

# Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Guide méthodologique

Juillet 1999

*La réalisation de ce guide méthodologique a été coordonnée par :*

**Philippe GLORENNEC** (CIREI Ouest) et **Philippe QUÉNEL** (InVS)

*Ont participé à l'élaboration de ce document :*

CIRE Ouest

---

P. Glorennec, L. Nourry

InVS (Unité Santé Environnement)

---

S. Cassadou, D. Eilstein, L. Filleul, R. Kaiser, C. Le Goaster,  
A. Le Tertre, S. Medina, L. Pascal, H. Prouvost, P. Quénel, P. Saviuc,  
A. Zeghoun

ORS Nord - Pas-de-Calais

---

C. Declercq

CIRE Rhône - Alpes-Auvergne

---

B. Fabres

CIRE Provence-Alpes-Côte-d'Azur

---

J.-L. Lassalle

DRASS Bretagne

---

B. Subileau, M. Toxé

DRASS Midi-Pyrénées

---

C. Baudinat

DRASS Provence-Alpes-Côte-d'Azur

---

I. Thirouin

ADEME

---

L. Carrié

*Ce travail s'inscrit dans le cadre du dispositif de surveillance épidémiologique des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique urbaine mis en place par l'Institut de Veille Sanitaire dans neuf villes françaises.*

## Liste des acronymes et sigles utilisés

<b>ADEME</b>	Agence de l'Environnement et de la Maîtrise de l'Énergie
<b>APHEA</b>	Air Pollution and Health an European Approach
<b>BRSP</b>	Base Régionale en Santé Publique
<b>CHRU</b>	Centre Hospitalier Régional et Universitaire
<b>CIRE</b>	Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie
<b>CITEPA</b>	Centre Inter Professionnel d'Etude de la Pollution Atmosphérique
<b>CRAM</b>	Caisse Régionale d'Assurance Maladie
<b>DDASS</b>	Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales
<b>DGS</b>	Direction Générale de la Santé
<b>DIM</b>	Département d'Information Médicale
<b>DRASS</b>	Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales
<b>DRIRE</b>	Direction Régionale de l'Industrie, de la Recherche et de l'Environnement
<b>EIS</b>	Evaluation d'Impact Sanitaire
<b>IGN</b>	Institut Géographique National
<b>INSEE</b>	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
<b>INSERM</b>	Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale
<b>InVS</b>	Institut de Veille Sanitaire
<b>OMS</b>	Organisation Mondiale de la Santé
<b>PMSI</b>	Programme Médicalisé des Systèmes d'Information
<b>PROA</b>	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
<b>RNSP</b>	Réseau National de Santé Publique (actuel InVS)
<b>RSA</b>	Résumé de Sortie Anonymisé
<b>RSS</b>	Résumé de Sortie Standardisé
<b>RUM</b>	Résumé d'Unité Médicale
<b>FN</b>	Fumées noires
<b>NO<sub>2</sub></b>	Dioxyde d'azote
<b>O<sub>3</sub></b>	Ozone
<b>PM10</b>	Particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm
<b>PM13</b>	Particules en suspension de diamètre inférieur à 13 µm
<b>PS</b>	Particules en suspension
<b>SO<sub>2</sub></b>	Dioxyde de soufre

## SOMMAIRE

Préface	5
<hr/>	
I. Contexte	9
<hr/>	
1. Un contexte scientifique propice	9
2. Pourquoi une Évaluation d'Impact Sanitaire (EIS)	9
2.1 Une obligation réglementaire	9
2.2 Un outil de planification et d'évaluation des politiques publiques	9
2.3 Un intérêt pédagogique	10
3. Une démarche intégrée	10
3.1 Un contexte national et international	10
3.2 Un premier document de "cadrage"	10
3.3 Un guide méthodologique	10
3.4 Une formation	10
3.5 Une démarche évolutive	10
II. Conditions et données nécessaires pour une EIS	13
<hr/>	
1. Agglomérations pouvant faire l'objet d'une EIS	13
2. Données nécessaires à l'EIS	13
2.1 Données environnementales	13
2.2 Indicateurs sanitaires	13
2.3 Relations exposition-risque	14
III. Les étapes de l'EIS	17
<hr/>	
1. Définition ( <i>à priori</i> ) de la zone d'étude	17
1.1 Critères géographiques	17
1.2 Population et déplacements	17
1.3 Sources de pollution	17
1.4 Qualité de l'air	17
2. Estimation de l'exposition	18
2.1 Recueil des données de qualité d'air	18
2.2 Définition de la période d'étude	18
2.3 Sélection des stations de mesure	19
2.4 Ajustement de la zone d'étude	20
2.5 Construction des indicateurs d'exposition	20

## SOMMAIRE (suite)

3. Recueil des données sanitaires	21
3.1 Mortalité	21
3.2 Admissions hospitalières	21
4. Calcul du nombre de cas attribuables	22
4.1 Principes du calcul	23
4.2 Calcul pratique	23
4.3 Utilisation de la feuille de calcul	24
IV. Interprétation des résultats, limites et intérêts	29
1. Interprétation des résultats	29
1.1 Une vision partielle	29
1.2 Une aide à la décision	29
2. Limites et incertitudes	29
2.1 L'estimation de l'exposition	29
2.2 Les relations exposition-risque	30
2.3 Les indicateurs sanitaires	30
3. Intérêts	30
3.1 Un outil contributif à la gestion du risque	30
3.2 Une démarche transparente et pédagogique	31
V. Annexes	33
Annexe 1 : Typologie des stations de surveillance de la qualité de l'air	33
Annexe 2 : Le programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)	36
Annexe 3 : Exploitation pratique des résumés de sortie anonymisés du PMSI	38
Annexe 4 : Application à l'agglomération de Caen	39
VI. Bibliographie	47

## I. Contexte

### 1. Un contexte scientifique propice

Les risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique sont maintenant bien établis, du moins en ce qui concerne les effets survenant à court terme. Un grand nombre d'études expérimentales humaines [1] et épidémiologiques [2-11] ont en effet été publiées dans la littérature scientifique internationale au cours de la dernière décennie. Celles-ci permettent d'établir le rôle de la pollution atmosphérique dans la survenue ou l'exacerbation d'une vaste gamme de manifestations sanitaires, allant de la mortalité anticipée à la modification des paramètres de la fonction ventilatoire, en passant par l'exacerbation d'affections cardio-respiratoires nécessitant un recours aux soins ambulatoires ou hospitaliers. Ces études ont également mis en évidence que, du fait de l'absence de seuil, les effets néfastes de la pollution sont observables pour des niveaux d'exposition inférieurs aux valeurs guides ou réglementaires internationales adoptées jusqu'à présent.

Certes, toutes les questions relatives aux effets de la pollution atmosphérique sur la santé ne sont pas résolues. En particulier, "l'évidence épidémiologique" demande encore à être confortée par une meilleure connaissance des mécanismes étiopathogéniques qui gouvernent la survenue des effets néfastes sur la santé de la pollution atmosphérique. Néanmoins, la confrontation des résultats épidémiologiques aux critères de causalité habituellement retenus [12-14] permet raisonnablement de conclure que la pollution atmosphérique constitue bien un facteur de risque pour la santé de nature causale [15-20]. La question n'est donc plus de savoir si la pollution atmosphérique est responsable d'effets néfastes pour la santé. Il s'agit désormais de quantifier au mieux l'importance de son impact sanitaire. L'évaluation de cet impact et la communication des résultats aux décideurs et au public relèvent d'une démarche de santé publique visant à guider au mieux les politiques de prévention devant être mises en œuvre, tant au niveau national que local.

C'est dans ce contexte qu'en 1997, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a mis en place un dispositif de surveillance épidémiologique dans neuf villes françaises visant à quantifier et surveiller les relations existant, à court terme, entre la pollution atmosphérique urbaine et la santé des populations [20,21]. Ce dispositif de surveillance et l'abondante littérature scientifique disponible offrent désormais la possibilité

de recourir à la méthodologie d'évaluation d'impact sanitaire pour quantifier l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à une échelle locale [22].

L'objectif de ce guide est de présenter en détail cette méthode. Il complète celui paru en juin 1998 [22] qui présentait les principes généraux de cette démarche, ses avantages et ses limites.

### 2. Pourquoi une Évaluation d'Impact Sanitaire (EIS)

#### 2.1. Une obligation réglementaire

Les plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA), prévus par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 [23] et dont les modalités de mise en œuvre sont précisées par le décret du 6 mai 1998 [24] et dans la circulaire de la Direction Générale de la Santé du 24 mars 1998 [25], ont pour objet de fixer des orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. Ils doivent s'appuyer, entre autres, sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé.

#### 2.2. Un outil de planification et d'évaluation des politiques publiques

##### 2.2.1. Des objectifs de qualité d'air fondés sur des critères de santé publique

Outre le fait de répondre à l'obligation réglementaire des PRQA, une évaluation d'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique constitue un outil opérationnel de gestion du risque [26] dans la mesure où, même incertain, le résultat d'une mesure d'impact fondée sur les meilleures connaissances disponibles à ce jour est plus reproductible et transparent qu'un jugement subjectif fondé sur des émotions ou des suppositions arbitraires [26,27].

Une EIS permet également de fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air fondés sur des critères objectifs de santé publique. Les bénéfices attendus en termes de santé publique de différents scénarios d'évolution de la pollution atmosphérique peuvent être mis en perspective. Ils permettent ainsi de comparer l'efficacité de différentes stratégies et d'orienter les décisions pouvant avoir une influence sur la qualité de l'air.

### 2.2.2. Une évaluation des mesures de prévention

Une EIS permet également de comparer les gains sanitaires attendus selon que l'on prend comme critère de jugement le respect des valeurs normatives ou le non-dépassement d'une valeur fixée localement. Il est ainsi possible, par exemple, de tenir compte, lors de l'élaboration d'une politique locale des transports, du gain sanitaire qui serait associé à une réduction des pointes de pollution (en intensité) par rapport à un abaissement des niveaux chroniques de pollution.

De plus, si des actions de réduction des émissions sont mises en œuvre, une EIS permet de mesurer leur impact sur la santé publique et d'évaluer leur efficacité.

### 2.3. Un intérêt pédagogique

La démarche de quantification de l'impact sanitaire présente également un intérêt pédagogique. Elle permet d'illustrer l'importance des effets de la pollution atmosphérique sur la santé, même lorsque les normes réglementaires sont respectées et de relativiser ainsi le rôle des " pics " de pollution par rapport à la pollution atmosphérique de fond. En appliquant au niveau local les acquis scientifiques récents, elle contribue à l'appropriation de ces notions par le public et les décideurs locaux.

## 3. Une démarche intégrée

### 3.1. Un contexte national et international

La méthodologie d'EIS a été largement discutée au sein de groupes de travail et conférences organisés notamment par l'O.M.S. [28,29]. Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique étant non spécifiques, il ne peuvent être quantifiés directement à partir de l'observation de l'état de santé de la population [30]. Ainsi, même si l'approche qui est privilégiée par l'O.M.S. est celle de l'épidémiologie environnementale, la réalisation d'une enquête ad hoc n'est pas toujours réalisable du fait notamment de sa complexité ou de son coût. L'alternative est alors la réalisation d'une évaluation d'impact sanitaire, issue de la méthodologie de l'évaluation de risque (risk assessment) [26].

Ces deux approches, l'épidémiologie environnementale et l'EIS, ont déjà été mises en œuvre en Europe [31], notamment en France. C'est ainsi qu'une étude multicentrique conduite dans neuf villes françaises [20] comportait une EIS sur les bases méthodologiques proposées par

l'O.M.S. Dans le cadre des PRQA, des EIS ont également été réalisées, soit au niveau d'une région [33], soit au niveau d'agglomérations [32,34-36].

Ces différentes expériences ont contribué à documenter et tester l'applicabilité de la démarche recommandée par l'O.M.S. et ont amené l'InVS à recommander sa mise en œuvre au niveau français.

### 3.2. Un premier document de " cadrage "

Afin de répondre à l'attente des régions en phase avancée d'élaboration des PRQA, un premier document [22] avait été élaboré. Il visait à décrire les principes de l'EIS, son intérêt et ses limites afin d'aider les professionnels de santé publique à répondre localement à la double question de la pertinence et de la faisabilité d'une EIS. Sa (re)lecture est conseillée avant celle de ce guide qui ne revient pas sur les aspects théoriques traités antérieurement.

### 3.3. Un guide méthodologique

Ce guide, qui se veut avant tout pratique, a pour objet d'aider le lecteur à mettre en œuvre une EIS au niveau local. Le lecteur trouvera ainsi décrites toutes les étapes de la démarche, du choix de la zone d'étude à la présentation des résultats. Ce guide est également accompagné d'un classeur Excel permettant de réaliser facilement tous les calculs nécessaires.

### 3.4. Une formation

Le département EGERIES (évaluation et gestion des risques liés à l'environnement et au système de soins) de l'École Nationale de Santé Publique accompagne cette démarche en proposant, depuis 1999, une formation pratique à la réalisation d'une EIS. Cette formation comporte des cours, des travaux dirigés (étude de cas) et pratiques (manipulation de données réelles). A vocation opérationnelle, cette session est assurée en partenariat avec la Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest et l'Institut de Veille Sanitaire.

### 3.5. Une démarche évolutive

Actuellement, l'EIS présentée dans ce guide ne repose que sur l'étude de l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité anticipée (i.e. à court terme) et les admissions hospitalières pour motif respiratoire ou cardiovasculaire.

Cependant, la démarche d'EIS reposant sur une utilisation optimale des connaissances scientifiques et des données disponibles, celle-ci, par nature, se doit d'être évolutive pour intégrer régulièrement de nouveaux éléments, qu'il s'agisse de l'acquisition de nouvelles connaissances concernant l'estimation de l'exposition des populations ou de l'établissement de nouvelles relations exposition-risque. Ce guide constitue donc un cadre méthodologique initial permettant aux acteurs impliqués dans la mise en place des PROA de "démarrer ce chantier". Il sera amené à évoluer et de nouvelles recommandations pourront être formulées.

