est une signature biologique de la présence du toxique au sein de l'organisme vivant dans son milieu. Les différents biomarqueurs peuvent apporter des informations sur l'exposition aux polluants mais, également, sur leurs effets sur les organismes vivants.

Les biomarqueurs se situant relativement bas dans l'organisation biologique peuvent être considérés (bien que cette classification soit contestable) comme un « signal d'alarme » précoce, mais ils possèdent une signification écologique faible même si leur signification toxicologique est parfois élevée (par exemple : la mort de la cellule). Les indices situés à un niveau d'organisation biologique élevé, telles les perturbations enregistrées au niveau de la communauté animale ou de l'écosystème sont en général écologiquement plus significatifs, mais non prédictifs, et les mécanismes sont plus difficilement analysables. La pertinence de ces paramètres sera donc fonction de l'objectif que s'est fixé l'expérimentateur et plus particulièrement du niveau d'organisation biologique auquel il s'adresse (Shugart et al., 1989).

Parmi les biomarqueurs, les scientifiques se sont particulièrement intéressés aux **biomarqueurs de génotoxicité** qui se rapportent aux polluants capables d'induire des modifications au niveau de l'ADN pouvant générer ultérieurement de mutations et/ou de phénomènes de cancérogenèse.

Relations avec les Sig *IX.*

Les réflexions portant sur les problèmes de pollution atmosphérique peuvent s'ordonner selon le schéma suivant :

- émission
- diffusion (et photochimie)
- évaluation des effets
- suivi et contrôle.

À chaque stade, l'interrelation avec l'outil qui constitue les Sig est potentiellement importante.

Le problème de la pollution d'origine automobile sera traité par la suite, même si les Sig peuvent constituer un apport significatif pour l'analyse des autres modes de pollution :

- pollution industrielle : localisation des sites polluants...
- pollution domestique : densités de population et mode de chauffage...
- pollution biogénique : surface et nature des «espaces verts».

De plus, il ne sera considéré que la pollution locale (à l'exclusion des pollutions régionale ou de proximité qui relèvent d'une autre problématique ou qui amèneraient à croiser l'ensemble des types de pollution).

IX.1 Émission

L'évaluation des quantités de polluants émis dans l'atmosphère par la circulation automobile repose, à l'évidence, sur des données de trafic. Il convient de cerner avec le maximum de précision :

- le volume de circulation empruntant une voie
- la nature des véhicules composant le trafic (VL, PL...)
- les conditions de circulation (vitesse, allure)
- la longueur moyenne du trajet afin de connaître l'état thermique du moteur (chaud, froid...).

L'apport des Sig, en la matière, dépend naturellement des informations figurant dans les banques de données géoréférencées localement. En toute rigueur, la distinction entre milieu interurbain et milieu urbain s'avère nécessaire.

Une difficulté importante de l'utilisation des Systèmes d'information géographique (Sig), dans ce domaine, vient de la précision (ou de l'imprécision) de l'ensemble des données et, notamment, du fait que l'on va agréger des données qui peuvent être précises (description de la voirie avec la BD Topo par exemple...) avec des données imprécises (conditions atmosphériques, caractéristiques du trafic...). Cette **hétérogénéité** des données doit impliquer des grandes précautions dans l'association, le traitement et l'exploitation des informations résultantes.

IX.1.1 Milieu interurbain

La banque de données Visage fournit un niveau d'information variable suivant les départements et suivant le statut des réseaux de voirie (national, départemental...).

En règle générale, elle permet d'accéder à des volumes de trafic par tronçons (avec % PL) ainsi qu'aux caractéristiques principales de la voie. Sur ce dernier point, les indications de rampe d'entrée et sortie d'agglomération permettent d'approcher les vitesses pratiquées. Ces données (référéncées en PR) sont de nature à permettre une cartographie des émissions polluantes du réseau interurbain. Ceci pourrait se faire à partir des données existantes :

- en créant dans un document Excel des règles de calcul permettant l'évaluation des émissions pour chacun des polluants en fonction du trafic, du % PL et des vitesses pratiquées
- en important les sections homogènes sur le plan de la pollution de Visage vers Excel
- en évaluant les émissions de polluants par sections homogènes
- en procédant à un géocodage linéaire des tronçons homogènes, par exemple sur le réseau Sacarto, avec import sous Mapinfo par VSMAP.

La mise à disposition du référentiel routier en milieu interurbain, utilisant pour la géométrie la BD Carto

(Meriu), permettra une homogénéisation nécessaire pour les échanges de données mais ne résoudra pas, bien sûr, le cas des infrastructures en projet pour lesquelles une digitalisation spécifique est nécessaire avec une évaluation des trafics.

IX.1.2 Milieu urbain

La problématique est tout à fait comparable, mais la différence réside dans la nature de la précision des données de trafic. Plusieurs logiciels d'affectation de trafic sont d'ores et déjà disponibles pour exploiter les enquêtes réalisées sur les déplacements en milieu urbain (enquêtes origine-destination, enquêtes «ménage»...). Ils offrent l'avantage de couvrir un réseau viaire important par une modélisation à l'échelle d'une agglomération, avec une densité d'information très supérieure aux résultats des comptages disponibles.

Ils présentent cependant l'inconvénient (dans l'utilisation généralement faite) de fournir comme résultats des affectations exprimées en unité de véhicule particulier (UVP) à l'heure de pointe du soir (HPS). En dehors des axes écoulant un trafic de transit ou d'échange comportant un pourcentage élevé de poids lourds, les UVP peuvent permettre d'approcher le nombre de véhicules par heure, avec des approches forfaitaires. De même, un rapport de l'ordre de 10 entre le trafic à l'HPS et le trafic moyen journalier annuel est assez fréquemment utilisé pour convertir les données disponibles.

Il va de soi que ces approches forfaitaires, bien représentatives de situations courantes, ne peuvent se transposer sans analyse spécifique à des axes desservant des générateurs de trafic particuliers tels que marchés d'intérêt national, gares, ports ou aéroports.

Une autre des limites de ce type d'outil est relative à la connaissance des rampes, influant directement sur les émissions polluantes des véhicules. Rappelons que les bases de données disponibles

dans les DDE sous Visage fournissent souvent, du moins pour le réseau national, même en milieu urbain, des valeurs de trafic, de pourcentage poids lourds et de rampe qui peuvent utilement compléter les données acquises par ailleurs: c'est a priori ce réseau qui supporte le plus de trafic et les taux de poids lourds les plus importants.

Suivant la constitution des bases de données routières, des moyens indirects peuvent être utilisés pour accéder aux valeurs de rampes. En milieu urbain, on peut tout d'abord faire l'hypothèse que, en dehors de dénivellations ponctuelles (carrefours), les infrastructures routières ont sensiblement la même pente que le terrain naturel (même si elles sont positionnées en viaduc ou en tranchée).

Dès lors, l'utilisation de la BD Alti de l'IGN, avec un pas de 50 m, par exemple, peut permettre d'établir une carte des pentes précise qui visualise les secteurs où la déclivité est potentiellement la plus forte. Ceci permet de sélectionner les zones sur lesquelles une investigation spécifique est à conduire car la rampe des routes y peut significativement jouer sur les émissions de polluants, du fait de sa longueur et/ou de son importance.

La donnée altimétrique de la BD Topo de l'IGN, plus précise, permet l'établissement d'un modèle numérique de terrain (et de cartes de pentes) pouvant être utilisé en complément de celui de la BD Alti dans ces zones d'enjeu particulier. La précision de cette base de données et son coût élevé en font un outil intéressant mais complémentaire aux bases de données à moyenne échelle.

Enfin, l'utilisation, en milieu urbain, des modèles d'affectation précités présente l'avantage, par rapport aux comptages, de déterminer la longueur de chacun des trajets se reportant sur tel ou tel tronçon de voirie. Ceci permet d'approcher l'importance relative des émissions «moteur froid» et «moteur chaud».

IX.2 Dispersion

À l'échelle locale, le recours aux outils Sig peut être fort utile dès lors qu'ils permettront l'intégration des informations relatives :

- au réseau viaire géoréférencé,
- à la topographie du site étudié.

Le premier point a déjà été évoqué ; le second, approché sous un angle - celui des rampes - au paragraphe précédent.

Globalement, le relief est déterminant sur les conditions de propagation des polluants du fait :

- des éventuels obstacles qu'il crée
- de son influence sur les conditions météorologiques locales.

En effet, le relief contribue à influencer sur les paramètres fondamentaux de la propagation des polluants que sont la direction des vents et la température (et son inversion).

La connexion de modèles de dispersion - diffusion avec, par exemple, des modèles numériques de terrain intégrés à un Sig permet d'approcher ce facteur essentiel.

IX.3 Évaluation des effets

En suivant les démarches précédemment décrites, on peut avancer, avec une fiabilité dépendant de la précision des données de base et de celle des modèles utilisés, des concentrations en polluants géoréférencées en 3D. La comparaison avec les différentes valeurs seuils issues de directives ou autres sources peut alors être faite.

Un élément complémentaire et primordial que peuvent permettre d'aborder les Sig est celui du chiffrage de la quantité des populations exposées à telle ou telle concentration de polluant.

L'exploitation des fichiers dont dispose l'Insee, par exemple à l'ilot, est soumise à conditions d'utilisation auprès de la Cnil. Mais, souvent intégrées en amont aux modèles d'affection de trafic, ces données peuvent permettre des appréciations relatives de plusieurs scénarios de déplacements.

Sur le plan qualitatif, le Sig pourra permettre de géolocaliser des points singuliers vis-à-vis des questions de pollution : écoles, maisons de retraite, établissements hospitaliers... Ces informations sont disponibles dans certaines bases de données commercialisées (comme la BD Topo IGN).

IX.4 Suivi et contrôle

Les applications potentielles des Sig, qui viennent d'être évoquées, se rapportent essentiellement aux études prévisionnelles, mais, dans la phase aval, ils peuvent aussi avoir grandement leur utilité.

À titre d'exemple, une fois les capteurs des réseaux de mesure géoréférencés, des évaluations de quantité ou de type de population exposé à un certain phénomène de pollution (passé ou prévu) peuvent être faites avec la méthode suggérée au chapitre précédent.

Dans un autre esprit, les capteurs de proximité automobile de mesure devant être localisés, en fonction de critères incluant le niveau de saturation circulation et l'importance du chiffre de résidents alentour, les SIG peuvent contribuer à obtenir ces données au prix de croisement d'informations pertinentes.

IX.5 Méthode d'approche de la population

IX.5.1 Problématique

L'étude de la pollution de l'air dans les projets routiers doit, entre autre, permettre de quantifier les populations

touchées par d'éventuelles nuisances afin d'aider au choix d'une variante de moindre impact environnemental.

L'aspect quantitatif peut se résumer à des calculs de densités de population à l'intérieur de fuseaux d'études : combien de personnes se trouvent dans la bande de 300 mètres de ce projet ?

L'aspect qualitatif peut également être considéré dans ce type de projet puisqu'il apporte des informations quant à la composition même de la population : classes d'âge, catégories socio-professionnelles, migrations alternantes...

L'apport des Sig paraît intéressant. En effet, l'un des avantages des Sig est de pouvoir mettre en relation des données dans l'espace (tracé routier, urbanisation...) avec des informations statistiques, sémantiques qui « n'existent pas réellement sur le terrain » (recensement de population).

Cette mise en relation est opérée par l'intermédiaire des fonctions d'analyse spatiale, de croisement de couches d'information.

Une des difficultés de ce type d'analyse est de pouvoir localiser correctement sur une carte une information de recensement.

Une autre difficulté réside dans les données de recensement qui ne sont pas toutes du même niveau. Il sera nécessaire de distinguer les trois cas d'étude suivant :

- projet en milieu urbain
- tracé en milieu périurbain, industriel
- projet en rase campagne.

Pour chacun de ces cas, les données à utiliser ne seront pas les mêmes ou seront d'un niveau d'information différent (recensement au 1/4 par îlot, recensement exhaustif par îlot, recensement à la commune).

IX.5.2 Données géographiques utilisables :

Les trois cas d'étude cités ci-avant vont être repris afin d'exposer les données géographiques qui peuvent être utilisées dans les études de pollution de l'air.

a) projet en milieu urbain

C'est en zones urbaines que les données de recensement de population sont les plus exhaustives et surtout les plus finement localisées dans l'espace.

En effet, à partir de **5 000 habitants**, une commune est découpée en îlots. Le découpage en îlots consiste à réaliser une division du territoire communal, souvent par rapport aux rues existantes. Un îlot pourra être, par exemple, deux immeubles entourés par des voies routières. Le découpage en îlot représente la plus petite division des communes, juste avant le découpage en quartiers. Lors d'un recensement, les agents enquêteurs interrogent les habitants de chaque îlot, puis ils réalisent une compilation de ces enquêtes qui aboutit à la connaissance précise de la population.

Jusqu'à une période très récente, seules les données chiffrées du recensement étaient sous forme numérique (fichiers Excel). Le découpage en îlot était sous forme papier. Il était donc impossible d'avoir une vision globale de la structure d'une agglomération ou même d'une commune puisqu'il n'existait pas de relation entre les données alphanumériques et le découpage qui aurait permis de les situer dans l'espace.

Le développement des Sig a résolu cette difficulté. L'Insee, en collaboration avec l'IGN, a entrepris un vaste chantier de numérisation de son découpage en îlots qui a été une aide au recensement de population effectué en 1999.

Le découpage en îlots est opéré à partir de la base de données Géoroute de l'IGN. À cette base de données, sont ajoutés des identifiants qui assurent le lien entre les données sémantiques et graphiques. Les identifiants sont des attributs particuliers qui identifient d'une

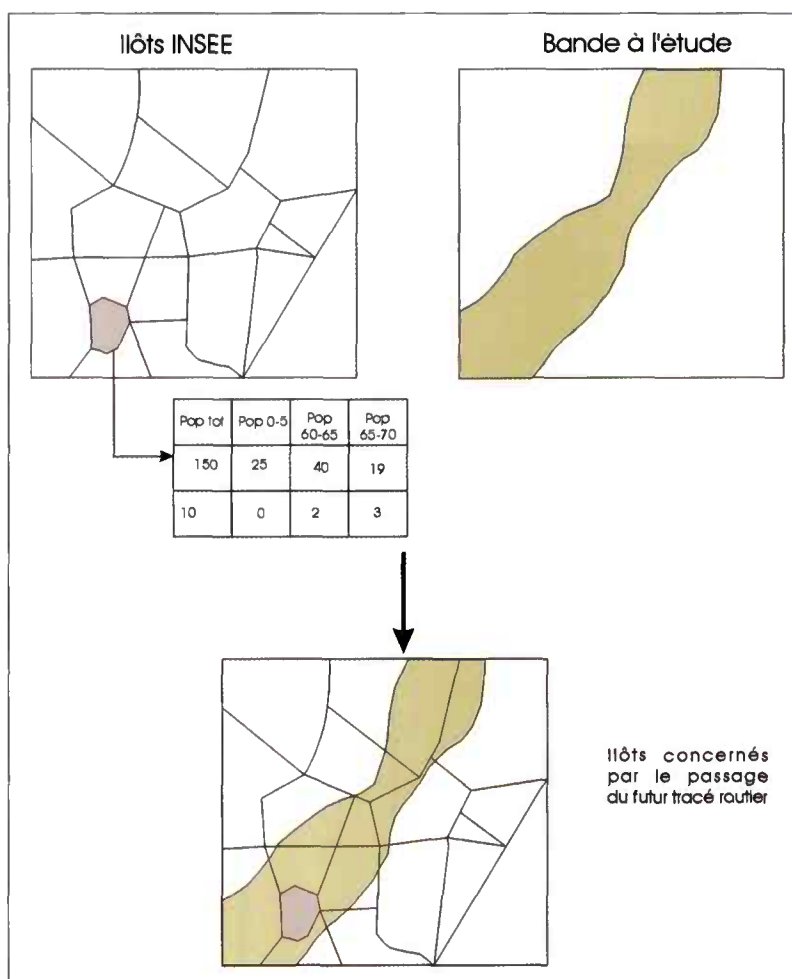
manière **unique** chaque entité géographique. Le résultat de ce travail est la commercialisation de la Base Ilots. Un îlot est vendu 7 F. Les données du recensement peuvent être utilisées à condition de disposer de l'autorisation de la Cnil. Par ailleurs, il est possible de numériser les îlots lorsqu'un projet est en cours sur une ville qui ne dispose pas encore d'une Base Ilots.

Le contenu des informations alphanumériques est très riche puisque sur une agglomération comme Rouen, la taille totale des données avoisine les 100 MO. Il est toutefois possible de demander à l'Insee de faire un tri et de ne retenir qu'une partie des informations.

Les données utiles pour mener à bien le recensement des populations susceptibles d'être touchées par une pollution atmosphérique sont énumérées ci-après :

- population totale sans double compte
- population par classes d'âge de 5 ans afin de dénombrer plus facilement la population la plus exposée : 0-5 ans, 60-65 ans, 65 ans et plus.
- catégories socio-professionnelles

Les données sémantiques retenues, il est alors possible de quantifier la population située dans un fuseau de tracé routier. Un croisement entre le fuseau et la base de données des îlots permet de connaître ce résultat comme l'illustre la figure ci-après :

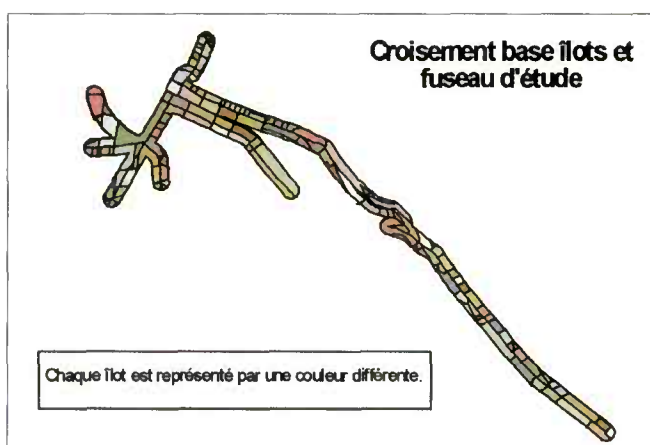


Le résultat de ce croisement permet de connaître les îlots présents dans la bande étudiée et, par conséquent, le nombre d'habitants soumis potentiellement à des nuisances. Pour cela, il suffit de sommer la population de chaque îlot présent dans la bande. Pour les îlots non entièrement compris dans la bande, il est indispensable de ne retenir qu'une partie de la population. La seule solution est d'appliquer, au champ population, le pourcentage de la surface d'îlot présent dans le fuseau. Le ratio suivant est appliqué :

population totale de l'îlot x surface de l'îlot à l'intérieur du fuseau / surface de l'îlot

Les îlots ayant une structure de bâti homogène, la fiabilité de ces calculs est donc correcte.

L'intersection entre les îlots et le projet routier est illustrée par l'exemple du projet de rocade Est de Rouen. D'après les calculs de trafic, cet aménagement induirait des modifications de trafic de plus de 10% sur certains axes du centre-ville supportant plus de 1000 uvp/h (cf. chapitre 3). Des bandes d'étude de 100 m ont été affectées à ces différents axes et croisées avec les données de population.



Outils pour traiter ces données

D'une façon générale, les outils d'application de Sig peuvent traiter ces données. À titre d'exemple, Arc Info, Arc View, Map Info peuvent répondre

aux besoins. La seule contrainte est de vérifier la bonne conformité entre les types de fichiers livrés par le fournisseur de données et le logiciel dont on dispose.

Fournisseurs et conditions d'utilisation

Les données à l'îlot sont disponibles auprès des agences régionales de l'IGN. L'ensemble de ces données est soumise aux lois de copyright avec convention d'utilisation.

b) **Projet en milieu périurbain ou industriel**

Pour l'étude de projets en site périurbain ou industriel, la problématique se résout à l'aide des mêmes données que précédemment avec, toutefois, une variable supplémentaire. Les sites industriels ne comportent pas ou peu de personnes résidentes. En revanche, ces sites comptent un grand nombre de personnes en activité qui, chaque jour, se rendent à leur travail.

Il convient donc d'évaluer cette population non résidente mais qui peut être soumise à des nuisances pendant les heures de travail.

Cette donnée peut être obtenue dans l'atlas des zones d'activités édité par les DRE. L'atlas donne, pour chaque entreprise, sa localisation et le nombre de salariés. Il peut être complété par un recueil de données effectué auprès des Chambres de commerce.

c) **Projet en rase campagne**

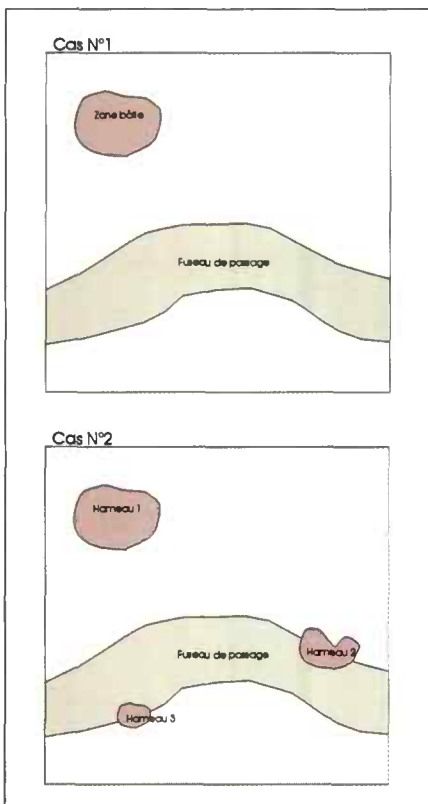
Il s'agit du cas le plus délicat quant à la précision des données. C'est en fait une question d'échelle. Une commune disposant de plus de 5000 habitants est découpée en îlots. En deçà, le recensement est disponible pour la commune entière.

Il est donc nécessaire d'introduire une autre couche d'information comme la localisation de l'urbanisation. Sans cette couche, il serait possible de prendre en compte la population d'un village alors que celle-ci se trouve de l'autre côté du territoire communal (cas n° 1).

Le problème est résolu lorsque le village ne compte qu'un noyau bâti, entièrement compris dans la bande d'étude.

Il reste entier si le village est composé de plusieurs hameaux. Comment, en effet, savoir si un hameau regroupe 1/3 de la population ou seulement 1/5 de la population totale? (cas n°2)

La méthode du ratio, adoptée en site urbain, est valable puisque les îlots sont découpés en tenant compte de la typologie du bâti. Mais en rase campagne, il est possible de se trouver avec un hameau ne comptant que deux corps de ferme et un autre hameau composé d'un lotissement. Ces deux hameaux peuvent avoir la même surface mais ils n'auront pas la même population. Cette méthode n'est donc pas du tout applicable en rase campagne.