Dans les années à venir, du fait du dispositif de surveillance épidémiologique mis en place dans neuf villes françaises et du développement de la recherche soutenue tant au niveau national dans le cadre du programme de recherche PRIMEQUAL, qu'au niveau européen dans le cadre du 5<sup>e</sup> programme de la DG XII, des retombées importantes sont attendues. A terme, celles-ci devraient permettre de compléter cette EIS. Il s'agit en particulier de connaissances concernant :

- ⇒ la mortalité anticipée :
  - meilleure estimation du degré d'anticipation des décès (projet APHEA II) ;
- ⇒ la morbidité hospitalière :
  - meilleure estimation de la relation exposition-risque pour les très faibles niveaux d'exposition (projet APHEA II) ;
  - établissement de relations exposition-risque par saison permettant de prendre en compte la saisonnalité de la pollution atmosphérique urbaine (programme InVS-9 villes et projet APHEA II).
- ⇒ les effets à long terme de la pollution atmosphérique :
  - établissement de relations pour les admissions hospitalières pour motif cardiaque ou respiratoire (programme InVS-9 villes) ;
  - établissement de relations exposition-risque pour de nouveaux indicateurs sanitaires, notamment les consultations hospitalières d'urgence (programme InVS-9 villes).
- ⇒ les effets à long terme de la pollution atmosphérique :
  - établissement de relations exposition-risque pour la mortalité à long terme (étude PAARC II).
- ⇒ les indicateurs de pollution atmosphérique :
  - établissement de relations exposition-risque pour l'indicateur de pollution particulaire PM10 (projet APHEA II et programme InVS-9 villes) et l'indicateur monoxyde de carbone (programme InVS-9 villes).

## II. Conditions et données nécessaires pour une EIS

### 1. Agglomérations pouvant faire l'objet d'une EIS

Une EIS n'est envisageable que dans les zones urbaines où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être correctement estimée et considérée comme homogène. Cela suppose, en particulier :

- ⇒ l'existence d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air mesurant en routine, sur des stations de fond, au moins l'un des indicateurs de pollution suivant : SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, FN et O<sub>3</sub>, de façon fiable et depuis au moins un an ;
- ⇒ l'absence de sources ponctuelles majeures de pollution atmosphérique ;
- ⇒ que la population sur laquelle portera l'EIS séjourne la majeure partie de son temps dans la zone d'étude.

### 2. Données nécessaires à l'EIS

Ce paragraphe liste l'ensemble des données nécessaires à la réalisation d'une EIS et permettant de vérifier au préalable sa faisabilité locale de l'EIS. La description des indicateurs et leurs modalités d'obtention sont décrits ultérieurement (*cf. chapitre III*).

#### 2.1. Données environnementales

##### 2.1.1. Données de la qualité de l'air

Les données de surveillance de la qualité de l'air, mesurées en routine par l'ensemble des stations d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air, sont des éléments de base indispensables pour réaliser l'EIS.

Néanmoins, lorsque ne sont disponibles que des mesures ponctuelles réalisées lors de campagnes de mesure (et que l'implantation d'un réseau n'est pas envisagée à moyen terme comme dans le cas des agglomérations de moins de 100.000 habitants), ces données peuvent être utilisées sous certaines conditions :

- ⇒ les campagnes de mesure doivent avoir été réalisées sur une période de temps suffisamment longue pour être représentatives d'une pollution moyenne, au minimum sur une saison. L'indicateur d'exposition sera alors la moyenne des mesures de fond (capteurs non influencés par une source locale automobile ou industrielle) de la zone étudiée. Les mesures effectuées sur de courtes périodes de temps ou lors de conditions météorologiques exceptionnelles devront être utilisées avec

prudence. De plus, leur utilisation ne permettra d'estimer l'impact sanitaire que sur cette même période, ce qui limite leur intérêt ;

- ⇒ comme pour l'utilisation des données d'un réseau fixe de mesure, on privilégiera les mesures représentatives d'une pollution de fond afin d'approcher au mieux l'exposition ambiante de la population ;
- ⇒ l'utilisation de données ponctuelles (e.g. tubes à diffusion passive fournissant une valeur intégrée sur plusieurs jours) est peu pertinente, en particulier pour l'ozone pour lequel les relations exposition-risque sont établies pour une moyenne sur 8 heures.

La mise en œuvre d'une EIS à partir des seules données ponctuelles limite les possibilités de présentation des résultats. En particulier, toute possibilité de calcul des impacts associés à chaque gamme d'exposition est exclue et la comparaison des impacts sanitaires associés aux " pics " de pollution à ceux de la pollution de fond n'est pas possible.

Par contre, de telles données peuvent être utilisées pour juger de l'homogénéité de la qualité de l'air sur la zone étudiée en complément des inventaires d'émissions et des données relatives à la circulation automobile.

##### 2.1.2. Données de population et déplacements

Les données issues du recensement général de la population sont nécessaires pour connaître le nombre de personnes potentiellement exposées dans la zone d'étude (nombre d'habitants et navettes domicile-travail entre les communes).

#### 2.2. Indicateurs sanitaires

C'est sur la base des nombreuses synthèses de la littérature réalisées au cours des dernières années, tant dans le domaine épidémiologique que dans le domaine expérimental [37,38] que peuvent être sélectionnés les indicateurs de santé pertinents pour une EIS.

Seuls les indicateurs de santé pour lesquels on dispose de relation exposition-risque avec les polluants extérieurs visés par la législation et mesurés en routine ont été retenus. Par ailleurs, il est également nécessaire que les nombres moyens de cas par an et par saison de ces indicateurs sanitaires soient " accessibles " afin de pouvoir calculer le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique.

Sur ces considérations, deux types d'indicateurs ont été retenus pour quantifier les effets à court terme de la pollution atmosphérique : la mortalité anticipée (i.e. à court terme) et la morbidité hospitalière.

Les données de mortalité sont disponibles auprès de l'INSERM (SC8). Les données d'admissions hospitalières peuvent être recueillies auprès de la DRASS ou, mieux, directement auprès des établissements sanitaires de court séjour.

Concernant la morbidité non hospitalière, on dispose dans la littérature de relations exposition-risque entre des indicateurs de pollution et certains troubles comme les phénomènes irritatifs respiratoires, la survenue de symptômes chez le sujet asthmatique, la réduction de la fonction ventilatoire [39] ou l'incidence du recours aux soins ambulatoires [40]. Ces indicateurs sont particulièrement pertinents pour quantifier l'impact de la pollution atmosphérique car ils décrivent des effets qui, le plus souvent, ne nécessitent pas une hospitalisation et qui, très probablement, constituent la majorité (en nombre d'événements) des effets néfastes engendrés par une dégradation de la qualité de l'air [39]. Malheureusement, les statistiques sanitaires correspondantes sont rarement disponibles en France, et leur recueil nécessiterait des enquêtes ad hoc relativement lourdes.

Quant aux effets à long terme de la pollution atmosphérique (mortalité, morbidité), seules quelques études ont été réalisées et l'interprétation de leurs résultats pose encore des questions qui doivent être résolues avant de pouvoir les intégrer dans une démarche locale d'EIS.

## 2.3. Relations exposition-risque

### 2.3.1. Principes

La sélection des relations exposition-risque retenues dans ce guide a reposé sur les principes suivants :

- ⇒ dans la mesure où les études épidémiologiques s'intéressent directement aux liens existant entre la pollution de l'air et la santé de l'homme, leur recours dans le cadre d'une EIS est plus appropriée que l'utilisation des résultats des études animales ou des expérimentations humaines [26] ;
- ⇒ idéalement, pour réaliser une EIS, il est nécessaire de disposer d'une relation exposition-risque établie à partir

d'études réalisées au sein de populations comparables, c'est-à-dire dans le cas présent, la population générale. Cela conduit à exclure les estimateurs de risque issus d'études réalisées au sein de populations particulières (enfants, certaines catégories de travailleurs...) ;

- ⇒ une méta-analyse constitue une revue formelle d'études épidémiologiques et son objet est d'explorer l'hétérogénéité entre différents résultats. Elle s'accompagne souvent du calcul d'un méta-risque relatif, estimateur pondéré par la puissance des études revues, ce qui lui confère un caractère de généralité qui la rend pertinente pour une EIS [39]. Cependant, les divergences méthodologiques, tant au niveau des effets étudiés que des indicateurs d'exposition, en restreignent souvent la portée. En revanche, les études multicentriques qui reposent sur un protocole standardisé de mesure de l'exposition et des variables sanitaires permettent d'estimer un risque combiné qui s'avère être plus adapté à une EIS de la pollution atmosphérique [26]. Un tel estimateur a été privilégié. A défaut, un méta-risque calculé à partir d'études réalisées au sein de populations comparables peut être utilisé ;
- ⇒ les résultats des études européennes ont été privilégiés aux résultats d'études menées dans d'autres continents, notamment nord-américain, ceci afin de baser l'EIS sur des résultats établis à partir d'indicateurs de pollution dont la signification est plus proche de la réalité française.

Les relations exposition-risque sélectionnées sont présentées dans les paragraphes ci-dessous. Elles ont été directement intégrées dans la feuille de calcul.

### 2.3.2. Mortalité

L'indicateur qui a été retenu est la mortalité totale (hors causes accidentelles). En France, l'analyse combinée qui a été réalisée à partir de l'étude multicentrique conduite dans neuf villes [20] n'a pas montré, pour la mortalité totale, d'hétérogénéité des risques entre les villes étudiées. Ces résultats plaident en faveur d'une similitude des effets de la pollution atmosphérique urbaine d'une ville à l'autre, confirmant ainsi les résultats de l'étude APHEA qui montraient une cohérence et une forte stabilité dans plusieurs villes d'Europe de l'Ouest [31]. Les risques combinés issus de l'étude de l'InVS sont présentés dans le tableau 1.

Tableau 1. Risques relatifs de mortalité journalière totale pour une augmentation de 50 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution dans neuf agglomérations françaises [20].

Indicateurs de pollution	Nb de villes *	RR	IC 95 %
FN - moy. 24 h	5	1,029	1,013-1,044
SO <sub>2</sub> - moy. 24 h	8	1,036	1,021-1,052
NO <sub>2</sub> - moy. 24 h	6	1,038	1,020-1,055
O <sub>3</sub> - moy. 8 h	6	1,027	1,013-1,041

\* selon l'indicateur de pollution : Bordeaux, Rouen, Le Havre, Lille, Strasbourg, Lyon, Marseille, Toulouse, Paris.

### 2.3.3. Admissions hospitalières

En ce qui concerne les relations exposition-risque pour les admissions hospitalières pour motif respiratoire ou cardio-vasculaires, les résultats actuellement disponibles sont ceux de l'étude multicentrique européenne APHEA [41] et d'études menées à Paris et Londres [40,42], (Tab. 2 et 3).

#### ⇒ Admissions hospitalières pour motif respiratoire

Tableau 3. Risques relatifs d'admissions hospitalières pour affections respiratoires (CIM9 460-519) pour une augmentation de 50 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution [41].

Indicateurs de pollution	Villes	Saison Tropique	15-64 ans		+ 65 ans	
			RR	IC 95 %	RR+	IC 95 %
SO <sub>2</sub> - moy. 24 h	L, A, R, P, M	Eté	1,01	0,98-1,04	1,06	1,01-1,11
		Hiver	1,01	0,97-1,07	1,02	0,99-1,04
FN - moy. 24 h	L, A, R, P	Eté	0,99	0,90-1,09	1,07	1,00-1,15
		Hiver	1,04	1,02-1,07	1,00	0,95-1,04
NO <sub>2</sub> - moy. 24 h	L, A, R, P	Eté	1,00	0,96-1,04	1,02	0,99-1,06
		Hiver	1,01	0,98-1,04	1,00	0,98-1,03
O <sub>3</sub> - moy. 8 h	L, A, R, P	Eté	1,02	0,99-1,05	1,04	1,02-1,07
		Hiver	1,03	0,98-1,08	1,02	0,99-1,05

A = Amsterdam, L = Londres, M = Milan, P = Paris et R = Rotterdam

#### ⇒ Admissions pour motif cardio-vasculaire

Faute de disposer d'une étude multicentrique, un méta-risque a été calculé à partir de deux études temporelles [40,42].

Tableau 2. Risques relatifs d'admissions par affections cardio-vasculaires toutes causes pour une augmentation de 50 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution [40,42].

Indicateurs	RR	IC 95 %
FN - moy. 24 h hiver	1,065	1,027-1,104
FN - moy. 24 h été	1,102	1,042-1,164
SO <sub>2</sub> - moy 24 h hiver	1,063	1,027-1,101
NO <sub>2</sub> - moy. 24 h hiver	1,050	1,029-1,072
NO <sub>2</sub> - moy. 24 h été	1,058	1,033-1,083

### III. Les étapes de l'EIS

#### 1. Définition (à priori) de la zone d'étude

Lors de cette première étape, il s'agit de déterminer une zone où une population est exposée, en moyenne, à un même niveau de pollution par unité de temps de référence, ici la journée. En priorité, on s'intéressera aux agglomérations urbaines, c'est-à-dire les zones où une large population est exposée à un niveau de pollution résultant de la concentration des activités humaines. Cette détermination qui repose sur l'analyse de plusieurs critères doit impérativement être menée en étroite collaboration avec un responsable du réseau de surveillance de la qualité de l'air.

##### 1.1. Critères géographiques

Afin de satisfaire l'hypothèse d'une qualité d'air ambiant homogène dans une zone donnée, seules seront retenues les zones de continuité urbaine avec le centre ville, c'est-à-dire où tous les quartiers construits sont jointifs, ce qui exclut, par exemple, les communes périphériques séparées du centre par une ceinture verte. Pour retenir ces zones, en complément de la connaissance " naturelle " du terrain, on pourra recourir aux cartes IGN au 1/25 000 ou aux photos aériennes (qui peuvent être plus récentes) qui permettent d'apprécier la continuité de l'urbanisation.

Le plus petit des éléments constituant une zone doit être la commune, zone géographique minimale compatible avec l'extraction des données de mortalité et d'admissions hospitalières. La zone d'étude est donc constituée d'une ou plusieurs communes dans leur intégralité.

##### 1.2. Population et déplacements

A cette étape, il s'agit de vérifier, en première approximation, que la majorité de la population séjourne bien la majeure partie de son temps dans la zone définie à l'étape précédente. Pour cela, on pourra avoir recours aux informations suivantes, disponibles auprès de l'INSEE [43] :

- ⇒ population en nombre et densité par commune ;
- ⇒ déplacements de population (navettes domicile travail) : par commune, nombre de sortants et nombre d'entrants par jour, en provenance de telle ou telle commune.

##### 1.3. Sources de pollution

Il s'agit maintenant de déterminer si, dans la zone définie à l'étape précédente, la répartition des émissions

polluantes est compatible avec l'hypothèse de départ selon laquelle l'exposition ambiante est homogène. En complément de l'avis des responsables du réseau de surveillance de la qualité de l'air, il s'agira pour cela de :

- ⇒ qualifier, à partir des données du rapport du CITEPA (disponible à la DRIRE), la pollution émise sur l'unité urbaine, en estimant les proportions de pollution (par exemple azotée et soufrée) attribuables aux sources automobiles et industrielles ;
- ⇒ repérer sur une carte les principales sources de pollution industrielle (à partir des données DRIRE sur la taxe parafiscale) et automobile (en consultant les données de circulation disponibles auprès du service voirie de la ville, du service des routes du Conseil général, de la DDE ou en consultant le Plan de Déplacements Urbains s'il existe).