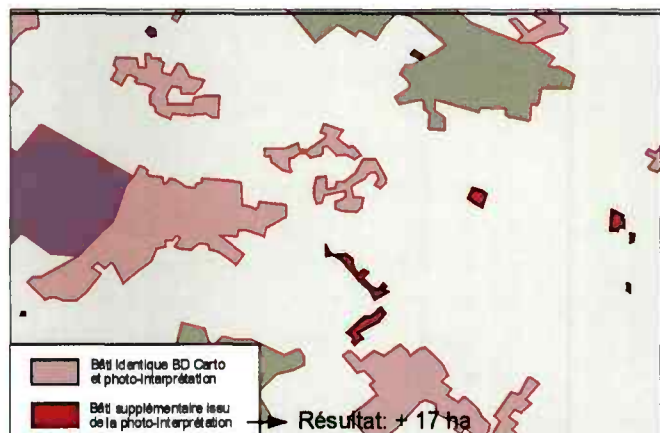


La BD Carto pourrait sembler une alternative appropriée à la résolution de ce problème. Il n'en est rien puisqu'elle ci n'est pas exhaustive dans la représentation des surfaces urbanisées. Un seuil minimal de 8 hectares est fixé, en rapport aux spécificités techniques, qui peut induire des marges d'erreur importantes.

La base de données Corine Land Cover, dont le seuil minimal est de 25 ha, est encore moins satisfaisant pour ce type d'exploitation.

Les bases de données constituées pour les autres types d'analyse environnementale (agriculture, urbanisme, paysage...) peuvent être exploitées pour l'analyse environnementale « air ».

Sur le test suivant, l'occupation du sol de la BD Carto a été comparée à une photo-interprétation.



Le résultat montre que la photo-interprétation donne une surface bâtie plus grande de 17 hectares par rapport à la BD Carto. Cette dernière ne doit donc pas être utilisée à des fins de calcul de densité de population en rase campagne.

La seule solution qui puisse être envisagée est un travail à partir de clichés aériens. Cette méthode, dont la fiabilité demeure incertaine et qu'il convient d'appliquer avec précaution, est la seule qui offre la possibilité de compter une population en rase

campagne lorsque la commune est composée de plusieurs noyaux construits. Toutefois c'est une technique éprouvée lorsqu'elle est réalisée avec le savoir-faire indispensable. Elle est peut-être plus incertaine dans l'appréciation de la population résultante.

L'utilisation des photographies aériennes est intéressante car elle permettra d'acquérir une information concernant la répartition du bâti et le croisement avec les données Insee fournira une approche qualitative de la population concernée. Le travail sur les orthophotos numériques géoréférencées permet une interprétation directe sur ordinateur, pour s'affranchir de la numérisation de la couche d'information résultant de la photo-interprétation.

Les progrès des caractéristiques de résolution de l'imagerie satellitaire (Irs, Spot, Ikonos...) permettent aussi d'envisager l'utilisation de cette source de données. La discrimination du bâti peut se faire soit directement par photo-interprétation, soit sur de vastes zones d'études par traitement numérique des images permettant d'extraire le bâti.

Les caractéristiques du satellite Spot permettent la constitution de modèles numériques de terrains intéressants pour l'appréciation des émissions et des concentrations.

À l'issue de ces traitements, on obtient un indicateur de population qui, pour imprécis qu'il soit, permet d'apprécier des effets et de comparer des solutions.



Photographie aérienne © IGN - Paris - 1999 - Autorisation n° 43-90090

À partir d'une photo aérienne, il est possible de recenser le nombre de maisons ou d'immeubles concernés par un projet routier. Le nombre moyen d'habitants par résidence est une variable qui figure dans le recensement de la population Insee (cahiers orange) et qui est connue quelle que soit la commune. On peut donc affecter un nombre moyen d'habitants par résidence.

Pour «tester» cette méthode de quantification de la population touchée, le cas suivant a été retenu. Il s'agit d'une commune située en périphérie de l'agglomération rouennaise, Le Mesnil Esnard. Cette commune présente certaines caractéristiques d'une commune en rase campagne (lotissements), mais son découpage en îlots est disponible. Cela permet d'effectuer une comparaison.

Trois îlots ont été représentés sur le cliché :

- l'îlot AE08 compte 14 maisons ;
- l'îlot AK07 compte 43 maisons ;
- l'îlot AK08 compte 23 maisons.

D'après le recensement de 1990, la population du Mesnil Esnard est de 6092 habitants et le nombre total de résidences de 2125. Le nombre moyen d'occupants par résidence est donc, selon l'Insee, de 2.85.

Cette moyenne, appliquée aux trois îlots ci-dessus, donne les résultats suivants :

- l'îlot AE08 comporterait 40 habitants alors que, d'après la Base îlots, 45 personnes y habitent ;
- l'îlot AK07 comporterait 122 habitants alors que, d'après la Base îlots, 205 personnes y habitent ;
- l'îlot AK08 comporterait 65 habitants alors que, d'après la Base îlots, 79 personnes y habitent.

Même si cet indicateur semble plus juste que le ratio utilisé en site urbain, il paraît difficile de le considérer comme totalement fiable et de l'appliquer à l'ensemble des cas.

Il semble en effet aléatoire de fixer un nombre moyen d'occupants par résidence alors qu'une même maison peut abriter un jeune couple, une famille avec enfants ou des retraités dont les enfants sont partis. De même, si une commune dispose d'un noyau urbanisé ancien et d'un lotissement, la population ne sera certainement pas la même par habitation.

Cette méthode n'est donc pas complètement satisfaisante et ne peut être appliquée à l'ensemble du territoire national. Une méthode complémentaire consisterait à se déplacer sur le terrain et à enquêter auprès des riverains mais cela reviendrait à refaire un recensement Insee dans la bande d'étude...

IX.6 Conclusion

Aux différents niveaux de prise en compte de la pollution atmosphérique d'origine automobile, les outils Sig peuvent fournir une aide à la réflexion rapide et précieuse dès lors qu'ils permettront :

- la description géographique du réseau routier ;
- la connaissance du trafic (volume, nature, vitesse,

allure) sur les différents tronçons du réseau ;

- l'exploitation de la topographie locale ;
- l'intégration de données spatialisées de population (importance et nature).

Une coordination entre les différents thèmes de l'étude au sens large, lors du démarrage des études du projet, permettra l'acquisition des données nécessaires et un traitement adapté aux diverses utilisations envisagées. Les bases de données seront alors constituées pour les diverses équipes du projet (projeteur routier, géotechniciens et diverses équipes environnementalistes et spécialistes des études socio-économiques...). Le coût et la lourdeur des traitements de ces données particulières, comparés aux données « sur étagère » mais peu satisfaisantes du fait de leurs caractéristiques préétablies (seuils minimaux de cartographie, dates de réalisation et de mises à jour, précision géométrique et sémantique des données...) peuvent avantageusement être compensés par la qualité des informations obtenues et par un partage du coût entre les différents utilisateurs.

X. Cas des ouvrages souterrains

X.1 Généralités

Les gaz d'échappement émis par les véhicules sont canalisés lors de leur passage en tunnel. Le rôle de la ventilation est de les diluer par apport d'air frais, afin que les niveaux de pollution atteints demeurent admissibles, pour les temps d'exposition relativement courts des usagers.

Mais, au niveau des rejets, les concentrations en certains polluants sont souvent supérieures à celles que l'on rencontre habituellement à l'air libre. Leur dilution n'est pas immédiate et la présence de riverains qui seraient soumis en permanence aux nuisances du tunnel, justifie que l'on s'interroge sur la qualité de l'air au voisinage de ces ouvrages et, bien sûr, particulièrement en site urbain.

Un guide sur la qualité de l'air au voisinage des tunnels routiers sera publié courant 1999 par le Cetu.

X.2 Quels sont les types de polluants qui peuvent constituer une gêne ou un danger pour la population riveraine du tunnel ?

Parmi les polluants caractéristiques de la pollution d'origine automobile on s'intéresse en tout premier lieu aux polluants réglementés.

Le monoxyde de carbone (CO) a longtemps été le traceur idéal de cette pollution. Mais, d'une part sa diminution a été rapide car il a été le premier à faire l'objet de la réglementation sur les émissions. La généralisation des pots catalytiques et la diésélisation du parc ont encore accéléré cette tendance. D'autre part, le CO présente des effets aigus très rapides aux teneurs auxquelles on le rencontre habituellement, ce qui explique que les niveaux admissibles dans l'environnement soient définis pour des durées d'exposition relativement courtes comme c'est le cas des valeurs préconisées par l'Organisation mondiale de la santé.

Parmi les autres polluants gazeux, ce sont principalement les oxydes d'azote (NOx) qui sont importants. En raison de l'effet cumulatif à long terme de ce polluant, les niveaux admissibles en NO₂, fixés par le décret n°98 - 360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air, sont très bas et s'appuient, outre une valeur maximale, sur la notion de percentiles 98 et 50 qui définit que ces seuils ne doivent pas être dépassés par plus de 2% et 50% des valeurs moyennes horaires mesurées sur toute l'année.

On doit aussi envisager le problème de la pollution particulaire dont les effets sur la santé des populations les plus fragiles sont reconnus. En tunnel, les niveaux sont limités par la ventilation en fonction de la notion de transparence de l'air qui a une influence sur la visibilité, donc sur la sécurité ou le confort des usagers. Ils sont relativement faibles et sans aucune comparaison avec des rejets d'origine industrielle.

Dans l'environnement, c'est la notion de teneur pondérale en particules inhalables qui est prise en considération et réglementée. Il ne semble pas que la présence d'un tunnel conduise à des niveaux élevés par rapport à la pollution de fond. Les riverains sont plutôt sensibles à l'aspect salissure ainsi qu'aux odeurs qui constituent la pollution sensible.

X.3 Comment peut-on prévoir les effets d'un tunnel sur la qualité de l'air de son environnement proche et juger s'ils sont admissibles ?

Cette prévision comprend plusieurs phases qui font appel à différents types de démarches.

La plus importante de celle-ci est l'étude de la dispersion de la pollution des rejets du tunnel : baie d'extraction, cheminée ou portail. On peut envisager des approches simplifiées. Dans un premier temps, on peut essayer de raisonner par analogie avec d'autres

sites ayant déjà fait l'objet d'études détaillées. On peut aussi utiliser des formules de calcul basées sur des théories classiques de transfert de la mécanique des fluides. Des modèles de prévisions ont été obtenus en paramétrant, sous forme d'abaques, des résultats de calcul et parfois des données expérimentales. Mais, dès lors que l'on se trouve confronté à un cas sensible, ce qui est souvent le cas site urbain avec un bâti existant, on doit avoir recours à des méthodes de simulation.

On peut faire appel à des études sur maquettes aérodynamique ou hydraulique qui doivent être confiées à des laboratoires spécialisés qui maîtrisent bien tous les problèmes de similitude.

On peut également recourir à des simulations numériques. Les codes de calcul doivent être alors suffisamment élaborés pour permettre de prendre en compte les particularités topographiques, souvent complexes, du site et avoir fait l'objet de calages dans des conditions d'utilisation proches.

Des études sont actuellement en cours au Cetu, en collaboration avec d'autres centres de recherches comme le CSTB, le CNRM, ainsi que des organismes ayant développé des codes de calcul ou 3D appliqués aux études de dispersion de la pollution. La comparaison des résultats devrait permettre de valider ces modèles ou de préciser leurs limites et conditions d'utilisation.