##### 1.4. Qualité de l'air

A cette étape, il est nécessaire de savoir si, pour la zone prédéfinie, la connaissance de la qualité de l'air est suffisante pour permettre de lui attribuer un niveau moyen de pollution ou, au contraire, s'il faut restreindre la zone d'étude. A cet égard, il faut étudier les mesures ambiantes de polluants, à l'exclusion des mesures effectuées à proximité d'une source automobile ou industrielle de pollution, ce qui conduit à privilégier à priori les stations de fond (stations urbaines et périurbaines cf. Annexe 1).

En règle générale, les stations fixes de mesure de la pollution atmosphérique renseignent surtout sur la distribution dans le temps des niveaux de pollution alors que les campagnes ponctuelles donnent des indications sur la distribution géographique et sont donc particulièrement utiles pour délimiter la zone d'étude. Par ailleurs, des mesures réalisées à d'autres fins (dossiers d'aménagements routiers ou d'installations classées pour la protection de l'environnement) peuvent également être utilisées dès lors qu'elles ne sont pas réalisées sous l'influence d'une source proche de pollution (caractérisation d'un état initial par exemple).

Seront ainsi exclues des zones où :

- ⇒ la qualité de l'air est inconnue (absence de mesures) et lorsqu'il n'existe aucune raison de penser qu'elle puisse être semblable à celle d'une zone adjacente où elle est connue ;
- ⇒ la qualité de l'air est " particulière ", ce qui nécessite alors de réaliser une EIS distincte.

Cette étape ne peut être standardisée compte tenu de la diversité des situations locales en termes de pollution et de connaissance de la qualité de l'air. Elle doit faire appel très largement à l'expertise développée par le réseau de surveillance.

*A l'issue de cette étape, il est nécessaire d'avoir identifié une zone urbaine sans rupture d'urbanisation où la majorité de la population séjourne en permanence et où la qualité de l'air (mesurée par des stations de fond) et la répartition des émissions peuvent être considérées, a priori, comme homogènes.*

## 2. Estimation de l'exposition

Le mode le plus simple de calcul pour estimer l'exposition d'une population est la valeur moyenne des données collectées dans la zone où vit cette population [26].

La méthode décrite ci-dessous découle de l'expérience acquise lors de l'étude de faisabilité relative à la mise en place, dans neuf villes françaises, d'un dispositif de surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique [20]. L'estimation de l'exposition de la population repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières. Il s'agit donc de construire, pour chaque polluant, un indicateur d'exposition moyenne. Cette construction se déroule en quatre phases :

- ⇒ recueil des données pertinentes auprès du réseau de surveillance de la qualité de l'air ;
- ⇒ détermination de la période d'étude ;
- ⇒ sélection des stations ;
- ⇒ construction des indicateurs d'exposition à partir des stations sélectionnées.

Ces quatre étapes sont illustrées en Annexe 4, pour l'agglomération caennaise.

### 2.1. Recueil des données de qualité d'air

Il est nécessaire de relever pour toutes les stations fixes de mesure, et par polluant :

- ⇒ le nom et l'emplacement de la station ;
- ⇒ les périodes de mesure ;

- ⇒ le type de station : fond ou proximité industrielle ou automobile ;
- ⇒ la technique de mesure ;
- ⇒ les périodes d'indisponibilité des mesures (arrêt du capteur, dysfonctionnement prolongé...) ;
- ⇒ la disponibilité (ou non) des mesures sous forme informatisée.

Les valeurs journalières mesurées par toutes ces stations doivent être recueillies auprès du réseau de surveillance de la qualité de l'air, et seules les données validées par le réseau seront utilisées. Il est néanmoins nécessaire, par précaution, de s'assurer que ces données validées sont cohérentes. A cette fin, la représentation graphique des moyennes journalières permet de déceler d'éventuelles anomalies (dérive des données, décrochements etc.). Pour tous les indicateurs de pollution, on recueillera les moyennes journalières (i.e. 24 h), sauf pour l'ozone où les moyennes doivent être calculées sur la période 9 h - 17 h ou par la méthode du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures.

Un réseau peut fournir des valeurs brutes 1/4 horaire, des valeurs moyennes horaires ou directement des valeurs moyennes journalières. Si les moyennes journalières ne sont pas calculées, celles-ci seront calculées en appliquant la règle des 75 % :

- ⇒ la moyenne horaire est la moyenne arithmétique des valeurs 1/4 horaire sur une heure si, au minimum, 3 valeurs sont disponibles (moins de 25% de valeurs manquantes). Sinon la valeur horaire doit être considérée comme manquante ;
- ⇒ la moyenne journalière (respectivement sur une fraction de la journée) est la moyenne arithmétique des valeurs horaires mesurées de 0h à 24 h (respectivement, sur une fraction de journée) si au minimum 18 (75%) valeurs horaires sont disponibles (moins de 25% de valeurs manquantes). Sinon la valeur journalière est considérée comme manquante.

### 2.2. Définition de la période d'étude

La détermination de la période pour laquelle l'indicateur d'exposition sera construit dépend de la disponibilité des données. Cette période d'étude doit être choisie de manière à disposer du plus grand nombre de sites disponibles.

Pour chaque station et chaque indicateur de pollution, le graphe des périodes de disponibilité permet de mettre en évidence les valeurs manquantes en fonction du temps. On peut ainsi vérifier, par indicateur de pollution, que l'on dispose effectivement de données pour au moins une année tropique (soit deux saisons tropiques : du 1<sup>er</sup> avril au 30 septembre pour la période estivale ; du 1<sup>er</sup> octobre au 31 mars pour la période hivernale).

Du fait que les polluants mesurés sont des indicateurs d'un mélange atmosphérique complexe, il est préférable de définir une même période d'étude pour tous les indicateurs de pollution. Celle-ci doit être suffisamment longue pour être représentative des conditions météorologiques habituelles. La durée minimale préconisée pour cette période est une année, soit deux saisons tropiques.

Le choix de la période d'étude résulte donc d'un compromis entre la longueur disponible des séries de polluants et le nombre de sites mesurés.

## 2.3. Sélection des stations de mesure

L'objectif est de sélectionner, par une analyse multicritères, les stations représentatives de l'exposition moyenne ambiante de l'ensemble de la population. Pour choisir ces stations, les critères suivants doivent être pris en compte :

- ⇨ les niveaux des indicateurs de pollution des stations étudiées doivent être " proches " et refléter les mêmes phénomènes de pollution ;
- ⇨ les stations doivent être bien corrélées entre elles ;
- ⇨ une station donnée doit pouvoir être qualifiée, du point de vue de son environnement, comme représentative de l'exposition de la population.

### 2.3.1. Distribution des valeurs d'immissions

La distribution des valeurs journalières enregistrées par chaque station permet d'étudier l'hétérogénéité des immissions des différents polluants mesurés sur l'ensemble des sites (Tab. 4). Il est difficile de fixer un écart (différentiel) absolu à ne pas dépasser.

Tableau 4. Exemple de présentation de la distribution d'un indicateur de pollution en fonction du site de mesure

Type de station	Urbaine*	Périurbaine*	Trafic*	Industrielle*
Sites de mesure				
Moyenne				
Médiane				
Centile 5				
Centile 25				
Centile 75				
Centile 90				
Centile 95				
Minimum				
Maximum				
% Valeurs Manquantes				
Périodes d'invalidité >7 jours				

\* Les termes urbain, périurbain, trafic et industrielle sont précisés en Annexe 1.

### 2.3.2. Corrélations inter-stations

L'étude des corrélations (fonction " coefficient.corrélation " sous Excel) entre les niveaux d'un même polluant mesurés dans les différents sites d'une agglomération permet de vérifier l'homogénéité des variations temporelles (Tab. 5) : la valeur guide (minimale) de 0,6 a été retenue [20].

Tableau 5. Exemple de présentation des corrélations entre stations

	Station 1	Station 2	Station 3
Station 1	1	a*	b*
Station 2		1	c*
Station 3			1

\* a, b, c : coefficients de corrélation entre 2 stations

### 2.3.3. Environnement des stations

Les résultats de cette analyse statistique sont à rapprocher des résultats de l'étude de l'environnement des stations qui doit permettre de justifier l'exclusion éventuelle d'une station. A cet égard, les critères à prendre en compte sont principalement :

- ↪ la proximité d'une source de pollution ;
- ↪ la présence d'un obstacle à la dispersion des polluants ;
- ↪ la présence d'un espace découvert favorisant une très bonne dispersion ;
- ↪ l'emplacement particulier des capteurs (limite de l'agglomération, hauteur particulière du prélèvement...).

*Les stations retenues à cette étape sont celles qui enregistrent des niveaux de pollution " proches ", qui sont " bien corrélées " et qui peuvent être considérées comme étant des stations de fond (c'est-à-dire non directement influencées par une source de pollution). Lorsque ces critères sont satisfaits, ces stations peuvent être considérées comme représentatives de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique urbaine.*

### 2.4. Ajustement de la zone d'étude

La prise en compte des résultats de l'étape précédente relative à la sélection des stations de mesure permet une délimitation plus précise de la zone d'étude. Ainsi, par exemple, une commune sélectionnée à la 1<sup>ère</sup> étape peut être finalement écartée si les niveaux d'immissions enregist-

trés sur cette commune se différencient trop de ceux du reste de l'agglomération.

### 2.5. Construction des indicateurs d'exposition

Pour chaque indicateur de pollution, un indicateur d'exposition est calculé à partir de la moyenne arithmétique des mesures journalières enregistrées par les stations sélectionnées. La distribution de cet indicateur peut être présenté sous forme de tableaux et/ou d'histogrammes, comme ci-dessous (Tab. 6 et 7).

Tableau 6. Répartition des jours selon le niveau d'indicateur d'exposition

Concentration en polluant [ $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ]	Nombre total de jours
< 10	
10 – 20	
20 – 30 ...	

Tableau 7. Distribution des indicateurs d'exposition

Polluant	NO2		O3	...
	totale	été	hiver	
Moyenne				
Écart type				
Centile 5				
Centile 25				
Centile 50				
Centile 75				
Centile 90				
Centile 95				
Minimum				
Maximum				
% Valeurs Manquantes				

Les mesures obtenues lors de campagnes ponctuelles sont, au même titre que les résultats de modélisation de la dispersion des polluants émis, utiles pour délimiter la zone d'étude. Néanmoins, leur utilisation pour la construction d'un indicateur d'exposition ne doit être envisagée qu'avec prudence (cf. § 2.1.1). Leur utilisation pour la construction ou la " consolidation géographique " d'un indicateur d'exposition peut constituer une approche complémentaire dans le cas où l'on ne dispose que d'un petit nombre de stations fixes de fond. Cette approche permet en effet de combiner

la distribution temporelle des niveaux de pollution (information fournie par les stations fixes) et leur distribution spatiale (information fournie par les mesures ponctuelles et/ou une modélisation à l'échelle de l'agglomération). Dans ce cas de figure, il est recommandé d'adopter la démarche suivante :

- ⇒ construction, à partir des stations de fond fixes, de l'indicateur d'exposition  $IE_{\text{saison}}$  sur une saison tropique comme indiqué précédemment ;
- ⇒ construction, à partir des mesures de fond ponctuelles jugées représentatives de la pollution ambiante, d'un indicateur d'exposition  $IE_p$  sur la période  $p$  de mesure ;
- ⇒ construction, à partir des stations de fond fixes de l'indicateur d'exposition  $IE_p$  sur la même période  $p$ .

L'indicateur d'exposition  $IE_{\text{saison}'}$  "géographiquement consolidé" est alors égal à :

$$IE_{\text{saison}'} = (IE_p' / IE_p) * IE_{\text{saison}}$$

*A cette étape, il est maintenant nécessaire de disposer, pour la période d'étude et par saison, de séries de valeurs journalières d'indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique.*

### 3. Recueil des données sanitaires

#### 3.1. Mortalité

##### 3.1.1. Origine, nature et qualité des données

Les données de mortalité française sont adressées à l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (INSERM). Le service commun d'information sur les causes médicales de décès (SC8) code le certificat de décès - établi par le médecin constatant la mort - selon la classification internationale des maladies (CIM) établie par l'OMS.

Dans le cadre de l'EIS de la pollution atmosphérique, seule l'étude de la mortalité toute cause (sauf accidentelle) est préconisée. Il existe un délai de deux ans de mise à disposition des données de mortalité.

##### 3.1.2. Obtention des données

Les données de mortalité par commune sont disponibles auprès de l'INSERM (service commun n°8, 44 chemin de ronde, 78116 LE VESINET Cedex).

La demande doit mentionner : le nom et le code géographique officiel (INSEE) des communes de domicile étudiées, les périodes (en l'occurrence correspondant aux saisons tropiques), la cause de mortalité (code CIM 9 < 800 ; CIM 10 : S00-X59 : toutes causes de décès sauf accidentelles). Ce service est facturé par l'INSERM : pour une agglomération, le coût est de l'ordre de 2 000 Francs (réduction de 50 % pour les administrations). Les Observatoires Régionaux de la Santé peuvent également disposer de ces données dans des conditions à examiner localement.

A noter qu'à compter du second semestre 1999 (DGS - communication personnelle), les DDASS et DRASS devraient disposer de la Base Régionale en Santé Publique (BRSP) [44] qui inclura pour ces utilisateurs, l'accès aux données mensuelles de mortalité par commune (sous réserve du respect des critères de confidentialité liés à la taille de la commune).

#### 3.2. Admissions hospitalières

##### 3.2.1. Origine, nature et qualité des données

Les données d'activité hospitalière (nombre annuel d'admissions pour motif cardio-vasculaire ou respiratoire) sont extraites du PMSI, le système d'information des établissements sanitaires (Annexe 2).

##### 3.2.2. Obtention des données

Du fait des modalités de codage des données hospitalières (voir Annexe 2), il est recommandé de recueillir directement ces données auprès des Départements d'Information Médicale (DIM) des hôpitaux. En cas d'impossibilité, il est possible de recourir aux RSA (Résumés de Sortie Anonymisés) disponibles dans les DRASS. Les deux modalités de recueil des données sont décrites ci-dessous.

##### ⇒ Auprès des établissements sanitaires

Les établissements visés sont ceux qui gèrent les services de soins de courts séjours pour affections respiratoires (codes CIM J00 à J99) et cardio-vasculaires (codes CIM I00 à I99) ce qui, dans certains cas, se limite aux centres hospitaliers publics. En pratique, l'Inspection Régionale de la Santé - DRASS peut renseigner sur ce point.