L'exploitation statistique de l'ensemble des données concernant, d'une part les concentrations et les débits de pollution des rejets en fonction du trafic et de la ventilation et, d'autre part la dispersion de la pollution en fonction des conditions météorologiques, permet de définir l'impact du tunnel qui doit ensuite être conjuguée avec la pollution initiale du site.

La comparaison de cette pollution résultante aux niveaux admissibles dans l'environnement permet de conclure si l'équipement projeté est acceptable ou non.

X.4 Si les niveaux de pollution résultants dépassent les limites jugées admissibles, à quels remèdes peut-on avoir recours pour minimiser l'impact du tunnel ?

Le traitement de l'air est une solution qui paraît *a priori* séduisante puisque, non seulement elle permettrait de limiter la pollution de proximité, mais aussi elle contribuerait, en profitant de la présence d'un tunnel, à diminuer la pollution globale due au trafic automobile. On fait souvent référence à des réalisations existantes en tunnel, surtout au Japon, mais aussi en Norvège. En réalité, les objectifs du recours à ces dispositifs étaient très spécifiques et ne peuvent être généralisés : la filtration des particules en suspension semble maintenant assez bien maîtrisée ; par contre, le traitement des gaz toxiques est encore dans la phase des études de faisabilité et de rendement. Il reste encore beaucoup de travail et de progrès à faire avant de pouvoir conclure à l'efficacité globale des méthodes étudiées et d'avoir résolu les problèmes qui conditionnent leur utilisation dans des conditions économiques acceptables.

Dans l'état actuel des connaissances, c'est donc la ventilation elle-même du tunnel qui devra permettre de résoudre les problèmes de qualité de l'air dans l'environnement, en faisant appel aux moyens adéquats, c'est-à-dire que le projecteur devra jouer sur les débits et les concentrations en polluant de l'air vicié, sur la localisation et la configuration des rejets ou sur toute méthode de nature à améliorer la dispersion de la pollution et à protéger les points les plus sensibles.

X.5 Prise en compte des ouvrages souterrains dans l'étude générale d'environnement

Dans la plupart des cas, l'ouvrage en souterrain (tunnel ou tranchée couverte) est incorporé à un itinéraire avec comparaison de scénario ou de variante. L'ouvrage en lui-même demande une étude spéciale d'environnement (rejets aux têtes ou aux cheminées d'évacuation de l'air vicié).

Pour les comparaisons, sur des polluants spécifiques, comme le CO et les NO_x par exemple, on reprendra les valeurs du projet « tunnel », tant aux têtes qu'aux cheminées. Par contre, pour les autres polluants non étudiés dans le cadre du projet « tunnel », il conviendra d'effectuer les calculs à partir de la méthodologie « air libre ».

Les valeurs et leur affectation (têtes ou cheminées) seront alors reprises dans les inventaires globaux en polluants et en consommation énergétique.

Pour les ouvrages souterrains, on se rapprochera du Cetu.

Adresses utiles *XI.*

Direction des routes et services centraux

METL - Direction des routes

P. Schmelz
92055 La Défense cedex 04
tél : 01 40 81 14 77
fax : 01 40 81 19 30
e-mail : pierre.schmeltz@equipement.gouv.fr

Certu - Département environnement

J. P. Vinot
9 rue J. Récamier 69456 - Lyon cedex 06
tél : 04 72 74 59 14
fax : 04 72 74 59 50
e-mail : jean-pierre.vinot@equipement.gouv.fr

Cetu - 1^{er} arrondissement

J.P. Marsault
25 avenue F. Mitterrand - case n°1 - 69674 Bron cedex
tél : 04 72 14 33 88
fax : 04 72 14 34 70
e-mail : jean-pierre.marsault@cetu.equipement.gouv.fr

Setra

P. Skriabine
BP 100 - 92223 Bagneux cedex
tél : 01 46 11 32 46
fax : 01 46 11 36 84
e-mail : skriabine@setra.fr

CETE et DREIF

Cete de l'Est

E. Bloch : responsable division environnement
Y. Sauvalle : études et méthodologie pollution de l'air
J. Carsignol : pollution des sols et végétaux
1 boulevard de la solidarité - BP 5230 - 57076 Metz cedex 03
tél : 03 87 20 43 00
fax : 03 87 20 46 49

Cete de Lyon

J. Sampic : département études urbaines
46 rue St-Théobald - BP 128 - 38081 Isle-d'Abeau cedex
tél : 04 74 27 51 51
fax : 04 74 27 52 52

Cete Méditerranée

J.M. Tanguy
30 rue A Einstein - BP 37000 - 13791 Aix-en-Provence cedex 3
tél : 04 42 24 76 49
fax : 04 42 24 76 49

Cete Normandie-Centre

S. Martinoni
Chemin de la Poudrière - BP 245 - 76121 Grand-Quevilly
tél : 02 35 68 82 26
fax : 02 35 68 82 19

Cete Nord-Picardie

R. Lagache unité chimie
Laboratoire régional des Ponts et Chaussées - 42 bis rue du Marais - 59482 Haubourdin cedex
tél : 03 20 48 49 72
fax : 03 20 50 55 09

Cete de l'Ouest

MAN

D. Stark: division infrastructure et environnement

Rue R Viviani - 44062 Nantes cedex 02

tél: 02 40 12 83 68

fax: 02 40 12 84 44

Cete du Sud-Ouest

C. Guignard

Rue P Ramond - BPC - 33165 Saint-Médard-en-Jalles

cedex

tél: 05 56 70 66 24

fax: 05 56 70 67 05

Dreif

J.P. Tareau

21-23 rue Miollis - 75732 Paris cedex

tél: 01 40 61 85 50

fax: 01 40 61 81 61

Autres services**Ademe - Direction air et transports**

J. Noppe

27 rue L. Vicat - 75737 Paris cedex 15

tél: 01 47 65 24 77

fax: 01 47 36 48 83

e-mail: noppe@ademe.fr

Inrets

Docteur M. Chiron

25 avenue F. Mitterrand - case 24 - 69675 Bron cedex

tél: 04 72 14 25 27

fax: 04 72 14 25 20

e-mail: mireille.chiron@inrets.fr

Mate DPPR

P. Blanc

20 avenue de Ségur - 75302 Paris 07 SP

tél: 01 42 19 14 02

fax: 01 42 19 14 71

e-mail: patricia.blanc@environnement.gouv.fr

Mate DEEEE

C. Brule

20 avenue de Ségur - 75302 Paris 07 SP

tél: 01 42 19 18 78

fax: 01 42 19 19 80

e-mail: claud.brule@environnement.gouv.fr

Direction générale de la santé DGS (VS3)

H. Malecki - I. Thirouin: Bureau des risques des milieux et de l'alimentation

8 avenue de Ségur - 75350 Paris 07 SP

tél: 01 40 56 45 10

fax: 01 40 56 50 56

e-mail: isabelle.thirouin@sante.gouv.fr

hugues.malecki@sante.gouv.fr

Institut de veille sanitaire (InVS ex RNSP)

Docteur P. Quénel

12 rue du Val d'Osne - 94415 Saint-Maurice cedex

tél: 01 41 79 67 58

fax: 01 46 75 67 53

e-mail: p.quenel@invs.sante.fr

INERIS

A. Cicolella

Parc technologique ALATA

BP n°2

60550 Verneuil en Halatte

tél: 03 44 55 66 77

fax: 03 44 55 66 99

e-mail: andre.cicolella@ineris.fr

Réseaux de mesure de la qualité de l'air (origine Mate au 4/11/99)**Aerform**

Association pour l'exploitation du réseau de mesures de la qualité de l'air des vallées de la Fensch, de l'Orne et de la Moselle

Président: M. Remery

Directeur: M. Lebois

Responsable technique: M. Manys

17 avenue des Tilleuls - 57190 Florange (Metz)

tél 03 82 51 46 60

fax 03 82 51 4480

serveur internet users.aol.com/aerform

e-mail aerform@aol.com

Airaq

Association pour la surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine

Président: M. Enderlin

Responsable: M. Grégoire

95 rue de la Liberté - 33073 Bordeaux Cedex

tél: 05 56 24 35 30

fax: 05 56 96 68 06

minitel 3614 AIRAQ

Air Breizh

Association régionale de surveillance de la qualité de l'air en Bretagne

Président: M. Venien

Responsable: Mme Corron

Le Thilium - 7 square du Chêne Germain - 35510 Cesson-Sévigné

tél: 02 23 20 90 90

fax: 02 23 20 9095

serveur internet www.airbreizh.asso.fr

e-mail air.breizh@wanadoo.fr

Airfobep

Association pour la surveillance de la qualité de l'air de la région de l'étang de Berre et de l'Ouest des Bouches-du-Rhône

Président: M. Andreoni

Responsable: M. Thieleke

Route de la Vierge - 13500 Martigues

tél: 04 42 13 01 20

fax: 04 42 13 01 29

répondeur vocal 04 42 49 35 35

minitel 3614 CYPRES

Airlor

Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Lorraine

Président: M. Gaillard

Responsable: Mme Bastin

Parc-club de Nancy-Brabois - 1 allée de Longchamp -

54500 Vandœuvre-les-Nancy (Nancy)

tél: 03 83 44 38 89

fax: 03 83 44 38 90

serveur internet www.airlor.org

e-mail airlor@loracom.fr

Airmaix

Association pour la surveillance de la qualité de l'air de l'Est des Bouches-du-Rhône, du Var et du Vaucluse

Président: M. Robert Assante

Responsable: Mme Genève

67-69 avenue du Prado - 13286 Marseille cedex 06

tél: 04 91 32 38 00

fax: 04 91 32 38 29

répondeur vocal 04 91 83 21 83

minitel 3614 CYPRES

serveur internet www.airmaraix.com

e-mail airmaraix@airmaraix.com

e-mail personnels du type c-geneve@airmaraix.com

Air Normand/Alpa

Association pour la mise en œuvre du réseau d'étude, de mesure et d'alarme pour la prévention de la pollution atmosphérique de la Basse-Seine - Zone de l'Estuaire

Président: M. Merville (Alpa)

Responsable: Mme Delmas

142 boulevard de Strasbourg - 76600 Le Havre

tél: 02 32 74 06 40

fax: 02 32 74 06 45

minitel 02 35 71 35 71

e-mail zebulair@easynet.fr

Air Normand/Remappa

Association pour la mise en œuvre du réseau d'étude, de mesure et d'alarme pour la prévention de la pollution atmosphérique de la Basse-Seine - Zone Rouennaise

Président: M. Gérard Simon (Remappa)

Responsable: Mme Delmas

21 avenue de la Porte des Champs - 76000 Rouen

tél: 02 35 07 94 30

fax: 02 35 07 94 40

minitel 02 35 71 35 71

e-mail remappa@wanadoo.fr

Airparif

Surveillance de la qualité de l'air en Île-de-France

Président: M. Elbel

Responsable: M. Lameloise

7 rue Crillon - 75004 Paris

tél: 01 44 59 47 64

fax: 01 44 59 47 67

minitel 3615 AIRPARIF

serveur internet www.airparif.asso.fr

e-mail personnels du type

plameloise@airparif.asso.fr

Ampac

Association pour la mesure de la pollution atmosphérique de l'agglomération clermontoise et d'Auvergne