Afin d'accéder à ces données, il est absolument nécessaire de recueillir au préalable les autorisations administratives et médicales auprès du Chef d'établissement, du Président de la Commission Médicale d'Établissement (CME), parfois du Collège Médical du DIM s'il existe.

En pratique, il est conseillé, après en avoir discuté avec l'interlocuteur de l'Inspection Régionale de la Santé – DRASS, de prendre contact avec le responsable du DIM qui pourra indiquer la meilleure procédure administrative à suivre au sein de son établissement.

Le contenu technique de la demande est à formuler précisément. Le tableau 8 ci-dessous présente les informations qui doivent être recueillies auprès du DIM.

Tableau 8. Nombre de 1<sup>ers</sup> RUM\* par Diagnostic Principal respiratoire (J) ou cardio-vasculaire (I) (avec mode d'entrée = domicile et séjour de plus de 24 heures)

	Commune de domicile du patient (code postal)	DP du premier RUM de J00 à J99 (CIM 10)				DP du premier RUM de I00 à I99 (CIM 10)			
		0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total tous âges	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total tous âges
Session 1	Commune 1								
	Commune 2								
	Commune 3								
	Commune n								
Session 2	Commune 1								
	Commune 2								
	Commune 3								
	Commune n								

\*RUM : Résumé d'Unité Médicale

Pour une interrogation antérieure à 1997, les diagnostics sont codés en référence à la neuvième révision de la CIM. Les codes CIM-9 des maladies respiratoires sont ceux compris entre 460 et 519 inclus. Pour les affections cardio-vasculaires, il s'agit des codes compris entre 390 et 459 inclus.

Pour les établissements où le passage aux urgences génère un RUM, ce qui n'est pas le cas habituellement, il est nécessaire de demander au DIM d'indiquer :

- le nombre de séjours mono-unités avec DP = I (ou J) ;
- le nombre de séjours multi-unités sans passage aux urgences et dont le 1<sup>er</sup> RUM comporte un DP = I (ou J) ;
- le nombre de séjours multi-unités avec 1<sup>er</sup> RUM établi aux urgences et 2<sup>e</sup> RUM avec un DP= I (ou J).

Dans ce cas, le nombre total de séjours est alors la somme de ces trois items.

#### ➔ Auprès de la DRASS

Les RSA sont disponibles à la DRASS (services statistiques, Inspection de la Santé, Tutelle des établissements) avec un délai allant de six à neuf mois. Par exemple, les RSA du premier semestre 1998 sont disponibles fin 1998 ou début 99. Pour extraire les données nécessaires, la procédure est décrite en Annexe 3.

A cette étape, il est nécessaire de disposer des statistiques sanitaires suivantes, concernant la ou les communes appartenant à la zone d'étude et ce, pour chaque saison de la période d'étude : mortalité tous âges et toutes causes (sauf accidentelles), nombre d'admissions hospitalières tous âges pour motif cardio-vasculaire, nombre d'admissions hospitalières pour motif respiratoire (15-64 ans et +65 ans).

## 4. Calcul du nombre de cas attribuables

### 4.1. Principes du calcul

Pour une période de temps donnée, la proportion d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution donné se calcule à partir de la formule suivante :

$$PA = \frac{f(RR - 1)}{1 + f(RR - 1)}$$

où :

- PA est la proportion d'événements sanitaires attribuables au niveau de pollution atmosphérique considéré (e.g. décès, admissions hospitalières etc.) ;

- RR est le risque relatif associé au niveau de pollution étudié ;
- f est la prévalence de l'exposition, c'est à dire la proportion de la population exposée au niveau de pollution considéré.

Dans le cas de la pollution atmosphérique urbaine, toute la population peut être considérée comme étant exposée (en moyenne) au niveau de pollution considéré ( $f = 1$ ) et le nombre de cas attribuables pour la période considérée peut être alors calculé à partir de la formule simplifiée :

$$NA = \frac{RR - 1}{RR} \times N$$

où :

- NA est le nombre de cas attribuables pour la période considérée ;
- N est le nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période considérée.

Dans ces deux formules, la proportion ou le nombre d'événements attribuables sont calculés en référence à un niveau de pollution atmosphérique nul auquel est associé un risque relatif (RR) égal à 1. Cependant, tant d'un point de vue d'évaluation que d'un point de vue décisionnel, le choix d'un niveau de référence de pollution nul n'est pas approprié. En effet, le niveau de base de pollution atmosphérique à l'échelle urbaine n'est pas forcément nul (du fait notamment de la pollution inter-régionale) et un niveau nul de pollution atmosphérique en milieu urbain ne constitue pas, en soi, un objectif raisonnable ou, pour le moins, opérationnel.

Le plus souvent, la proportion ou le nombre d'événements attribuables est donc calculé, non pas pour un niveau de pollution donné, mais pour un différentiel de pollution donné. Dans ce cas de figure :

$$NA = \frac{RR_{\Delta} - 1}{RR_{\Delta}} \times N$$

où :

- NA est le nombre de cas attribuables pour la période considérée ;
- $RR_{\Delta}$  est l'excès de risque associé au différentiel de pollution  $\Delta$  étudié, donné par la relation exposition-risque ;
- N est le nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période considérée.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs

d'exposition caractérisant la pollution urbaine, c'est-à-dire au minimum pour les indicateurs suivants : particules,  $SO_2$ ,  $NO_2$  et  $O_3$ . Cependant, les risques relatifs associés à chaque indicateur de pollution n'étant pas indépendants [20], les nombres d'événements attribuables aux indicateurs de pollution ne sont pas cumulables. En l'état actuel des connaissances, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine peut donc être estimé comme étant, au minimum, égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudié.

## 4.2. Calcul pratique

### 4.2.1. Calcul journalier

En pratique, le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine est calculé pour chacun des indicateurs d'exposition (particules,  $SO_2$ ,  $NO_2$  et  $O_3$ ) et pour chaque journée de la période d'étude considérée (unité de temps retenue pour la construction des indicateurs d'exposition).

Pour un indicateur de pollution et pour un jour j donné, le nombre d'événements attribuables à un différentiel de pollution est calculé par la formule :

$$n_j = \frac{RR (E_j - E_r) - 1}{RR (E_j - E_r)} * N_r$$

où :

- $n_j$  est le nombre journalier d'événements attribuables au différentiel d'exposition ( $E_j - E_r$ ) ;
- RR est le risque relatif associé à un différentiel ( $E_j - E_r$ ) d'exposition donné ;
- $E_r$  est le niveau d'exposition choisi comme référence ;
- $E_j$  est le niveau, pour le jour j, de l'indicateur d'exposition considéré ;
- $N_r$  est le nombre d'événements correspondant au niveau d'exposition choisi comme référence.

Cette modalité de calcul constitue une approximation simplifiée (recommandée par l'OMS) par laquelle les résultats obtenus sont quasi identiques à ceux résultant de l'utilisation de la formule exacte.

Le niveau d'exposition de référence choisi est fonction des objectifs de l'EIS. Ce niveau de référence peut être, par exemple :

- le niveau correspondant au percentile 5 de la distribution de l'indicateur considéré au cours de la période d'étude lorsque l'objectif de l'EIS est d'estimer l'impact sanitaire actuel de la pollution en prenant comme référence une situation hypothétique de pollution urbaine quasi nulle. Dans ce cas de figure, le nombre de cas attendus Nr pour le niveau P5 est calculé à partir du nombre de cas observés pour le niveau P50 et de la variation de risque pour un passage de P50 à P5 ;
- la moyenne de la distribution des niveaux journaliers de l'indicateur considéré lorsque l'objectif de l'EIS est d'estimer le gain potentiel en termes sanitaires qui pourrait être obtenu par une diminution donnée (x%) du niveau de cet indicateur par rapport à la situation actuelle ;
- le niveau correspondant au percentile 25 de la distribution de l'indicateur considéré lorsque, par exemple, l'objectif de l'EIS est d'estimer le gain potentiel en termes sanitaires qui pourrait être obtenu par une politique de réduction des émissions associées à cet indicateur qui permettrait de ramener au niveau du percentile 25 tous les jours ayant connu un niveau supérieur ou égal au niveau correspondant au percentile 75 de la distribution actuelle ;
- un niveau absolu de pollution donné, lorsque par exemple, pour l'indicateur O<sub>3</sub>, le niveau de référence retenu peut être celui estimé à partir des stations rurales historiques.

#### 4.2.2. Calcul saisonnier

Pour chaque indicateur de pollution, l'impact sanitaire saisonnier est ensuite obtenu en sommant les événements sanitaires attribuables calculés pour chaque jour, correspondant à la période d'étude ou à l'hypothèse de calcul retenue. Ainsi, par exemple :

- pour une EIS prenant comme référence une situation "sans pollution" (P5) : on somme tous les impacts journaliers (classés par gamme d'exposition) correspondant à la saison d'étude. La présentation des résultats par gamme d'exposition (de 10 à 20 µg/m<sup>3</sup>, de 20 à 30 etc...) permet ainsi de visualiser la contribution respective de chacun des niveaux à l'impact total. Ce mode de présentation permet ainsi d'estimer l'impact sanitaire associé aux dépassements des valeurs réglementaires et de le comparer à l'impact sanitaire associé aux niveaux de pollution de fond ;

- pour une EIS visant à estimer le gain sanitaire (respectivement la perte) lié à une variation du niveau moyen de pollution de ± 25 %, on calcule dans un premier temps l'impact journalier associé à une variation de l'indicateur de ± 25 %, puis on multiplie cet impact par  $\frac{365}{2}$  (183 pour l'été ; 182 pour l'hiver) pour obtenir l'impact saisonnier;
- pour une EIS reposant sur l'hypothèse d'un passage de P75 (niveau atteint ou dépassé 25% du temps) à P25 (niveau non atteint 25% du temps), on calcule d'abord l'impact journalier P75/P25, puis le gain sanitaire est calculé en sommant les calculs effectués pour les 25% des jours concernés. L'impact annuel est ensuite calculé en sommant les résultats des saisons estivale et hivernale.

### 4.3. Utilisation de la feuille de calcul

Dans l'attente de la diffusion d'un logiciel développé par le bureau européen de l'O.M.S. avec la collaboration de l'InVS, une feuille de calcul a été réalisée.

Cette feuille est téléchargeable à partir du serveur Internet de l'InVS (<http://www.rnsp-sante.fr>).

Cette feuille de calcul permet, à partir des données de pollution, du nombre journalier d'événements sanitaires et du risque relatif, de calculer l'impact sanitaire par indicateur de pollution, pour une saison et un effet sanitaire donné.

Pour la mortalité et les admissions hospitalières cardiovasculaires, le calcul est effectué sur l'ensemble de la population, tous âges confondus. Pour les admissions respiratoires, le calcul est effectué pour deux tranches d'âge (15-64 ans et 65 ans et plus).

Les zones où les données sont à saisir sont indiquées par un fond jaune et les résultats apparaissent dans les zones de fond vert et orange.

#### 4.3.1. Données d'entrée

Les données sont à saisir sur la feuille " données ", en commençant par l'indicateur de pollution, la saison et l'indicateur de santé étudiés.

Indicateur de pollution :	O <sub>3</sub>
Saison :	été
Effet sanitaire :	mortalité

### ↳ Données de pollution

Les données de la distribution de l'indicateur d'exposition, exprimées en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , sont à saisir pour la saison étudiée, dans la zone correspondante.

Indicateur de pollution ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	
Percentile 5 =	30
Percentile 25 =	50
Percentile 50 =	59
Percentile 75 =	71
Moyenne =	61

En complément, il est également nécessaire de saisir le nombre de jours correspondant à chaque gamme d'exposition (nombre de jours entre 0 et 1  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ , entre 1 et 2...), celle-ci étant identifiée par la valeur centrale de l'intervalle (0,5 pour la tranche 0-1...).

Indicateur de pollution (c: $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	Nb de jours à pollution c
0,5	0
1,5	0
2,5	0
3,5	0
4,5	0
296,5	
297,5	
298,5	
299,5	
<b>Total</b>	<b>183</b>

### ↳ Données sanitaires

Le nombre d'événements journaliers (décès ou admissions hospitalières), pour la saison d'étude, et pour chaque tranche d'âge dans le cas des hospitalisations pour motif respiratoire, sont à saisir dans la zone correspondante.

<b>nombre moyen journalier de cas observés</b>	2,56
--	------

### ↳ Estimateur de risque

La valeur du risque relatif (cf. II.2.3) et son intervalle de confiance, pour une augmentation de 50  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  du polluant correspondant, sont à saisir dans la zone correspondante.

Risque Relatif (pour un delta de 50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		
central	inférieur	supérieur
1,027	1,013	1,041

### ↳ Niveau de base retenu

Le niveau de base (par exemple, le percentile 5 ou le niveau de fond régional) retenu pour les calculs est à saisir dans la zone correspondante.

Évaluation de l'impact sanitaire associé aux niveaux journaliers de pollution atmosphérique pour un niveau de base donné =	30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
--	-----------------------------

### ↳ Niveau retenu pour le scénario de gestion du risque

Pour étudier l'effet d'une limitation des niveaux à un niveau donné X (par exemple, une valeur réglementaire), cette valeur est à saisir dans la zone correspondante.

<b>Scénarii :</b>	
1. Gain sanitaire attendu pour une réduction de tous les niveaux journaliers (> x) de pollution atmosphérique observés à un niveau donné x (x > = niveau de base) :	110

#### 4.3.2. Résultats

Les résultats sont présentés sur la feuille " résultats " du classeur, en nombre de cas sur la période étudiée.

- Impact de la pollution atmosphérique par rapport à une pollution très faible (niveau de base = percentile 5). L'impact est exprimé avec un intervalle de confiance calculé à partir des bornes du risque relatif.

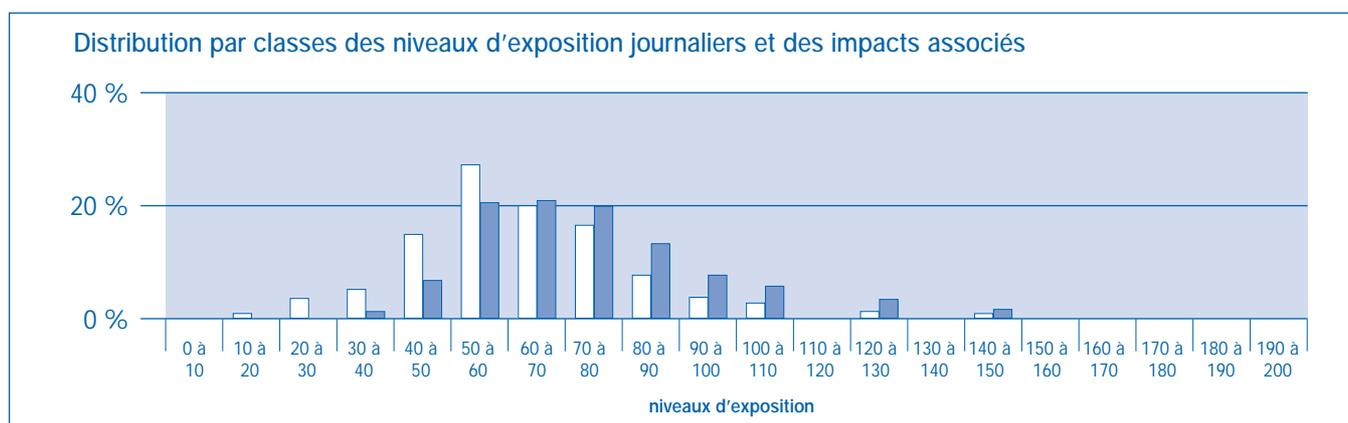
Résultats : Évaluation d'Impact Sanitaire			
	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
<b>Impact total par rapport au niveau de base :</b>	7,6	3,7	11,5

Dans cet exemple, cela signifie que si chaque jour de la période étudiée, la pollution avait été celle correspondant au niveau des 5% de jours les moins pollués (30  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  pour cet exemple), 4 à 12 décès anticipés auraient été évités.

L'impact sanitaire attribuable à chaque niveau d'exposition (de 10 en 10  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) figure également sur la feuille des résultats.

Indicateur de pollution	Nombre de jours	% de jours	Nombre de cas	% de cas
0 à 10	0	0 %	0	0 %
10 à 20	1	1 %	0	0 %
20 à 30	7	4 %	0	0 %
30 à 40	10	5 %	0,069634235	1 %
40 à 50	24	13 %	0,47432701	6 %
50 à 60	51	28 %	1,663974515	22 %
60 à 70	37	20 %	1,63490749	21 %
70 à 80	26	14 %	1,510311531	20 %
80 à 90	14	8 %	0,991954864	13 %
90 à 100	6	3 %	0,502580572	7 %
100 à 110	4	2 %	0,397123459	5 %
110 à 120	0	0 %	0	0 %
120 à 130	2	1 %	0,247279788	3 %
130 à 140	0	0 %	0	0 %
140 à 150	1	1 %	0,143967816	2 %
150 à 160	0	0 %	0	0 %
160 à 170	0	0 %	0	0 %
170 à 180	0	0 %	0	0 %
180 à 190	0	0 %	0	0 %
190 à 200	0	0 %	0	0 %
<b>Total</b>	<b>183</b>	<b>100 %</b>	<b>7,6</b>	<b>100 %</b>

Ces résultats sont également présentés sous forme graphique.



La série en blanc représente la répartition des jours en fonction des niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique. La série en foncé correspond à l'impact sanitaire associé à chaque gamme de l'indicateur de pollution considéré.

- "scénario réduction des pics"

Dans ce scénario, le gain sanitaire est calculé pour une diminution des valeurs de pointes ramenées à un niveau donné, ici 110 µg/m<sup>3</sup>. Sur la période d'étude, si les valeurs supérieures à ce niveau avaient été au plus égales à 110 µg/m<sup>3</sup>, le gain sanitaire aurait été de 0,1 cas, c'est-à-dire compris entre 1 et 2 %.

1. Gain sanitaire attendu pour une réduction de tous les niveaux journaliers (> x) de pollution atmosphérique :	110	
Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
0,1	0,0	0,1

- "scénario -25 %"

Ce scénario calcule le gain sanitaire associé à une baisse de 25% des niveaux de l'indicateur de pollution sur l'ensemble de la période d'étude, soit dans le cas présent 3,8 cas, correspondant à un gain de 50%.

2.. Gain sanitaire attendu pour une réduction de 25 % du niveau moyen saisonnier observé de la pollution atmosphérique

RR (-25 %) central	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
1,008158893	3,8	1,8	5,7

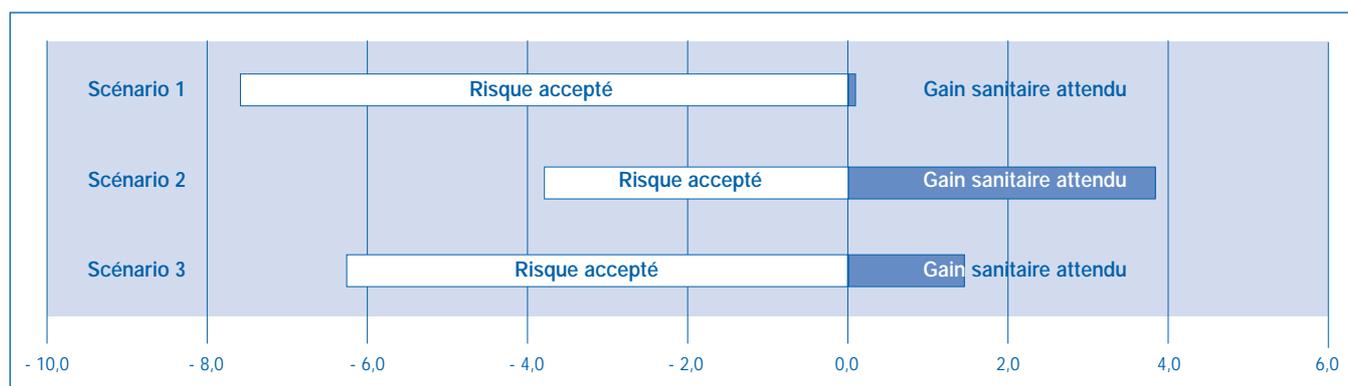
- "scénario P75/P25"

Ce scénario estime le nombre de cas qui auraient pu être évités si, au cours de la période d'étude, les 25 % de jours les plus pollués (c'est-à-dire dépassant le percentile 75) avaient été ramenés au niveau correspondant au percentile 25. Soit dans notre exemple 1,3 cas, correspondant à un gain de 17%.

3.. Gain sanitaire attendu pour une réduction des niveaux de pollution telle que les jours correspondant à un niveau supérieur ou égal à P75 soient ramenés à un niveau égal à P25.

RR (P25/P75) central	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
1,011252449	1,3	0,6	2,0

L'efficacité comparée des différents scénarii est illustrée sous forme graphique. Le gain sanitaire et, par conséquent, le risque implicitement " accepté " sont présentés sous forme d'un diagramme en barre.



Le classeur Excel est destiné à faciliter les calculs. Il peut être adapté en fonction des modalités de présentation des résultats qui seront retenues.

## IV. Interprétation des résultats, limites et intérêts

### 1. Interprétation des résultats

#### 1.1. Une vision partielle

L'EIS, telle qu'elle est proposée dans ce guide, ne porte que sur les effets sur la santé survenant à court terme. Elle permet notamment de calculer un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné, au cours d'une année. Ce calcul ne doit pas être interprété, à proprement parler, comme un excès absolu de mortalité. Le nombre de décès qui est calculé dans cette évaluation de l'impact sanitaire doit être interprété comme étant une estimation du nombre de personnes qui, au cours d'une année, ont vu leur espérance de vie diminuée d'une durée correspondant à cette anticipation [20]. Pour la mortalité cardiovasculaire, elle est actuellement estimée à au moins 2 mois [45].

En ce qui concerne la morbidité, seuls sont pris en compte les effets ayant nécessité une hospitalisation, alors que l'on peut penser que, seule, une modeste fraction de la population présentant des troubles respiratoires a recours au système hospitalier [33].

En ne prenant en compte que les effets sanitaires à court terme et les plus graves de la pollution atmosphérique, l'EIS conduit à une sous-estimation de l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique.

#### 1.2. Une aide à la décision

##### 1.2.1. Réduire la pollution atmosphérique dans sa globalité

Les impacts estimés par indicateur de pollution (les relations exposition-risque sont établies indicateur par indicateur) ne sont pas additifs dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique [22]. De plus les polluants peuvent interagir et l'effet d'un polluant (ou de la pollution dont il est le témoin) peut varier en fonction du niveau d'autres polluants.

La notion de risque attribuable doit donc s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine, facteur de risque supposé causal, approché indirectement par des indicateurs de pollution. En

effet, même si le risque attribuable à la pollution ne signifie pas en pratique, stricto sensu, risque évitable, il est légitime de penser que la réduction des émissions liées à l'ensemble des sources s'accompagnera d'une réduction globale des risques sanitaires associés.

Sous l'angle de la santé publique, une politique de réduction de risque ne peut donc être envisagée qu'à travers une approche globale, la pollution atmosphérique urbaine dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser.

##### 1.2.2. Comparer l'efficacité des stratégies de réduction des émissions

Les épisodes de pollution monopolisent souvent le débat sur la pollution atmosphérique avec *"l'idée sous-jacente que si leurs conséquences étaient maîtrisées, la question de la pollution atmosphérique serait réglée. Or il n'en est rien"* [46]. En effet, si les jours de "forte" pollution sont ceux dont l'impact sanitaire journalier est le plus important, leur faible fréquence leur fait jouer un rôle limité si l'on s'intéresse aux conséquences d'une dégradation de la qualité de l'air sur une année entière.

L'EIS permet de comparer le gain sanitaire associé à différents scénarii d'évolution ou de réduction des émissions polluantes. Il est ainsi possible de comparer l'impact d'une diminution des niveaux quotidiens de pollution atmosphérique à celui d'une suppression des pointes de pollution (cf. paragraphe présentation des résultats). En pratique, cela permet d'illustrer qu'une politique locale de gestion des risques qui ne viserait qu'à éviter les dépassements de seuils réglementaires n'aurait qu'un impact marginal en termes de bénéfices sur la santé publique (cf. exemple en annexe 5). La présentation des résultats en nombre de cas évités selon plusieurs options doit permettre une meilleure prise en compte de l'impact sanitaire dans le processus décisionnel et doit contribuer à fixer des objectifs de qualité d'air en fonction d'objectifs de santé publique.

### 2. Limites et incertitudes

#### 2.1. L'estimation de l'exposition

L'exposition est estimée au niveau de la population et non au niveau individuel. On attribue à l'ensemble des personnes séjournant sur la zone d'étude un même niveau d'exposition alors que chaque individu est, au cours d'une même journée, exposé à des niveaux de pollution variables.

Autrement dit, faute de disposer des niveaux réels d'exposition réels à la pollution atmosphérique ambiante, l'estimation de l'exposition de la population repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des valeurs enregistrées par les capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières de la population concernée.

Or, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude au cours de la journée pour des raisons professionnelles ou personnelles. Cela conduit, dans ce cas, selon les niveaux de pollution atmosphérique de la zone d'attraction, à sur ou sous estimer l'impact sanitaire. A l'inverse, la zone d'étude peut, pour les mêmes raisons, attirer une population non résidente. Cela conduit cette fois à sous-estimer l'impact sanitaire réel puisque cette population ne résidant pas dans la zone d'étude, n'est pas comptabilisée dans les données de mortalité et d'activité hospitalière alors qu'elle est exposée à la pollution atmosphérique.

Afin de caractériser le niveau moyen de pollution dans une zone donnée, les valeurs d'immissions enregistrées par des stations de mesure sont utilisées pour calculer une moyenne journalière. De ce fait, une implantation différente de capteurs aurait pu conduire à une estimation différente des indicateurs d'exposition. Cela souligne la nécessité de renforcer la collaboration avec les métrologistes des réseaux de surveillance, et de procéder à une analyse statistique fine des données de surveillance.

Enfin la pollution est estimée à partir d'indicateurs de pollution qui, s'ils peuvent avoir une toxicité propre, sont avant tout des indicateurs d'un mélange chimique complexe.

## 2.2. Les relations exposition-risque

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, on dispose de relations fondées sur des observations épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme, ni hautes doses/basses doses.

Par contre, une démarche d'EIS dans une zone donnée, nécessite de recourir à des relations établies "ailleurs" sans pour autant être assuré de la validité de cette extrapolation, les indicateurs de pollution pouvant être les traceurs d'une pollution différente. Cela peut notamment être le cas si le

parc automobile diffère (part du diesel plus importante). Cependant, l'utilisation préférentielle d'estimateurs de risques établis au niveau européen limite cet inconvénient, sauf pour la morbidité cardio-vasculaire pour laquelle il n'existe pas, pour l'instant, d'analyse combinée européenne. Les acquis récents [47] et les résultats de l'étude de neuf zones urbaines françaises [20] limitent également l'incertitude liée à l'extrapolation géographique des courbes exposition-risque. Ils ont en effet montré la cohérence des relations exposition-risque dans plusieurs villes d'Europe sur la mortalité et les admissions pour motif respiratoire [41] et en France [20] sur la mortalité.

## 2.3. Les indicateurs sanitaires

L'erreur sur le dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) est limitée par le recours à des grandes catégories de diagnostics (mortalité toute cause sauf accidentelle, hospitalisation pour toutes causes respiratoires ou cardio-vasculaires). Par contre la non prise en compte (en général) des urgences dans le PMSI conduit à sous estimer le nombre d'événements sanitaires et donc l'impact de la pollution atmosphérique sur l'activité de soins hospitaliers.

*Lors de la présentation des résultats de l'estimation de l'impact sanitaire, il est important que les hypothèses et incertitudes qui sont associées à la démarche soient clairement explicitées. Cela suppose d'adopter une grande transparence à chacune des étapes de l'EIS. Cela permettra également, par la suite, de prendre en compte de manière cohérente et éclairée de nouvelles données ou de nouvelles connaissances scientifiques, au fur et à mesure de leur acquisition.*

## 3. Intérêts

### 3.1. Un outil contributif à la gestion du risque

L'EIS offre la possibilité de présenter des résultats directement compréhensibles (nombre de cas attribuables) pour une prise de décision fondée sur la comparaison de l'efficacité, en termes de santé publique, de différentes stratégies d'amélioration de la qualité de l'air.

Elle est réalisable même si la population étudiée est peu importante, voire insuffisante pour envisager la mise en place d'une surveillance épidémiologique ou d'enquêtes épidémiologiques.

Il s'agit d'une méthode peu onéreuse (valorisation de données existantes) et –relativement- rapide (pas de collecte prospective de données).

Enfin, la nécessité de construire des indicateurs d'exposition constitue une opportunité pour étudier la pertinence, en termes de santé publique, de la configuration actuelle d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air et faire, le cas échéant, des recommandations.