Président: M. Genet

Responsable: M. Pellier

43 rue de Wailly - 63000 Clermont-Ferrand

tél: 04 73 34 76 34

fax: 04 73 34 33 56

minitel 3615 METEO clef ECO

e-mail ampac@wanadoo.fr

Ampadi LR

Association pour la maîtrise de la qualité de l'air en Languedoc-Roussillon

Président: M. Pietrasanta

Responsable: M. Vuillot

Les Echelles de la Ville - Antigone - 3 place Paul Bec -

34000 Montpellier

tél: 04 67 15 96 60

fax: 04 67 15 96 69

minitel 3614 AMPADI

serveur internet www.ampadilr.asso.fr

e-mail info@ampadilr.asso.fr

e-mail personnels du type [bvuilott@ampadilr.asso.fr](mailto:bvuillot@ampadilr.asso.fr)

Ampasel

Association de mesure de la pollution atmosphérique de Saint-Etienne et du département de la Loire

Présidente: Mme Grossetête

Responsable: M. Richard

Mairie de Saint-Etienne - 42007 Saint-Etienne

tél: 04 77 74 22 46

fax: 04 77 92 54 64

Arema Lille Métropole

Président: M. Callens

Responsable: M. Jean-Yves Saison

5 boulevard de la Liberté - BP 479 - 59021 Lille Cedex

tél: 03 20 15 84 15

fax: 03 20 54 26 90

minitel 3615 INFOAIR 5962

e-mail aremalrt@wanadoo.fr

Aremartois

Association pour la mise en œuvre du réseau d'étude, de mesure et d'alerte pour la prévention de la pollution atmosphérique dans le pays de l'Artois

Président: M. Corbisez

Responsable: Mme Cotinaut-Vanacker

Drire - Centre Jean Monnet - Avenue de Paris -

62400 Béthune (& Lens)

tél: 03 21 63 69 01

fax: 03 21 01 57 26

minitel 3615 INFOAIR 5962

Aremasse

Association pour la mise en œuvre du réseau d'étude, de mesure et d'alerte pour la prévention de la pollution atmosphérique en Scarpe-Sambre-Escaut

Présidente: Mme Gallez

Responsable: Mme Dryjanski

BP 800 - 59309 Valenciennes Cedex

tél: 03 27 21 31 81

fax: 03 27 21 00 54

minitel 3615 INFOAIR 5962

répondeur 03 27 21 31 59

e-mail aremasse@wanadoo.fr

Arequa

Association régionale pour la mesure de la qualité de l'air en Poitou-Charentes
 Président : M. Debaene
 Responsable : M. Gazeau
 Bât. Le Sextant - rue de la Trinquette - Les Minimes -
 17000 La Rochelle
 tél : 05 46 44 83 88
 fax : 05 46 41 22 71
 minitel 3615 AREQUA
 serveur internet www.arequa.asso.fr
 e-mail arequa@arequa.asso.fr
 e-mail personnels du type
alain.gazeau@arequa.asso.fr

Arpam

Réseau de surveillance de la qualité de l'air Nord-Franche-Comté
 Président : M. Yves Richard
 Responsable : M. Nadot
 8 avenue des Alliés - BP 407 - 25208 Montbéliard
 cedex
 tél : 03 81 36 26 15
 fax : 03 81 36 26 10
 minitel 3615 TPLUS

Arqal

Association régionale pour la surveillance de la qualité de l'air en Limousin
 Président : M. Lanfranca
 Responsable : M. Rémy Feuillade
 15 place Jourdan - 87038 Limoges cedex
 tél : 05 55 33 19 69
 fax : 05 55 33 37 11
 serveur internet <http://www.arqal.asso.fr>
 e-mail arqal@arqal.asso.fr
 e-mail personnels du type
rfeuillade@arqal.asso.fr

Arsqa Champagne-Ardennes

Association régionale pour la surveillance de la qualité de l'air en Champagne-Ardennes
 Président : M. Jean-Michel Vernier
 Responsable : Mme Bigorgne
 2 esplanade Roland Garros - BP 236 - 51686 Reims
 cedex 2
 tél : 03 26 77 36 25
 fax : 03 26 77 36 26
 répondeur vocal 03 26 77 35 59
 e-mail arsqa@hexanet.fr

Ascoparg

Association pour le contrôle et la préservation de l'air dans la région grenobloise
 Président : M. Daniel Zenatti
 Responsable : Mme Personnaz
 44 avenue Marcelin Berthelot - B.P. 2734 - 38037
 Grenoble cedex 2
 tél : 04 38 49 92 20
 fax : 04 38 49 08 80
 répondeur vocal 04 38 49 08 88
 e-mail ascoparg@infonie.fr

Aspa

Association pour la surveillance et l'étude de la pollution atmosphérique en Alsace
 Président : M. Lorentz
 Responsable : M. Target
 Espace Européen de l'Entreprise de Strasbourg - 5 rue de Madrid - 67300 Schiltigheim (Strasbourg)
 tél : 03 88 19 26 66
 fax : 03 88 19 26 67
 minitel 36.15 ATMOS
 serveur internet www.atmo-alsace.net
 e-mail aspa.strasbourg@wanadoo.fr

Asqab

Association de surveillance de la qualité de l'air dans l'agglomération bisontine et le Sud Franche-Comté
Présidente: Mme Bultot
Responsable: M. le responsable technique et administratif
15 rue Mégevand - 25000 Besançon
tél: 03 81 25 06 60
fax: 03 81 25 06 61
minitel 3615 BISONTEL

Asqap

Association pour la surveillance de la qualité de l'air en Picardie
Président: M. Boulange
Directeur: M. Cornille
44 rue Alexandre Dumas - 80094 Amiens cedex 3
tél: 03 22 33 66 14
fax: 03 22 33 66 96
serveur internet www.asqap.com
e-mail mail@asqap.com

Asquadra

Association de surveillance de la qualité de l'air en Drôme et Ardèche
Présidente: Sylvie Elbaze
Responsable: Géraldine Martin
Direc Rhône-Alpes - Groupe des subdivisions Drôme-Ardèche - 1 place Louis Le Cardonnel - 26000 Valence
tél: 04 75 79 22 95
fax: 04 75 79 22 19
e-mail asquadra@wanadoo.fr

Atmosfair

Association pour la surveillance de la qualité de l'air sur le département de Saône-et-Loire
Président: M. Perben
Responsable: M. Pierre Deleaz
5 rue du Docteur Mauchamp - 71100 Chalon-sur-Saône
tél: 03 85 90 01 40
fax: 03 85 90 01 41
serveur internet www.air-atmo-bourgogne.org
e-mail atmosfair@wanadoo.fr

Coparly

Comité pour le contrôle de la pollution atmosphérique dans le Rhône et la région lyonnaise
Président: M. Flacher
Responsable: M. Frédéric Bouvier
rue des Frères Lumière - Parc d'Affaires Roosevelt
69120 Vaulx-en-Velin (Lyon)
tél: 04 72 14 54 20
fax: 04 72 44 12 39
minitel 3615 COPARLY

Espac

Association pour l'étude, la surveillance et la prévention de la pollution atmosphérique sur le département du Calvados
Président: M. Brossault
Responsable: M. Goguet
Citis Le Pentacle - avenue de Tsukuba - 14209 Hérouville - Saint-Clair cedex (Cæn)
tél: 02 31 53 10 10
fax: 002 31 53 10 11
serveur internet www.ville-caen.fr
e-mail espac@wanadoo.fr

Espol

Association pour l'étude et la surveillance de la pollution dans la région de Carling

Président: M. Nau

Directeur: M. Philipp

Responsable technique: M. Bella

BP 20275 - 57507 Saint-Avold

tél: 03 87 91 70 69

fax: 03 87 91 79 53

serveur internet www-temsisi.dfki.uni-sb.de

L'Air des deux Savoie

Surveillance de la qualité de l'air sur les deux départements savoyards

Président: M. Sonnerat

Responsable: M. Didier Chapuis

Responsable-adjointe: Mme Marie-Pierre Vagnot

430 rue de la Belle Eau - ZI des Landiers Nord -

73000 Chambéry (& Annecy)

tél: 04 79 69 05 43

fax: 04 79 62 64 59

serveur vocal 04 79 69 96 96

serveur internet www.air2savoie.org

e-mail air2sav@air2savoie.org

e-mail personnel du type chapis@air2savoie.org

Lig'air

Surveillance de la qualité de l'air en région Centre

Président: M. JP. Sueur

Responsable: M. Colin

135 rue du Faubourg Bannier - 45000 Orléans (& Tours)

tél: 02 38 78 09 49

fax: 02 38 78 09 45

Loirestu'air

Réseau de surveillance de la pollution de l'air Nantes-Estuaire de la Loire

Président: M. Lemaire

Responsable: M. Lavrilleux

2 rue Alfred Kastler - BP 30723 - 44307 Nantes cedex 03

tél: 02 51 95 90 80

fax: 02 40 18 02 18

serveur internet www.loirestuair.org

e-mail contact@loirestuair.org

e-mail personnels du type lavrilleux@loirestuair.org

Madininair

Association régionale pour la surveillance de la qualité de l'air en Martinique

Président: M. Negouai

Dirre Antilles-Guyane - 31 rue du Professeur Garcin

- B.P. 458 - route de Didier - 97205 Fort-de-France cedex

tél: 00 596 70 74 74

fax: 00 596 63 36 13

Opal'air

Association de surveillance de la qualité de l'air Flandre-Côte d'Opale

Président: M. Ragazzo

Responsable: M. Poinot

Rue du Pont de Pierre BP 199 - 59820 Gravelines

tél: 03 28 23 81 50

fax: 03 28 23 81 74

minitel 3615 INFOAIR 5962

Ora

Observatoire réunionnais de l'air

Président: M. Michel Chanekon

130 rue Léopold Rambaud - 97490 Sainte-Clotilde

tél: 00 262 92 41 17

fax: 00 262 29 37 31

Président: M. Michel CHANE KON

Ora de Guyane

Observatoire régional de l'air de Guyane
 Président: Mme Heder-Mormont
 Responsable: Mme Isabelle Madeleine-Isaac
 Dire- Pointe Buzaré - BP 7001 - 97307 Cayenne cedex
 tél: 00 594 30 28 51
 fax: 00 594 30 32 58
 e-mail i.madeleine@mail.change-espace.fr

Oramip

Observatoire régional de l'air en Midi-Pyrénées
 Président: M. Raymond
 Responsable: M. Della Massa
 19 avenue Clément Ader - 31770 Colomiers (Toulouse)
 tél: 05 61 15 42 46
 fax: 05 61 15 49 03
 e-mail oramip@wanadoo.fr

Qualitair 06

Association pour la surveillance de la qualité de l'air
 des Alpes-Maritimes
 Président: M. Lafaurie
 Responsable: Mme Teton
 Dire Nice Leader - Tour Hermès - 64 route de
 Grenoble - 06200 Nice
 tél: 04 93 72 70 17
 fax: 04 93 72 70 20
 minitel 3614 CYPRES

Resupadi

Association pour la mise en œuvre du réseau de
 surveillance de la pollution de l'air de l'aggloméra-
 tion dijonnaise
 Président: M. Briot
 Responsable: M. Sieja
 5 rue Pasteur - 21000 Dijon
 tél: 03 80 38 92 31
 fax: 03 80 36 22 17
 serveur internet www.air-atmo-bourgogne.org
 e-mail resupadi@wanadoo.fr

Supaire

Surveillance de la pollution de l'air de Roussillon et
 ses environs
 Président: M. Crouail
 Responsable: Mme Personnaz
 22 rue Avit Nicolas - BP 345 - 38150 Salaise-sur-
 Sanne
 tél: 04 74 86 67 80
 fax: 04 76 33 19 43

Page laissée blanche intentionnellement

Bibliographie

Note méthodologique sur les études d'environnement dans les projets routiers - volet « air » (note méthodologique)

MATE (MPPR, DEEE) et MELT (DR) édition de juin 2001.

Pollutions atmosphériques et circulation routière: données de base

dossier Certu n°74 - décembre 1997.

Les études d'environnement dans les projets routiers: guide méthodologique projets routiers urbains

Certu, Setra - janvier 1998.

Pollution de l'air à l'échelle urbaine et locale: premier bilan des actions de recherche.

Actes du colloque Primequal-Predit des 10 et 11 décembre 1997

Ademe diffusion.

Copert II Computer programme to calculate emissions from road transport: methodology and emission factors

European Environment Agency novembre 1997.

Émissions de polluants et consommation liées à la circulation routière.

Paramètres déterminants et méthode de quantification
Ademe - 1998.

Outils d'inventaire d'émissions liées au transport routier

Ademe, Certu - Rapport d'étude - septembre 1999.

Statistiques automobiles

CCFA - 1996.

Estimation du trafic routier en France Métropolitaine

Citepa - 1995.

Le parc automobile des ménages: étude de fin d'année 1996

L. Hivert - 1998.

Bilan des rejets de polluants issus de la circulation routière

SES (METL) document interne au GT du Snadt - 1996.

Modèles de projection à long terme de la structure du parc et du marché de l'automobile

1994.

Comptes Transport de la Nation

SES (METL) - 1995.

B. Bourdeau - *Évolution du parc automobile français entre 1970 et 2020* - Thèse

Inrets - rapport Len 9801 - janvier 1998.

Analyse de la prise en compte de la qualité de l'air dans la planification des infrastructures de transport terrestre

MVA - Ademe - décembre 1996.

Autoroute et air

Ademe - Étude d'impact - Rapport interne 1996.

Autoroute et Pollution de l'air: synthèse bibliographique

Ademe - Scetauroute - Rapport interne 1996.

M. Jourdeuil - *Les corrélations trafic-pollution atmosphérique de proximité-conditions météorologiques à Lille*

TFE ENTPE - juin 1996.

G. Martin - *Mise en évidence d'interdépendances entre pollution atmosphérique, trafic routier et conditions météorologiques à Stasbourg*

MST Faculté de Mulhouse - juin 1996.

Air Quality guidelines

Who Regional Publications Europeen - Series n°23 1987 et révisions 1996.

- O. Hov - *Ozone in the stratosphere: high level pollution.*
- Spinger - *Photo-oxydants, acidification and tools: policy applications of Eurotroc results* 1997.
- Ozone et propriétés oxydantes de la troposphère*
Rapport de l'académie des Sciences - Technique et documentation Lavoisier 1993.
- La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique: bilan de 15 ans de recherche internationale*
Société française de santé publique - mai 1996
Santé et Société n°4.
- Rapport Erpurs: impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Île de France 1987-1992*
Observatoire régional de santé d'Île de France, conseil régional d'Île de France, préfecture d'Île de France - novembre 1994.
- Rapport Erpurs II: impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la santé en Île de France 1991-1995*
Observatoire régional de santé d'Île de France, conseil régional d'Île de France, préfecture d'Île de France - 1998.
- Impact sur la santé de la pollution atmosphérique en milieu urbain: synthèse des résultats de l'étude Apeha*
Bulletin épidémiologique hebdomadaire - février 1998.
- Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique: une démarche d'analyse de risque à l'échelle locale pour les plans régionaux de qualité de l'air*
RNSP - Ministère de l'emploi et de la solidarité - juin 1998.
- Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine*
Guide méthodologique
InVS - juillet 1999.
- Guide pour l'analyse du volet sanitaire des études d'impact*
Guide méthodologique
InVS - janvier 2000.
- La qualité de l'air en France en 1994-95*
Ademe-Mate - 1997.
- La qualité de l'air en France en 1995-96*
Ademe-Mate - 1998.
- La qualité de l'air Bilan 1991-1996*
Mate - 1998.
- Rapport 1996 - Pollution atmosphérique et nuisances*
Laboratoire central de la préfecture de police - juillet 1997.
- Rapport 1997 - Pollution atmosphérique et nuisances*
Laboratoire central de la préfecture de police - juin 1998.
- Rapport 1998 - Pollution atmosphérique et nuisances*
Laboratoire central de la préfecture de police - juillet 1999.
- Rémy Lagache - *Analyse statistique des données de la BDQA (rapport NO/NO₂ et CO)*
LR du Cete Nord-Picardie - novembre 1997
Rapport d'étude Certu n° 98.8005068/04.
- Economic evaluation of air quality targets for SO₂, NO₂, fine and suspended particulate matter and lead - Final report october 1997*
Institute for Environmental Studies European - Commission DG XI.

Dossier pilote des tunnels - document «environnement»
Cetu - décembre 1997.

Dossier pilote des tunnels - document «ventilation»
Cetu - à paraître.

Guide de la qualité de l'air au voisinage des tunnels routiers
Cetu - à paraître.

V. Bernardon, S. Geai, J. Carsignol - *Approches diversifiées (sols, graminées, escargots, daphnies) des dépôts métalliques*

Journée technique AFIE: Les bio-indicateurs de la pollution atmosphérique - Rouen, 6 novembre 1997.

J.P. Boudot, J. Rouiller, G. Burtin, G. Belgly - *Caractérisation de la contamination des sols et des végétaux par les métaux lourds et les végétaux*
Rapport provisoire - octobre 1997.

P. Charbonnier - *Pollution des sols aux abords des infrastructures routières*
Rapport provisoire - octobre 1997.

J. Gaber - *Voies routières et bio-indication végétale*
Rencontres et journées techniques Ademe-Inra: Les bio-indicateurs de la qualité de l'air - Paris, novembre 1995.

S. Promeprat - *Pollution par voie aérienne le long des infrastructures routières*
Thèse - Rapport provisoire (soutenance mi 2000).

F. Ramade - *Collection d'Écologie 22*
Masson - 300 p. 1992.

E. Thybaud, P. Pandard, C. Guérin *Étude écotoxicologique de sols potentiellement contaminés par les métaux et les HAP prélevés en bordure d'infrastructure routière*
Résultats provisoires - octobre 1997.

Classification et critères d'implantation des stations de mesure de la qualité de l'air: recommandation du groupe de travail «caractérisation des sites»
Réseau Atmo-Ademe-École des Mines de Douai - rapport provisoire - novembre 1998.

Étude de l'impact de murs anti-bruit sur la dispersion atmosphérique
Transoft - Rapport final d'étude Certu - mars 1998.

Mlus 92
Édition 1992 mise à jour 1996 - Ministère fédéral des Transports - Allemagne.

G. Baumbach - *Air Quality Control*
1196 Springer - Allemagne.

Atteintes aux bâtiments dues à la pollution de l'air par les transports
Résumé du rapport établi sur mandat Set n° 197
Publication Set 2/93
Secrétariat général DFTCE, service d'étude des transports - Suisse.

J.G. Faugère, Derion, Dufour
Effets des polluants sur les matériaux: impact des rejets automobiles sur les immeubles et monuments en pierre
Revue pollution atmosphérique - janvier-mars 1998, 4 pages.

R.A. Lefèvre
Les effets de la pollution atmosphérique sur le patrimoine bâti
Colloque du 20 septembre 1995: Pollution atmosphérique en Île de France: constats et remèdes - Conseil Régional de l'Île de France.

Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie.

Circulaire MATE n°98-36 du 17 février 1998 relative à l'application de l'article 19 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie, complétant le contenu des études d'impact des projets d'aménagement.

Décret 98 - 360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, objectifs de qualité de l'air, seuils d'alerte et valeurs limites.

Circulaire et instruction technique du 11 mars 1996 pour la prise en compte de l'environnement dans la conception et la réalisation des infrastructures routières (METL).

Décret 77-1141 du 12 octobre 1977 modifié par le décret 93-245 du 25 février 1993 pris pour l'application de l'article 2 de la loi du 10 juillet 1976 relative à la protection de la nature.

Loi n° 95-101 du 2 février 1995 relative au renforcement de la protection de l'environnement.

Instruction cadre relative aux méthodes d'évaluation économique des grands projets d'infrastructure de transport jointe à la circulaire du 3 octobre 1995 du Secrétaire d'État aux Transports.

*Méthode d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne (octobre 1998 - METL)
- circulaire 98-99 du 20 octobre 1998
- instruction relative aux méthodes d'évaluation
- annexes 1 à 19.*

Lettre du 10 juin 1999 du directeur des Routes d'application de la loi du 30 décembre 1996 sur l'air.

Circulaire du 14 septembre 1999 relative à la concertation entre les directions régionales de l'Environnement et les services déconcentrés de l'Équipement pour l'élaboration et l'instruction des projets routiers du réseau national.

Circulaire DGS/VS3/2000 N° 61 du 3 février 2000 du ministre de l'Emploi et de la Solidarité relative au guide de lecture et d'analyse du volet sanitaire des études d'impact.

Page laissée blanche intentionnellement

Sigles utilisés

- Ademe** : Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
- APA** : avant-projet autoroutier
- APS** : avant-projet sommaire
- APSI** : avant-projet sommaire d'itinéraire
- As** : arsenic
- BAU** : bande d'arrêt d'urgence
- BEH** : Bulletin épidémiologique hebdomadaire
- CCFA** : Comité des constructeurs français d'automobile
- Cd** : cadmium
- CEIV** : cadastre d'émission influencé par le vent
- Certu** : Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
- Cete** : Centre d'études techniques de l'équipement
- Cetu** : Centre d'études des tunnels
- CFC** : chlorofluorocarbone
- CH₄** : méthane
- Citepa** : Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique
- CLA** : couche limite atmosphérique
- CO** : monoxyde de carbone
- CO₂** : gaz carbonique
- COV** : composé organique volatil
- Copert** : Computer programme to calculate emissions from road transport
- Cost** : Coopération européenne dans le domaine de la recherche scientifique et technique
- C₆H₆** : benzène
- CSHPF** : Conseil supérieur d'hygiène publique en France
- Ddass** : Direction départementale de l'action sanitaire et sociale
- DDE** : Direction départementale de l'équipement
- DEEEE** : Direction des études économiques et de l'évaluation environnementale
- DGS** : Direction générale de la santé
- DNP** : Direction nature et paysage
- DPPR** : Direction de la prévention des pollutions et des risques
- DR** : Direction des routes
- Drass** : Direction régionale de l'action sanitaire et sociale
- Drire** : Direction régionale de l'industrie, des risques et de l'environnement
- Erpurs** : Évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé
- FN** : fumées noires
- Giec** : Groupe intergouvernemental sur l'évolution du climat (en anglais IPCC: Intergovernmental Panel on climate change)
- HAP** : hydrocarbure aromatique polynucléique
- HC** : hydrocarbure
- HCNM** : hydrocarbure non méthanique
- Hg** : mercure
- HPM** : heure de pointe du matin
- HPS** : heure de pointe du soir
- Ifen** : Institut français de l'environnement
- Inrets** : Institut national de recherche des transports et leur sécurité
- Insee** : Institut national de la statistique et des études économiques
- INVS** : Institut de veille sanitaire (ex RNSP)
- IPP** : Indice polluant/population
- Mate** : Ministère de l'aménagement du territoire et de l'environnement
- Meet** : Methodologies for estimating air pollutant emissions from transport
- MES** : Ministère de l'emploi et de la solidarité
- METL** : Ministère de l'équipement, du transport et du logement
- Ni** : nickel
- NO** : monoxyde d'azote
- NO₂** : dioxyde d'azote
- NOx** : oxyde d'azote
- OMS** : Organisation mondiale de la santé
- O₃** : ozone
- PAN** : peroxyacétylnitrate
- Pb** : plomb
- PL** : poids lourd
- Predit** : Programme national de recherche et d'innovation dans les transports terrestres
- Primequal** : Programme de recherche inter-organismes pour une meilleure qualité de l'air à l'échelle locale
- PROA** : Plan régional de qualité de l'air