### **3.2. Une démarche transparente et pédagogique**

Les résultats de l'EIS doivent être interprétés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population. Il s'agit d'une estimation réalisée sur la base des acquis scientifiques actuels et des données disponibles. Un résultat, même incertain, obtenu par une mesure d'impact fondée sur les meilleures connaissances disponibles est plus reproductible et transparent qu'un jugement subjectif fondé sur des émotions ou des suppositions arbitraires [26,27].

Il est important de garder à l'esprit que l'EIS ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets néfastes sur la santé mais à en quantifier l'impact au niveau local. En effet, la pollution atmosphérique a fait l'objet, au cours des dix dernières années, d'une abondante littérature scientifique [47] qui permet de conclure à l'existence d'effets néfastes sur la santé des populations, en particulier urbaines, même pour de faibles niveaux de pollution.

Les résultats de l'EIS sont l'illustration de ces acquis scientifiques. Leur présentation peut constituer une approche pédagogique et contribuer à la diffusion de ces connaissances au niveau local.

Enfin, la quantification des effets sanitaires de la pollution atmosphérique par une démarche d'EIS permet d'identifier les axes prioritaires de recherche à développer ainsi que les améliorations à apporter quant à la collecte des informations de base [48]. Au niveau local, l'EIS permet d'identifier les améliorations prioritaires à apporter vis à vis, en particulier, de l'estimation de l'exposition des populations.

## V. ANNEXES

### Annexe 1 : Typologie des stations de surveillance de la qualité de l'air

Les réseaux de surveillance de la qualité de l'air sont engagés dans une démarche de standardisation de leurs pratiques. Les informations suivantes sont extraites du document établi par le groupe de travail animé par l'ADEME : "Classification et critères d'implantation des stations de surveillance de la qualité de l'air, Ademe/Département Air et les associations agréées de surveillance".

Aux appellations consacrées stations " de fond " et " de proximité " se substitue désormais la typologie suivante (les définitions des entités géographiques territoriales sont basées sur les définitions de l'I.N.S.E.E. du zonage urbain).

#### 1. Les stations urbaines

L'objectif de ces stations est le suivi du niveau d'exposition moyen de la population aux phénomènes de pollution atmosphérique dite de "fond" dans les centres urbains.

Les niveaux relevés par ces stations devront être représentatifs du niveau d'exposition moyen de la population résidente de l'agglomération considérée. Les stations devront être implantées dans les communes urbaines de type villes centres ou banlieues formant le pôle urbain des aires urbaines, et installées en priorité dans les zones représentatives des maxima de densité de population.

Les sources responsables sont plutôt du type surfacique et multi-émetteurs. Les émetteurs se situent à l'intérieur de l'aire urbaine et sont les principaux facteurs de pollution atmosphérique. Les types d'émetteurs (nomenclature CITE-PA) sont les suivants :

- Résidentiel, tertiaire, commercial, institutionnel ;
- Industrie y compris traitement des déchets ;
- Agriculture et sylviculture ;
- Extraction, transformation d'énergie et distribution ;
- Transport routier ;
- Modes de transports autres que routier ;
- Autres secteurs ou indifférenciés y compris nature ;
- Émetteurs non situés sur le territoire national.

Certains secteurs peuvent avoir une influence prédominante sur le comportement de la station.

Un indicateur R peut servir à déterminer si une station est sous l'influence majeure du trafic routier à l'aide des concentrations d'oxyde d'azote. Ce seuil ainsi que la méthode de calcul pourront être révisés en fonction de l'amélioration des connaissances scientifiques. Le rapport R de la moyenne annuelle de monoxyde d'azote sur celle de dioxyde d'azote doit être inférieur à 1,5 (ces concentrations sont exprimées en partie par billion).

$$R = \text{NO}/\text{NO}_2 < 1,5$$

#### 2. Les stations périurbaines

L'objectif de ces stations est le suivi du niveau d'exposition moyen de la population à des maxima de pollution photochimique à la périphérie du centre urbain. Ces stations devront être représentatives du maximum des niveaux d'exposition moyens de la population de l'agglomération surveillée.

Elles se situent en priorité dans un tissu urbanisé appartenant toujours à l'aire urbaine mais soit dans des communes urbaines de la couronne périurbaine soit dans des communes urbaines de type banlieue du pôle urbain (à la périphérie intérieure). Il est recommandé de rechercher un site représentatif de la densité maximale de population de la zone surveillée.

Néanmoins, ce type de station doit être situé dans une zone où les conditions favorables à un épisode photochimique sont remplies et représentatives du risque individuel d'exposition des populations à des valeurs supérieures aux seuils de protection de la santé.

Le rapport R de la moyenne annuelle de monoxyde d'azote sur celle de dioxyde d'azote doit être inférieur à 1,5 (ces concentrations sont exprimées en partie par billion).

$$R = \text{NO}/\text{NO}_2 < 1,5$$

Les sources responsables sont plutôt du type surfacique et multi-émetteurs. Dans ce cas, les émetteurs peuvent être

dans la commune ou à l'extérieur de celle-ci (influence d'aires urbaines importantes). La station peut être influencée pour certains polluants par des émetteurs proches et pour d'autres par des émetteurs éloignés.

### 3. Les stations trafic

L'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations mesurées dans des zones représentatives du niveau maximum d'exposition auquel la population située en proximité d'une infrastructure routière est susceptible d'être exposée.

Ces stations peuvent être installées dans n'importe quel type de zone du territoire que ce soit dans un espace à dominante rurale ou urbaine. Elles se situent en priorité dans une zone représentative en terme de trafic et de population exposée (piétons, cyclistes, riverains, automobilistes). La catégorie d'émetteur dont l'influence doit être prédominante sur la station est le transport routier. Cette catégorie doit être représentative du niveau maximal dans la zone surveillée.

Le rapport R des moyennes annuelles en monoxyde d'azote et en dioxyde d'azote doit être supérieur à 2 (ces concentrations sont exprimées en partie par billion).

$$R = \text{NO}/\text{NO}_2 > 2$$

### 4. Les stations industrielles

L'objectif de ces stations est de fournir des informations sur les concentrations représentatives du niveau maximum de pollution induit par des phénomènes de panache ou d'accumulation en proximité d'une source industrielle.

Ce type de stations se situe en proximité ou à l'intérieur d'une zone ou d'un site industriel caractéristique en termes d'activité industrielle et de quantités de polluants émis.

Cette catégorie doit être représentative d'une ou plusieurs source(s) industrielle(s) locale(s) importante(s) (la priorité est accordée aux sources soumises à la taxe parafiscale sur la pollution atmosphérique). La station peut être sous l'influence de plusieurs émetteurs d'une même zone industrielle.

Les types d'émetteurs dont l'influence doit être prédominante sont les suivants :

- Industrie y compris traitement des déchets ;
- Extraction, transformation d'énergie et distribution.

### 5. Les stations rurales régionales

Ces stations participent à la surveillance de l'exposition des écosystèmes et de la population à la pollution atmosphérique de " fond ", notamment photochimique, dans les zones rurales. Elles participent à la surveillance de la qualité de l'air sur l'ensemble du territoire et notamment dans les zones très étendues à densité de population faible.

Ces stations se situent dans l'espace à dominante rurale et sont dans des communes rurales dont la population et l'activité économique sont faibles. Elles peuvent être sous l'influence d'émissions locales faibles et ne perturbant pas la mesure de la pollution d'origine régionale (notamment photochimique).

Cette catégorie de station doit permettre la surveillance de la pollution atmosphérique, notamment photochimique, à l'échelle régionale et notamment des panaches des zones urbaines proches. Elle participe à la surveillance des territoires dont la surface est grande et dont la densité de population est faible mais dont la population totale n'est pas négligeable.

Les niveaux doivent être représentatifs d'une région donnée (le sens du mot région étant à prendre ici au sens climatologique du terme), c'est-à-dire représentatifs des différents flux météorologiques arrivant sur une zone donnée. Les polluants concernés peuvent être d'origine naturelle ou dus aux transports sur de longues distances à l'échelle régionale.

### 6. Les stations rurales nationales

Ce sont les stations qui participent à la surveillance de fond du territoire national dans le cadre des conventions liées aux pollutions dites transfrontalières ou permettant de déterminer les niveaux de pollution de fond à l'échelle nationale dans les zones rurales.

Ces stations participent à la surveillance dans les zones rurales de la pollution atmosphérique dite de fond issue des transports de masse d'air à longue distance notamment transfrontaliers.

## 7. Les stations d'observation spécifique

Ce sont toutes les stations n'obéissant à aucun des critères des stations énumérées ci-dessus.

Les fonctions prioritaires de ces stations sont :

- 1) L'alimentation en information dans le cadre d'outils de modélisation de la pollution notamment photochimique. Ces stations peuvent être installées en fonction de besoins bien spécifiques (études épidémiologiques par exemple) ;
- 2) Les cas de configuration particulières ;
- 3) Les stations qui disposent d'un historique très important malgré un emplacement peu optimum.

## Annexe 2 : Le programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI)

Le Programme de Médicalisation du Système d'Information (PMSI), mis en place au début des années 1990 dans les établissements hospitaliers publics ou participant au service public hospitalier (PSPH), constitue, à ce jour, la seule source de données d'activité hospitalière disponibles en routine même si les objectifs initiaux de ce système ne sont pas épidémiologiques : l'enregistrement de l'activité hospitalière a pour finalité la classification des séjours en groupes homogènes de malades selon une logique économique.

Chaque unité médicale accueillant un patient au cours de son séjour hospitalier code, à la fin de son passage dans l'unité, un diagnostic principal (DP) correspondant en principe à celui qui a mobilisé le plus de ressources médicales et, le cas échéant, un ou plusieurs diagnostics associés (DA). Le diagnostic principal n'est donc pas nécessairement le diagnostic d'admission. Ce codage génère un Résumé d'Unité Médicale (RUM) qui contient, en plus du DP et des DA, le nom du patient, le code postal de résidence, sa date de naissance ainsi que la date et le mode d'entrée dans l'unité médicale. A la fin de l'hospitalisation, qui peut avoir donné lieu à des séjours dans plusieurs unités médicales, la succession des RUM constitue un Résumé de Sortie Standardisé (RSS). Ce RSS est ensuite transformé en Résumé de Sortie Anonymisé (RSA) dans lequel ne figure plus que le lieu de résidence du patient (code postal de la commune de résidence) depuis 1997, le mois de sortie, l'âge, le sexe, le nombre d'unités médicales fréquentées, la durée de séjour, le mode d'entrée (domicile, autre établissement de soins), le diagnostic principal et les diagnostics associés et si la durée d'hospitalisation est inférieure ou non à 24 heures. Ce RSA est ensuite transmis à la DRASS qui peut l'exploiter grâce à l'application TAB-RSA, développée sous le logiciel SAS.

Le diagnostic d'admission constituerait l'item le plus adapté pour caractériser les effets de la pollution atmosphérique sur l'activité hospitalière. On essaie de l'approcher au mieux en utilisant le DP du 1<sup>er</sup> RUM, disponible au Département d'Information Médicale (DIM) de l'établissement de soins. On comptabilisera ainsi le nombre de premiers RUM contenant, sur une période donnée (saison tropique) et pour les communes (\*) (codes postaux) de la zone

d'étude, un DP respiratoire ou cardio-vasculaire, pour les patients hospitalisés pendant plus de 24 heures (ce qui exclut les bilans de surveillance par exemple) en provenance de leur domicile (ce qui exclut les transferts d'autres établissements).

Pour les établissements où le passage aux urgences génère un RUM, ce qui n'est pas le cas habituellement, il est nécessaire de demander au DIM d'indiquer :

- le nombre de séjours mono-unités avec DP = I (ou J) ;
- le nombre de séjours multi-unités sans passage aux urgences et dont le 1<sup>er</sup> RUM comporte un DP = I (ou J) ;
- le nombre de séjours multi-unités avec 1<sup>er</sup> RUM établi aux urgences et 2<sup>e</sup> RUM avec un DP= I (ou J).

Dans ce cas, le nombre total de séjours est alors la somme de ces trois items.

Si l'on a recours aux données transmises à la DRASS (RSA), on retiendra, faute de mieux, le diagnostic principal des RSA des séjours mono-unités, c'est-à-dire ne comportant qu'un seul RUM.

(\*) **Attention** le code postal peut regrouper plusieurs communes dans le cas de petites communes. Il faudra alors soit les exclure, soit pondérer par le poids populationnel des communes d'intérêt par rapport au total des communes ayant le même code postal. A noter également que le PMSI n'utilise qu'un seul code postal pour toute la commune (regroupement des quartiers) pour les villes.

Des erreurs de codage informatique des informations médicales peuvent survenir, du recueil de l'information clinique initiale (pose du diagnostic) jusqu'à sa saisie informatique [49]. Une enquête menée sur la qualité des RSS dans un hôpital français en 1994 [50] estime à 40% [36%-44%] le taux d'erreur de codage du diagnostic principal et à 10 % pour les catégories majeures de diagnostics qui sont plus proches des indicateurs utilisés pour l'estimation de l'impact sanitaire (tous motifs respiratoires ou cardio-vasculaires). A noter que cette enquête a été réalisée avant la mise en place, en 1995, des contrôles de qualité interne (par le DIM) et externe (par la DRASS).

Pour le contrôle interne, le DIM doit tirer au sort 200 dossiers, les recoder (en aveugle) et observer les discordances avec le codage initial réalisé au sein des services de soins. Le contrôle externe, réalisé par la DRASS et la CRAM,

consiste en un recodage d'un échantillon des dossiers déjà vérifiés par le DIM lors du contrôle interne. Pour apprécier la fiabilité du codage au sein d'un établissement, il faut donc disposer des résultats des contrôles internes et externes. En pratique, le taux d'erreur de codage du diagnostic principal calculé par le contrôle interne est un bon estimateur de l'erreur si le contrôle externe révèle une bonne qualité du contrôle interne.

Il faut noter cependant qu'en retenant des grandes catégories de diagnostic (respiratoires ou cardio-vasculaires), le risque d'erreur est bien moindre que celui portant sur un

diagnostic principal précis. La composante principale de l'erreur provient en fait de l'absence dans le PMSI du diagnostic d'admission. Si, pour les séjours mono-unités, on peut supposer que le diagnostic principal est généralement le diagnostic d'admission, tel n'est pas le cas pour les séjours multi-unités et il est donc bien plus intéressant de disposer des informations contenues dans les premiers RUM.

A titre d'information, les effectifs des premiers RUM et des RSA correspondant aux diagnostics principaux pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires pour trois Centres

Tableau 1. Nombre estimé, à partir des diagnostics principaux (DP) des RUM et des RSA, d'admissions pour motifs respiratoires (âge > 15 ans) et cardio-vasculaire (tous âges) de patients en provenance de leur domicile, pour une hospitalisation de moins de 24 heures.

Nombre estimé d'admissions à l'hôpital de ... et pour les communes de :	DP respiratoire		DP cardio-vasculaire	
	RUM	RSA	RUM	RSA
Caen 1997	454	375	1096	768
Rennes	426 (urgences incluses)	192	1508	1298
Nantes 1997	786	691	1554	1522

## Annexe 3 : Exploitation pratique des Résumés de Sortie Anonymisés du PMSI

L'exploitation des RSA nécessite de se rapprocher du service " statistiques " de la DRASS. La procédure à suivre est décrite pour les versions 4.0 et 5.0 de TAB-RSA.

### 1. Version 4.0

- Ouvrir Excel
- Ouvrir l'application TAB-RSA
- Choisir " Tableaux statistiques "
- Choisir la base de RSA correspondant à l'établissement et l'année sélectionnée (si plusieurs années, répéter la manipulation pour chaque année ou construire une base RSA ad hoc)
- Choisir " Tris croisés "
- Requête diagnostics cardio-vasculaires (attention à respecter les majuscules pour la lettre du code diagnostic) :
  - **Restriction** : "d1 like'%' and reside='XXXXX' and RUM='01' " où XXXXX est le code postal de la commune
  - **Variable de tri en ligne** : choisir " âge " (âge de sortie, l'âge d'entrée n'étant pas une variable disponible dans le RSA)
  - **Variable de tri en colonne** : choisir " moisor " (mois de sortie, le mois d'entrée n'étant pas une variable disponible dans le RSA)
  - **Statistiques** : choisir " N " (dénombrement)
  - **Variable de tri supplémentaire** : " modent " (mode d'entrée) et " sejour24 "
  - **Format** : choisir " AGE1FMT " pour AGE (regroupe par classe d'âge)
- Exporter le résultat sous Excel
- Sauvegarder et exploiter (regrouper par classes d'âge et saison tropique) les résultats correspondant à MODENT= " 8 "(domicile) et SÉJOUR 24 = " 1 " (séjours > 24h)
- Recommencer pour chaque commune (on ne peut sélectionner plusieurs communes du fait de l'étroitesse de la fenêtre de restriction de la requête)

- Recommencer pour les diagnostics respiratoires (d1 like'J %')

### 2. Version 5.0

- Ouvrir TAB RSA 5.0
- Choisir sorties = " tableaux " (double clic)
- Base SAS : choisir base RSA régionale correspondant à la période étudiée
- Tableau SAS
- Restriction :
  - "FINESS" = 'XXXXXXXX' and RESIDE ='YYYYY' and RUM = '01' and SJR>=1 and MODENT='8' and DIAGP like '% ' (ou J%)
 où 'XXXXXXXX' est le code FINESS de l'établissement et 'YYYYY' est le code postal de la commune
- Ligne variable : "AGE"  
Format : "AGE"  
Libellé : "âge"
- Colonne variable : "MOISOR"  
libellé : "mois de sortie"
- Contenu : nombre

**Remarque** : si l'on étudie des données antérieures à 1997, pour des raisons de concordance avec la période de recueil des données environnementales (N.B : cette concordance est souhaitable mais pas nécessaire), on se heurte à une difficulté. Avant 1997 les codes postaux ne figuraient pas dans les items des RSA. La solution consiste alors à, sur une période où ces codes postaux sont renseignés correctement, déterminer la proportion de patients en provenance de la zone d'intérêt par rapport au département (code département). Le ratio pourra ensuite être utilisé pour pondérer le nombre d'hospitalisations (renseigné avant 1997) de patients en provenance du département, en supposant que ce ratio ne varie pas d'une année à l'autre.

Si une commune de la zone d'étude partage son code postal avec une autre hors zone d'étude, il faudra pondérer le nombre d'admissions en provenance de cette commune au prorata du nombre d'habitants.

## Annexe 4 : Application à l'agglomération de Caen

Cette annexe présente les différentes étapes de la démarche d'évaluation d'impact sanitaire (EIS) qui a été mise en œuvre dans l'agglomération caennaise.

L'étude a porté sur l'agglomération caennaise car la prévalence de l'exposition, par les niveaux de pollution rencontrés et par la taille de la population exposée, y est plus importante que dans d'autres zones de la région. De plus, celle-ci disposait depuis plusieurs années de mesures des polluants atmosphériques grâce à un réseau de surveillance de la qualité de l'air (ESPAC : Etude, Surveillance et prévention de la Pollution Atmosphérique sur le département du Calvados, association loi 1901 fondée en 1976).

### 1. Définition (à priori) de la zone d'étude

#### 1.1. Critères géographiques

Dans un premier temps, la zone d'étude a été délimitée en fonction du critère de continuité urbaine entre les communes. La commune d'Iffs, située au sud de Caen, a été écartée car une partie habitée de la commune était disjointe du reste de l'agglomération. Les communes de Bretteville, Fleury et Epron, bien qu'adjacentes à Caen, ont également été écartées car elles différaient de par leur densité d'urbanisation. Au total, cinq communes ont été retenues : Caen, Hérouville Saint-Clair, Mondeville, Cormelles le Royal et Saint-Germain la Blanche Herbe.

#### 1.2. Population et déplacements

En 1990, la zone d'étude regroupait une population de 153 363 habitants [43] (Tab. 1).

Tableau 1. Population de la zone d'étude [43]

Communes de la zone d'étude	Population (habitants)
Caen	112 872
Hérouville Saint-Clair	24 798
Mondeville	9 487
Cormelles-le-Royal	4 606
Saint-Germain la Blanche Herbe	1 600

Les informations concernant les déplacements domicile-travail de la population [43] montraient que 5 % environ

(18 000 personnes) de la population totale s'absentait de la zone d'étude pour aller travailler à l'extérieur de celle-ci. Cette proportion étant faible, toute la population pouvait être considérée comme exposée toute la journée à la pollution atmosphérique de la zone concernée.

#### 1.3. Sources de pollution

Dans l'unité urbaine caennaise (13 communes en plus des communes de la zone d'étude), la principale source de pollution était constituée par les émissions du trafic automobile (Tab. 2).

Tableau 2. Quantité de pollution émise sur l'unité urbaine caennaise et origine [51]

Polluants	NO <sub>x</sub>	SO <sub>2</sub>
Émissions	3 390	1 301
Origines principales en % de l'émission totale		
• Transports routiers	79,4	48,0
• Résidentiel et tertiaire	8,9	21,2
• Industrie et traitement des déchets	9,3	17,6

Les industries polluantes étaient peu nombreuses et ne contribuaient que modestement à la pollution par rapport au trafic routier. La plupart, installées à l'est de l'agglomération, n'étaient pas situées sous les vents dominants (direction sud-ouest et nord-est).

Concernant les émissions dues au trafic automobile, les voies de circulation les plus importantes étaient situées dans le centre de l'agglomération caennaise (avenue du 6 juin et rue Saint-Jean). Le périphérique, entourant le centre urbain, était la voie la plus émettrice en polluants primaires, avec un passage de 40 000 véhicules par jour (source : DDE, service voirie de la ville de Caen).

#### 1.4. Qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air sur le département du Calvados est assurée par l'ESPAC. En 1993 et 1994, la mise en place de moyens informatiques plus performants et la diminution de la pollution d'origine industrielle sur l'agglomération caennaise ont conduit à orienter la surveillance vers les polluants d'origine automobile, désormais prépondérants.

Depuis 1997, le réseau de mesure comprend 4 stations

qui sont situées sur la zone d'étude : 2 stations de fond et 2 stations de proximité. Les polluants mesurés en routine, depuis 1997, sont le NO<sub>2</sub>, le SO<sub>2</sub>, les particules en suspension (PS) PM<sub>10</sub>, l'O<sub>3</sub> et le CO (Tab. 3 et 4).

Tableau 3. Classification des stations de la zone d'étude (source : ESPAC)

Station	Type de station	Densité de population (hab./km <sup>2</sup> )	Environnement immédiat de la station	Sources de pollution	Hauteur de prélèvement	Polluants mesurés
Chemin Vert (Caen ouest)	Urbaine	> 4 000	Square	Circulation automobile	3 m	NO <sub>x</sub> , PS, O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>
Hérouville	Urbaine	- 2 500	École	Circulation automobile	2 - 2,5 m	NO <sub>x</sub> , PS,
Vaucelles (Centre ville)	Trafic	> 4 000	Centre ville	Circulation automobile	3,5 - 4 m	CO, NO <sub>x</sub>
Tour Leroy (Caen ouest)	Trafic	> 4 000	Centre ville	Circulation automobile	12 m	NO <sub>x</sub> , CO, PS, O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub>

Tableau 4. Description du réseau (source : ESPAC)

Polluant	Stations de mesure	Méthodes de mesure
NO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chemin Vert, Hérouville Saint-Clair</li> <li>Tour Leroy, Vaucelles</li> </ul>	Chimiluminescence (mesures 1/4 horaire)
PM <sub>10</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chemin Vert, Hérouville Saint-Clair</li> <li>Tour Leroy, Vaucelles</li> </ul>	Jauge β (mesures toutes les 2 heures)
O <sub>3</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chemin Vert, Hérouville Saint-Clair</li> <li>Tour Leroy, Vaucelles</li> </ul>	Photométrie UV (mesures 1/4 horaire)
SO <sub>2</sub>	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chemin Vert, Hérouville Saint-Clair</li> <li>Tour Leroy, Vaucelles</li> </ul>	Fluorescence UV (mesures 1/4 horaire)
CO	<ul style="list-style-type: none"> <li>Chemin Vert, Hérouville Saint-Clair</li> <li>Tour Leroy, Vaucelles</li> </ul>	Absorption infra-rouge (mesures 1/4 horaire)

L'existence de stations urbaines sur la zone prédéfinie doit a priori permettre d'estimer les niveaux d'exposition de la population.

### 1.5. Synthèse des critères de sélection de la zone d'étude

Dans un premier temps, la zone d'étude (5 communes) a été délimitée en fonction du critère de continuité urbaine entre les communes. Sur cette zone, les autres critères ont été vérifiés, à savoir :

- la population demeure majoritairement dans la zone ;
- la pollution semble assez homogène ;
- a priori, l'exposition de la population peut être estimée puisque 2 capteurs de fond du réseau de surveillance de la qualité de l'air sont localisés sur la zone.

## 2. Estimation de l'exposition

### 2.1. Recueil des données de qualité d'air

Les valeurs journalières validées (moyenne 8h pour l'ozone) des stations de mesure ont été fournies par l'ESPAC.

### 2.2. Définition de la période d'étude

La période d'étude a été définie en fonction de la disponibilité de données, c'est-à-dire en fonction de la date de l'installation des capteurs et l'existence de valeurs manquantes. La fin de la restructuration du réseau (mi-97), à peu près commune à tous les polluants, et le bon fonctionnement des capteurs à partir de cette date, permettent de définir la période d'étude sur deux saisons tropicales complètes, du 01/10/97 au 30/09/98.

Afin de vérifier que l'année retenue n'était pas une année particulière en terme de pollution, les paramètres météorologiques (facteurs intervenant dans la dispersion des polluants) de cette année ont été comparés à ceux des 47 années précédentes (Tab. 5).

Les paramètres météorologiques étaient du même ordre de grandeur et l'année étudiée pouvait donc être considérée comme représentative de la situation habituelle rencontrée sur la zone d'étude.

Tableau 5. Comparaison des paramètres météorologiques de l'année 97 - 98 avec ceux des années 50 - 97 (source : Météo-France)

Paramètres météorologiques	Durée moyenne de l'insolation (heure)			Nombre moyen de jours de vent fort (> 16 m/s)			Nombre moyen de jours de pluie			Température moyenne		
	an	été	hiver	an	été	hiver	an	été	hiver	an	été	hiver
Année 97 - 98	1 728	1 095	633	74	30	44	147	70	77	11,6	14,9	8,3
Années 50 - 97	1 778	1 206	572	66	23	44	123	52	71	10,6	14,2	7,0

### 2.3. Sélection des stations de mesures

L'étude a porté sur toutes les stations de la zone d'étude et a été réalisée sur la période définie précédemment.

Tableau 6. Distribution par station, NO<sub>2</sub>, µg/m<sup>3</sup>

	Type de la station	Stations urbaines		Stations de proximité automobile	
	Lieu du capteur	Chemin Vert	Hérouville	Tour Leroy	Vaucelles
Période totale	Minimum	5	5	7	8
	Percentile 25	16	18	30	28
	Médiane	24	24	38	40
	Percentile 75	35	31	49	54
	Maximum	72	70	85	104
	Moyenne*	27	26	41	42
	Écart-type	14,1	10,3	14,4	18,5
	VM**	3 %	10 %	10 %	4 %
Période estivale	Minimum	5	5	7	8
	Percentile 25	14	17	28	24
	Médiane	20	20	34	31
	Percentile 75	29	24,5	42	40
	Maximum	55	44	63	64
	Moyenne	22	21	35	33
	Écart-type	9,8	6,8	10,0	11,8
	VM	3 %	6 %	3 %	5 %
Période hivernale	Minimum	5	6	15	10
	Percentile 25	19,5	24	36	42
	Médiane	30	30	48	51,5
	Percentile 75	42	37	57	65
	Maximum	72	70	85	104
	Moyenne	32	31	47	52
	Écart-type	15,8	10,8	15,7	18,9
	VM	2 %	13 %	17 %	8 %

\* Moyenne 24 heures; \*\* VM = valeurs manquantes

### • Le dioxyde d'azote

Sur la zone d'étude, 4 stations étaient disponibles : Chemin Vert et Hérouville (stations urbaines) et Tour Leroy et Vaucelles (stations trafic).

Les distributions des deux stations urbaines étaient similaires, ainsi que les distributions des deux stations de trafic. Quelle que soit la saison, les différences entre les valeurs moyennes des stations urbaines et des stations de proximité étaient supérieures à 11  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et inférieures à 20  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ . Les niveaux élevés enregistrés à Tour Leroy et Vaucelles confirmaient que ces stations étaient très influencées par la circulation automobile (Tab. 6).

Tous les coefficients de corrélation entre les stations étaient supérieurs à 0,69 (Tab. 7).

Tableau 7. Coefficient de corrélation entre les stations (source : ESPAC)

	Chemin Vert	Hérouville	Tour Leroy	Vaucelles
Chemin Vert	1,000	0,690	0,691	0,730
Hérouville		1,000	0,783	0,701
Tour Leroy			1,000	0,813
Hérouville				1,000

Finalement, ont été retenues pour le calcul de l'indicateur d'exposition au  $\text{NO}_2$ , les stations urbaines Chemin Vert et Hérouville.