Pt: platine
PTAC: poids total autorisé en charge
PS: particules en suspension
RD: route départementale
RN: route nationale
RNSP: Réseau national de santé publique
Setra: Services d'études techniques des routes et des autoroutes
SFSP: Société française de santé publique
Sig: Système d'information géographique
SO₂: dioxyde de soufre
TMJA: trafic moyen journalier annuel
US EPA: Agence américaine sur la protection de l'environnement
UVP: unité de voiture particulière
VL: véhicule léger
VP: voiture particulière
VUL: véhicule utilitaire léger
ZPS: zone de protection spéciale
Zn: zinc

Page laissée blanche intentionnellement

Composition du groupe de travail et du comité de relecture

Composition du groupe de travail

M. J. Bertin

Cete Méditerranée
BP 37000 - 30 rue A. Einstein - 13791 Aix-en-Provence
cedex 3
tél: 04 42 24 79 85
fax: 04 42 24 77 98

Mme V. Bernardon-Billon

Setra
BP 100 - 9223 Bagneux cedex
tél: 01 46 11 32 46
fax: 01 46 11 36 84

M. C. Bousigues

DDE 63
Service du réseau national
7 rue Léo Lagrange - 63033 Clermont-Ferrand cedex
tél: 04 73 43 19 78
fax: 04 73 43 19 83

Mme C. Chaffanjon

DDE 67 SGT
38 rue des Foulons - 67200 Strasbourg
tél: 03 88 75 85 52
fax: 03 88 75 85 99

M. Chassande (pour information)

IGPC
10^e Mission d'inspection générale territoriale
144 rue Garibaldi - BP 6130 - 69469 Lyon cedex 06
tél: 04 37 24 22 40
fax: 04 37 24 22 50

Mme M. Chiron

Inrets
Case 24 - 69469 Bron cedex
tél: 04 72 14 25 27
fax: 04 72 14 25 20

M. J.P. Clair

Chef du Groupe air/bruit/nature
Certu - département environnement
9 rue Juliette Récamier - 69 456 Lyon cedex 06
tél: 04 72 74 58 52
fax: 04 72 74 59 50

M. J. Gauran

Dreif
21-23 rue Miolis - 75015 Paris
tél: 01 40 61 85 44
fax: 01 40 61 81 61

M. R. Lagache

Laboratoire régional de Lille
42 bis rue du Marais - BP 99 - 59230 Haubourdin
tél: 03 20 48 49 72
fax: 03 20 50 55 09

M. S. Larose

Cete de l'Est - département infrastructures
BP 5230 - 57076 Metz cedex 03
tél: 03 87 20 46 03
fax: 03 87 20 46 49

Mlle S. Martinoni

Cete Normandie-Centre
Chemin de la Poudrière - BP 245 - 76121 Le Grand
Quevilly cedex
tél: 02 35 68 82 22
fax: 02 35 68 82 19

M. J.P. Marsault

Cetu
25 avenue François Mitterrand - case 1 - 69674 Bron
cedex
tél: 04 72 14 33 88
fax: 04 72 14 34 70

M. D. Musard

DDE Val de Marne - subdivision équipements et
grands travaux
BP 13 - 94158 Chevilly-Larue cedex
tél: 01 46 61 56 98
fax: 01 46 61 48 61

Mme J. Noppe

Ademe
27 rue L. Vicat - 75737 Paris cedex 15
tél: 01 47 65 24 77
fax: 01 47 65 22 29

M. A. Rocher

Cete du Sud-Ouest
BP C - 33165 Saint-Médard-en-Jalles cedex
tél: 05 56 70 66 20
fax: 05 56 70 66 68

M. J.P. Rotheval (pour information)

Certu - Chef du département environnement
9 rue Juliette Récamier - 69546 Lyon cedex 06
tél: 04 72 74 58 50
fax: 04 72 74 59 50

M. S. Sampic

Cete de Lyon
46 rue St-Théobald
BP 128 - 38081 L'Isle D'Abeau cedex

M. M. Schmeltz

Direction des routes
Arche de la Défense - Paroi Sud - 92055 La Défense
cedex 04
tél: 01 40 81 14 77
fax: 01 40 81 12 55

M. P. Skriabine

Setra
BP 100 - 92223 Bagneux cedex
tél: 01 46 11 36 22
fax: 01 46 11 36 84

M. D. Stark

Cete de l'Ouest
Man - rue René Viviani - BP 46223 - 44262 Nantes
cedex 2
tél: 02 40 12 83 68
fax: 02 40 12 84 44

M. O. Thirionnet (pour information)

STBA
31 avenue maréchal Leclerc - 94381 Bonneuil-sur-
Marne cedex
tél: 01 49 56 81 45
fax: 01 49 56 82 14

M. J.P. Vinot

Certu - air/bruit/nature - département environnement
9 rue Juliette Récamier - 69456 Lyon cedex 06
tél 04 72 74 59 14
fax 04 72 74 59 50

Comité de relecture

M. C. Brule

Mate DEEEE

tél: 01 42 19 18 78

fax: 01 42 19 18 95

Mme V. Callabe

Mate DPPR

tél: 01 42 19 14 06

fax: 01 42 19 14 71

M. L. Carrie

Ademe Sorm

tél: 01 47 65 20 50

fax: 01 47 65 20 35

M. D. Thon

Certu département voi.

tél: 04 72 74 58 31

fax: 04 72 74 59 00

M. H. Chatain

Certu département tec.

tél: 04 72 74 58 72

fax: 04 72 74 59 00

M. P. Danzanvilliers

Setra

M. P. Geiger

Mate DPPR

tél: 01 42 19 14 02

fax: 01 42 19 14 71

M. G. Klaerr-Blanchard

Certu département Mob.

tél: 04 72 74 58 22

fax: 04 72 74 59 00

M. D. Postel

Setra

Table des matières

Préambule	5
Rappels sur les textes réglementaires	6
Définitions légales	7
PREMIÈRE PARTIE Les études «air» de l'étude d'environnement à l'étude d'impact	9
1 Organisation des études «air» aux différents stades d'études	10
1.1 Rappel sur l'organisation des études d'environnement aux différents stades du projet	10
1.1.1 Les autoroutes concédées	10
1.1.2 Le réseau routier national non concédé	11
1.2 Le volet «air» des études préliminaires	11
1.2.1 Les principes	11
1.2.2 Recueil et sources des données	12
1.2.3 Traitement des données	12
2 Aire géographique d'étude	14
2.1 En milieu urbain	14
2.2 En milieu interurbain	14
2.3 Exemples d'application	15
2.3.1 Exemple urbain	15
2.3.2 Exemple interurbain	16
3 Consistance de l'étude d'environnement «air»	18
3.1 Cas général	18
3.2 Différents cas d'espèce	19
3.2.1 Configurations exceptionnelles en zone urbaine	19
3.2.2 Cas de très grosses opérations	19
3.2.3 Cas d'aménagements sur place	19
3.2.4 Présence de cultures agricoles à vocation alimentaire dans la bande d'étude	19
3.3 Délais et coûts d'études	19
3.3.1 Délais d'études	19
4 Passage de l'étude d'environnement «air» à l'étude d'impact «air»	21
4.1 Généralités sur l'étude d'impact	21
4.2 Passage de l'étude d'environnement à l'étude d'impact «air»	21
4.2.1 Résumé non technique de l'étude d'impact	21
4.2.2 Appréciation des impacts du programme	21
4.2.3 Auteurs des études	22
4.2.4 Étude de variantes larges	22
4.2.5 Définition de la solution proposée:	22
4.2.6 Présentation du projet soumis à enquête, de ses effets sur l'environnement et des mesures d'insertion envisagées	23
4.2.7 Coût des mesures d'insertion	23
4.2.8 Analyse des méthodes d'évaluation utilisées	23
4.2.9 Effets sur la santé	23

DEUXIÈME PARTIE	Caractérisation des polluants de la définition à la mesure des concentrations	25
	5 Les polluants à prendre en compte	26
5.1	Généralités	25
5.2	Le dioxyde de soufre (SO ₂)	25
5.3	Les oxydes d'azote (NO et NO ₂ , aussi notés Nox)	25
5.4	Les poussières en suspension	27
5.5	L'ozone (O ₃)	27
5.6	Le monoxyde de carbone (CO)	28
5.7	Le benzène (C ₆ H ₆)	28
5.8	Les hydrocarbures aromatiques polycycliques (HAP)	28
5.9	Le plomb (Pb)	29
5.10	Le cadmium (Cd)	29
5.11	L'arsenic (As), le nickel (Ni) et le mercure (Hg)	29
5.12	Le zinc (Zn)	29
5.13	Divers	30
5.14	Conclusions	30
	6 Métrologie	31
6.1	Généralités	31
6.2	Polluants pris en compte	31
6.3	La métrologie	31
6.4	Détermination des conditions météorologiques	31
6.5	Stratégies d'analyses	32
6.6	Influence de la météorologie sur l'interprétation de la mesure	34
6.7	Stratégie de surveillance	34
	7 Inventaires d'émissions liées au trafic	35
7.1	Données de trafic	35
7.1.1	Modèles de trafic	35
7.1.2	Limites et ajustement des modèles	36
7.1.3	Trafic VP, VUL, VL et PL	36
7.1.4	Horizons d'études	37
7.2	Émissions des véhicules	38
7.3	Composition du parc de véhicules	38
7.4	Émissions de polluants du trafic	39
7.5	Les modèles d'inventaires d'émissions	39
7.6	Conclusions générales	40
7.7	Exemple d'application	40
7.8	Les outils informatiques	40
	8 Modélisation des concentrations de polluants	42
8.1	Principe de la modélisation	42
8.1.1	Conditions météorologiques	42
8.1.2	Description physique de l'aire d'étude	43
8.1.3	Description des sources de pollution	43
8.1.4	Données nécessaires pour une modélisation	44

8.2	Les polluants	44
8.3	Les modèles mathématiques	45
8.3.1	Généralités	46
8.3.2	Les modèles déterministes	47
8.4	Modélisation dans la bande d'étude	50
8.5	Comparaison avec les seuils réglementaires de concentration en polluants	51
8.6	Représentation cartographique des simulations	53
9	Les autres pollutions	54
9.1	La pollution photochimique	54
9.1.1	Généralités	54
9.1.2	Approche méthodologique	57
9.1.3	Accords internationaux sur la réduction des gaz précurseurs	57
9.2	La pollution sensible	57
TROISIÈME PARTIE Les effets. Identification, évaluation et mesures de prévention		61
10	État initial	62
10.1	Généralités	62
10.2	Population concernée	62
10.3	Les indicateurs biologiques végétaux	62
10.4	Les indicateurs sanitaires	63
10.5	Les réseaux de surveillance	63
10.6	Plans régionaux pour la qualité de l'air	63
10.7	Inventaires d'émissions (cf. chapitre 7)	63
10.8	Campagnes de mesures in situ (cf. chapitre 6)	63
10.9	Modélisation (cf. chapitre 8)	64
11	L'indice d'exposition de la population	66
11.1	Domaine d'étude	66
11.2	Choix des polluants indicateurs	66
11.3	Mise en place de l'indice pollution/population (IPP)	67
11.3.1	Construction d'un cadastre d'émission	67
11.3.2	Construction du cadastre d'émissions influencé par le vent (CEIV)	67
11.3.3	Construction d'une base population	69
11.3.4	Élaboration de l'IPP	70
12	Effets sur la santé	73
12.1	Généralités sur l'influence de la pollution d'origine automobile sur la santé (extrait du rapport SFSP: La pollution atmosphérique et la santé publique)	73
12.1.1	Effets à court terme	73
12.1.2	Pathologie respiratoire et exposition au long cours	76
12.1.3	Cancers	76
12.1.4	Conclusion	77
12.2	Méthodologie générale sur la prise en compte de la santé dans les études d'environnement	78

12.3	Objectifs de qualité et valeurs limites de qualité de l'air	79
12.3.1	Valeurs européennes	79
12.3.2	Recommandations de l'OMS	81
12.3.3	Valeurs françaises (décret 98 – 360 du 6/5/98)	81
12.3.4	Conclusions	82
13	Effets sur la flore, la faune et les sols	83
13.1	Généralités: actions sur la flore	83
13.1.1	Effets globaux des polluants sur les plantes: altération de la physiologie	84
13.1.2	Effets sur les rendements	85
13.2	La pollution de proximité	85
13.2.1	Contamination du sol	86
13.2.2	Contamination de la végétation	87
13.2.3	Contamination de la faune	88
13.2.4	Perspectives	89
13.3	Valeurs guides de pollution des sols	90
14	Effets sur les bâtiments	91
14.1	Généralités	91
14.2	Atteintes aux bâtiments dues à la pollution par les transports	91
14.3	Cas d'une exposition indirecte (bâtiments historiques)	91
15	Les effets globaux	93
15.1	L'effet de serre	93
15.1.1	Généralités	93
15.1.2	Les accords de Kyoto	94
15.1.3	Les accords européens	94
15.1.4	Influence sur les végétaux	95
15.2	Le «trou d'ozone»	96
15.3	Les pluies acides	96
16	Monétarisation des effets de la pollution	97
16.1	Généralités	97
16.2	Valeurs à prendre en compte pour l'analyse des coûts collectifs des pollutions et nuisances	97
16.2.1	Hypothèses de base de la circulaire du 3 octobre 1995 du secrétaire d'État aux Transports	97
16.2.2	Adaptation au domaine routier selon l'instruction relative aux méthodes d'évaluation économique des investissements routiers en rase campagne – octobre 1998	98
16.3	Analyse des avantages induits pour la collectivité	99
16.4	Évaluation des consommations énergétiques résultant de l'exploitation du projet	100

17 Mesures de réduction de la pollution atmosphérique de proximité	101
17.1 Généralités	101
17.2 Position de la route	101
17.3 Plantations d'arbres et de buissons le long de la route	101
17.4 Influence des écrans acoustiques	103
17.5 Conclusions	105
18 Impact des chantiers	106
Conclusion	109
QUATRIÈME PARTIE Annexes	111
I État initial	112
I.1 Généralités	112
I.2 NO ₂ , NO et NO _x	112
I.3 Oxyde de carbone (CO)	112
I.4 Benzène (C ₆ H ₆)	117
I.5 Plomb (Pb)	118
I.6 Pollution des sols	119
II Quelques notions de trafic	122
II.1 Pourcentage de poids lourds	122
II.2 Coefficient d'équivalence, vitesse des PL en rampe	122
II.3 Tonnage des PL	123
II.4 Répartition 0-24h des trafics	123
III La circulation du parc de véhicules en France	125
III.1 Le parc automobile et la mobilité: faits marquants	125
III.2 Le parc en service ou «parc statique»	125
III.3 Du parc statique au parc roulant	126
III.4 Observation du parc actuel et de son évolution	127
III.4.1 Voitures particulières essence et Diesel	127
III.4.2 Parc de véhicules utilitaires légers	130
III.4.3 Poids lourds de PTAC > 3,5 t	131
III.4.4 Deux-roues motorisés	133
IV Émissions de polluants et consommation énergétique	134
IV.1 Principes de base	134
IV.2 Facteurs d'émissions unitaires moyens	134
IV.3 Prise en compte de la structure du parc et de son évolution	135
IV.4 Prise en compte de l'évolution future des performances environnementales des véhicules	135
IV.5 Quelques résultats d'émissions unitaires	136
IV.6 Recommandations	137

IV.7	Les modèles informatiques actuellement sur le marché	138
IV.7.1	Introduction	138
IV.7.2	Les outils	138
V	Cas particulier des NOx	141
V.1	Généralités sur les NOx	141
V.2	Influence de la composition sur la dispersion - diffusion	141
V.3	Influence de la photochimie sur la composition des NOx	141
V.4	Influence de la distance à la voie sur la teneur en NO ₂	144
V.5	Pollution de fond	147
V.6	Le percentile 98	147
V.7	Le percentile 50	147
V.8	La valeur maximale (percentile 100)	148
V.9	Conclusion	148
VI	Métrologie	150
VI.1	Typologie de métrologie	150
IV.1.1.1	Métrologie par appareil fixe/mobile	150
IV.1.1.2	Période d'échantillonnage: mesure avec exploitation des résultats en continu/exploitation des résultats agrégée	150
IV.1.1.3	Métrologie par mesure étalonnée/mesure indicative	150
VI.2	Métrologie des polluants atmosphériques applicable aux études d'impact	151
IV.1.2.1	Le tube passif	151
IV.1.2.2	Le tube actif	152
IV.1.2.3	Analyseur automatique et semi-automatique	151
IV.1.2.4	Analyseur type Doas/Lidar	154
IV.1.2.5	Le camion laboratoire	154
IV.1.2.6	La bio-indication	154
VI.3	Implantation des capteurs	154
VII	La santé	156
VII.1	L'étude Aphea	156
VII.2	Le CO	161
VII.3	Conclusion du rapport SFSP	162
VIII	Pollution des sols et des végétaux, notions d'écotoxicologie	168
VIII.1	Pollution des sols et des végétaux	168
VIII.1.1	Dépôts	168
VIII.1.2	Contamination des sols	169
VIII.1.3	Contamination des végétaux	170
VIII.1.4	Bibliographie	173
VIII.1.5	Propositions de valeurs limites pour le plomb et le cadmium dans les aliments et les boissons (pour information)	175
VIII.2	Notions d'écotoxicologie	176
IX	Relations avec les Sig	177
IX.1	Émission	177
IX.1.1	Milieu interurbain	177
IX.1.2	Milieu urbain	178

IX.2	Dispersion	179
IX.3	Évaluation des effets	179
IX.4	Suivi et contrôle	179
IX.5	Méthode d'approche de la population	179
IX.5.1	Problématique	179
IX.5.1	Données géographiques utilisables	180
IX.6	Conclusion	185
X	Cas des ouvrages souterrains	186
X.1	Généralités	186
X.2	Quels sont les types de polluants qui peuvent constituer une gêne ou un danger pour la santé de la population riveraine d'un tunnel ?	186
X.3	Comment peut-on prévoir les effets d'un tunnel sur la qualité de l'air de son environnement proche et juger s'ils sont admissibles ?	186
X.4	Si les niveaux de pollution résultants dépassent les limites jugées admissibles, à quels remèdes peut-on avoir recours pour minimiser l'impact du tunnel ?	187
X.5	Prise en compte des ouvrages souterrains dans l'étude générale d'environnement	188
XI	Adresses utiles	189
	Bibliographie	199
	Sigles utilisés	205
	Composition du groupe de travail et du comité de relecture	209

Page laissée blanche intentionnellement

Page laissée blanche intentionnellement

Page laissée blanche intentionnellement

© CERTU / SETRA / ADEME- 2001

Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement,
Centre d'études sur les réseaux, les transports, l'urbanisme et les constructions publiques
Service d'Études Techniques des Routes et Autoroutes

Agence de l'Environnement et de la maîtrise de l'Énergie
Toute reproduction intégrale ou partielle, faite sans le consentement du CERTU / SETRA / ADEME est illicite (loi du 11 mars 1957). Cette reproduction par quelque procédé que ce soit, constituerait une contrefaçon sanctionnée par les articles 425 et suivants du Code pénal.

Coordination : Service Éditions (Patrick Marchand)

Mise en page : Laurent Mathieu ☎ 04 72 74 27 34

Impression : Lamazière imprimeur ☎ 04 72 78 88 90

Images de couverture : (feux d'artifice) Pictor 01 55 35 11 00 / (photos aériennes) R. Bourguet-ADEME

Achevé d'imprimer : juin 2001

Dépôt légal : 2^e trimestre 2001

ISBN: 2-11-090868-8

Cet ouvrage est en vente au CERTU

Bureau de vente:

9, rue Juliette Récamier

69456 Lyon cedex 06 - France

téléphone : 04 72 74 59 59

télécopie : 04 72 74 59 00

Internet: <http://www.certu.fr>

ainsi qu'au bureau de vente du SETRA

46, avenue Aristide Briand

BP 100

92225 Bagneux Cedex

téléphone : 01 46 11 31 53

télécopie : 01 46 11 33 55

Internet: <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

et à ADEME Éditions

2, square Lafayette

BP 406

49004 Angers

téléphone : 02 41 20 41 20

télécopie : 02 41 20 41 98

www.ademe.fr

Page laissée blanche intentionnellement

Page laissée blanche intentionnellement



L'article 19 de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie complétée par la circulaire 98 - 36 du 17/2/98 (Mate) impose un cadre juridique relativement complet pour les études d'impact et donc, tout particulièrement, pour leur volet «air».

La lettre du directeur des Routes du 10 juin 1999 (et son guide méthodologique associé qui précise aux maîtres d'œuvre et maîtres d'ouvrage le contenu des études d'environnement «air» en application du principe de proportionnalité) rappelle l'obligation de respecter cet article dans les études d'impact.

Le présent guide technique (annexe technique de la note méthodologique précitée) est destiné aux bureaux d'étude qui vont devoir, dorénavant, produire des études d'environnement et les traduire dans l'étude d'impact pour la consultation publique.

Il précise, pour différents points abordés dans l'étude d'environnement et dans l'étude d'impact, les conditions d'étude, les méthodologies et les paramètres à retenir afin d'effectuer des études selon des méthodes et des bases techniques qui, actuellement, sont encore loin d'être parfaites (le présent guide est appelé à être modifié, compte tenu de l'expérience et de l'avancée de la recherche) mais offrent l'avantage de la répétitivité et autorisent des comparaisons d'un projet à l'autre.

ADEME



**Ministère de l'Équipement, des Transports et du Logement
Direction des Routes**



Ce document est disponible

au bureau de vente du CERTU sous la référence OU 053 01
9, rue Juliette Récamier - 69456 LYON Cedex 06
Tél. (+33) (0)4 72 74 58 00 - Télécopie (+33) (0)4 72 74 59 00
Internet : <http://www.certu.fr>

au bureau de vente du SETRA sous la référence B0113-2
46, avenue Aristide Briand - BP 100 - 92225 Bagneux Cedex
Tél. (+33) (0)1 46 11 31 53 - Télécopie (+33) (0)1 46 11 33 55
Internet : <http://www.setra.equipement.gouv.fr>

et à ADEME Éditions sous la référence 4050
2, square Lafayette - BP 406 - 49004 Angers
Tél. (+33) (0)2 41 20 41 20 - Télécopie (+33) (0)2 41 20 41 98
Internet : <http://www.ademe.fr>