### • L'ozone

Deux stations mesuraient l'ozone dans la zone d'étude : la station urbaine Chemin Vert et la station de proximité automobile Tour Leroy.

Les distributions des valeurs enregistrées par ces deux stations étaient assez proches : les valeurs moyennes étaient de 47  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  et 51  $\mu\text{g}/\text{m}^3$  respectivement pour Chemin Vert et Tour Leroy. Le coefficient de corrélation était de 0,79. La station Tour Leroy étant directement influencée par le trafic automobile et, du fait des incertitudes concernant les réactions chimiques et la distribution géographique de l'ozone, il a semblé plus pertinent de ne retenir que la station urbaine Chemin Vert pour le calcul de l'indicateur d'exposition à l' $\text{O}_3$ .

Tableau 8. Distribution de la moyenne 8-heures  $\text{O}_3$  par station ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )

	Type de la station	Station urbaine	Station de proximité automobile
	Lieu du capteur	Chemin Vert	Tour Leroy
Période totale	Minimum	2	1
	Percentile 25	28	37,25
	Médiane	46	53,5
	Percentile 75	60	66,75
	Maximum	141	120
	Moyenne*	47	51
	Écart-type	23,3	22,1
	VM**	3 %	10 %
Période estivale	Minimum	14	14
	Percentile 25	47	51
	Médiane	58	60
	Percentile 75	72,25	74
	Maximum	141	120
	Moyenne	61	62
	Écart-type	21,1	17,5
	VM	3 %	7 %
Période hivernale	Minimum	2	1
	Percentile 25	22	23,25
	Médiane	28,5	42
	Percentile 75	42,75	57,75
	Maximum	77	86
	Moyenne	32	41
	Écart-type	15,3	21,3
	VM	2 %	4 %

\* Moyenne 24 heures; \*\* VM = valeurs manquantes

Tableau 9. Coefficient de corrélation entre les stations

	Chemin Vert	Tour Leroy
Chemin Vert	1,000	0,794
Tour Leroy		1,000

## 2.4. Ajustement de la zone d'étude

L'examen des séries journalières d'indicateurs de pollution n'a pas remis en cause le choix a priori de la zone d'étude.

## 2.5. Construction des indicateurs d'exposition

Les indicateurs d'exposition ont été construits en calculant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs sélectionnés.

Le taux de valeurs manquantes étant faible, les valeurs mesurées et validées par l'ESPAC ont été utilisées sans transformation préalable.

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition et leur distribution par gamme de concentrations sont présentées dans les tableaux 10 et 11.

Tableau 10. Distribution des indicateurs d'exposition (source ESPAC)

Indicateur d'exposition ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub>			O <sub>3</sub>		
	an	été	hiver	an	été	hiver
Saison						
Minimum	6	6	6	4	14	1
Percentile 5	11	11	12	14	30	8
Percentile 25	18	16	22	34	50	22
Médiane	25	20	30	50	59	37
Percentile 75	33	26	39	62	71	50
Percentile 95	48	34	57	85	96	66
Maximum	66	45	66	141	141	82
Moy. journal.	26	21,1	31	49	61	36
Écart-type	11,7	8,0	12,9	22,1	20,4	17,8
% VM*	0,5	0,5	0,5	50	59	37

\* VM = valeurs manquantes

## 3. Recueil des données sanitaires

### 3.1. Mortalité

Les effectifs de mortalité toutes causes sauf accidentelles (code CIM 9 < 800) ont été obtenus auprès du Service Commun n°8 de l'INSERM pour les individus domiciliés dans la zone d'étude. La mortalité moyenne annuelle (toutes causes sauf accidentelles) chez les personnes domiciliées à Caen, Hérouville, Mondeville, Cormelles, St-Germain pour la période 1993-1996, était de 498 morts pour la période hivernale et 466 morts pour la période estivale.

### 3.2. Admissions hospitalières

Les données d'admissions hospitalières ont été obtenues auprès du Département d'Information Médicale (DIM) du Centre Hospitalier Régional et Universitaire de Caen qui

Tableau 11. Distribution des indicateurs d'exposition par gamme d'exposition (source ESPAC)

Plage de concentrations ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )	NO <sub>2</sub>			O <sub>3</sub>		
	an	été	hiver	an	été	hiver
Saison						
[0-10]	125	93	32	30	1	29
[20-30]	117	58	59	35	7	28
[30-40]	65	21	44	46	12	34
[40-50]	25	2	23	59	26	33
[50-60]	12	0	12	74	50	24
[60-70]	5	0	5	53	38	15
[70-80]	0	0	0	24	22	2
[80-90]	0	0	0	17	16	1
[90-100]	0	0	0	4	4	0
[100-110]	0	0	0	4	4	0
[110-120]	0	0	0	0	0	0
[120-130]	0	0	0	2	2	0
[130-140]	0	0	0	0	0	0
[140-150]	0	0	0	1	1	0
> 150	0	0	0	0	0	0
Total (nb) Valeurs	363	182	181	359	183	176

regroupe, sur cette zone, l'ensemble des admissions dans les services de soins de court séjour [DRASS de Basse-Normandie communication personnelle]. Le nombre d'admissions hospitalières enregistrées au cours de la période est reporté dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12. Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires (J 100 à J 99 CIM 10), 1997, CHU de Caen. (Hospitalisations de plus de 24 h, de patients en provenance de la zone d'étude - Source : Département d'Information Médicale — CHU).

	15-64 ans	≤ 65 ans
Année 1997	308	319
Été tropique (avril à septembre 1997)	115	120
Hiver tropique (reconstitué)	193	199
Été tropique (avril à septembre 1997)		

Tableau 13. Nombre d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires (J 100 à J 99 CIM 10), 1997, CHU de Caen. (Hospitalisations de plus de 24 h, de patients en provenance de la zone d'étude - Source : Département d'Information Médicale — CHU).

Année 1997	1538
Été tropique (avril à septembre 1997)	779
Hiver tropique (reconstitué)	759
Été tropique (avril à septembre 1997)	

4. Calcul du nombre de cas attribuables

4.1. Utilisation de la feuille de calcul

A titre d'illustration, le calcul, réalisé à l'aide de la feuille Excel, du nombre de cas attribuables à l'ozone pour la mor-

talité anticipée estivale est présenté ci-dessous. Les estimateurs de risque (relations exposition-risque) utilisés sont ceux préconisés dans ce guide. Les paramètres d'entrée sont reproduits ci-après :

Indicateur de pollution :	O <sub>3</sub>
Saison :	été
Effet sanitaire :	mortalité

<b>Indicateur de pollution (µg/m<sup>3</sup>)</b>	
Percentile 5 =	30
Percentile 25 =	50
Percentile 50 =	59
Percentile 75 =	71
Moyenne =	61

<b>Nombre moyen journalier de cas observés</b>	<b>nombre total de cas observés</b>	
2,56	468	
<b>Durée (jours) de la période d'étude</b>	<b>nombre total de cas observés</b>	
183	468	
<b>Risque relatif (pour un delta de 50 µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>nombre total de cas observés</b>	
central	inférieur	supérieur
1,027	468	1,041

Évaluation de l'impact sanitaire associé aux niveaux journaliers de pollution atmosphérique pour un niveau de base donné = 30 µg/m<sup>3</sup>

<b>Indicateur de pollution (c:µg/m<sup>3</sup>)</b>	<b>Nb de jours à pollution c</b>
0,5	0
1,5	0
2,5	0
3,5	0
4,5	0

**Scénarii :**

- 1. Gain sanitaire attendu pour une réduction de tous les niveaux journaliers (> x) de pollution atmosphérique observés à un niveau donné x ((x > = niveau de base) : 110
- 2. Gain sanitaire attendu pour une réduction de 25 % du niveau moyen saisonnier observé de la pollution atmosphérique
- 3. Gain sanitaire attendu pour une réduction des niveaux de pollution telle que les jours correspondant à un niveau supérieur ou égal à P75 soient ramenés à un niveau égal à P25.

**4.2. Expression des résultats**

• **Impact " total "**

L'impact actuel de la pollution atmosphérique, estimé par rapport à une situation théorique sans pollution (niveaux de

pollution égaux au percentile 5 - soit un niveau de base de 30 mg/m<sup>3</sup>) est de l'ordre de 8 (4 -12) décès anticipés pour une saison.

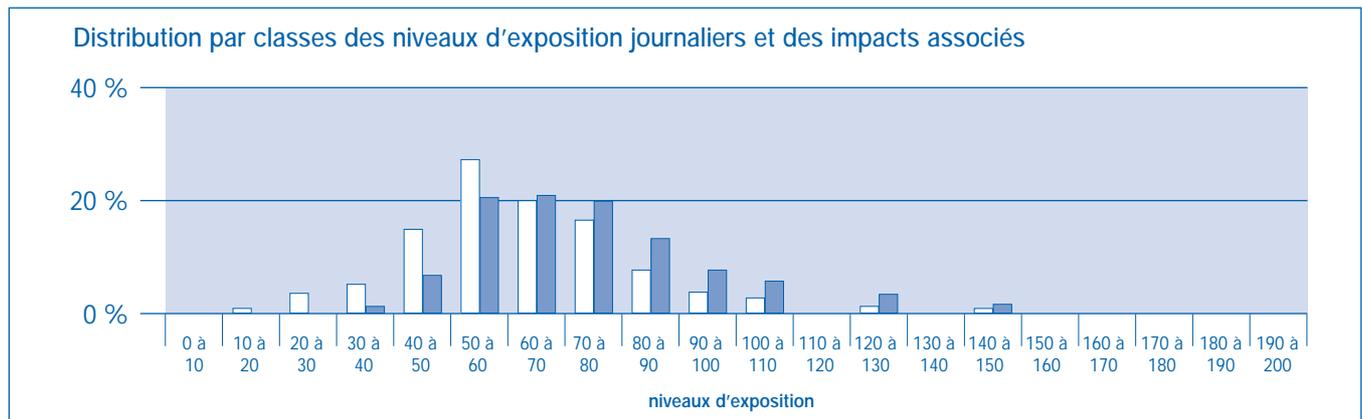
Impact total par rapport au niveau de base :	Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
	7,6	3,7	11,5

• **Impact lié aux dépassements réglementaires**

Si les jours de forte pollution sont ceux pour lesquels l'impact sur la mortalité est le plus élevé, leur faible

fréquence limite leur impact sur une longue période comme une saison, ainsi que l'illustre la figure 1. On observe que les niveaux supérieurs à 110 µg/m<sup>3</sup> ne sont responsables que

Figure 1.



de 5% de l'impact total.

1. Gain sanitaire attendu pour une réduction de tous les niveaux journaliers (> x) de pollution atmosphérique :	110	
Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
0,1	0,0	0,1

- Suppression des " pics " de pollution (Scénario 1 avec x = 110)

• **Evaluations " opérationnelles "**

Si les niveaux de pollution par l'ozone n'avaient pas dépassé 110 µg/m<sup>3</sup>, le gain sanitaire, au cours de la période estivale,

2.. Gain sanitaire attendu pour une réduction de 25 % du niveau moyen saisonnier observé de la pollution atmosphérique					
RR (-25 %) central	Estimation centrale	RR (-25 %) inférieur	Estimation basse	RR (-25 %) supérieur	Estimation haute
1,008158893	3,8	1,003947219	1,8	1,012330852	5,7

aurait été de 0,1 soit de l'ordre du pour cent.

• Réduction de 25% de la pollution (scénario 2)

Si pour chaque jour de la même période d'étude, les

niveaux avaient été diminués de 25 %, la mortalité anticipée attribuable à la pollution atmosphérique aurait été réduite

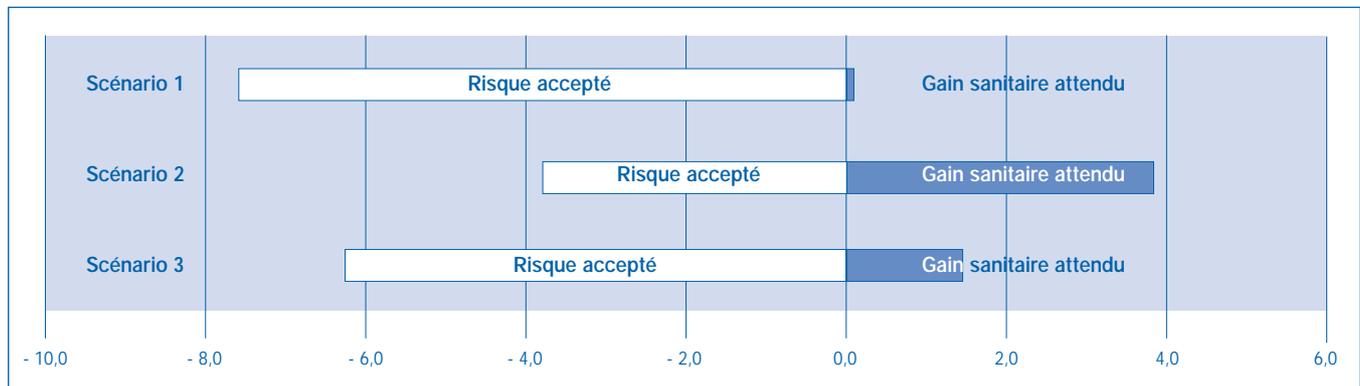
3.. Gain sanitaire attendu pour une réduction de 25 % du niveau moyen saisonnier observé de la pollution atmosphérique					
RR (P25/P75) central	Estimation centrale	RR (P25/P75) inférieur	Estimation basse	RR (P25/P75) supérieur	Estimation haute
1,011252449	1,3	1,005439556	0,6	1,017019562	2,0

de 50 %.

• P75/P25 (scénario 3)

Si au cours de la période d'étude les niveaux de pollution des 25 % de jours les plus pollués avaient été ceux des 25 %

Figure 2. Efficacité des différents scénarii



de jours les moins pollués, la mortalité anticipée attribuable à la pollution atmosphérique aurait été réduite de 17 %.

L'EIS est réalisée pour chaque indicateur de pollution atmosphérique. Au final, l'impact de la pollution atmosphérique retenu est celui correspondant à l'indicateur de pollu-

tion associé au plus grand nombre de cas attribuables (pour Caen, l'ozone en période estivale).

Seules les principales étapes de l'EIS menées à Caen ont été présentées dans cette annexe. Pour une présentation plus détaillée et pour la discussion des résultats, on

## VI. Bibliographie

1. Schlessinger RB. Toxicological evidence for health effects from inhaled particulate pollution: does it support the human experience ? *Inhalation Toxicology* 1995;7:99-109.
2. Schwartz J. Particulate air pollution and daily mortality: a synthesis. *Public Health Review* 1991/92;19:39-60.
3. Utell MJ, Samet J. Particulate air pollution and health. *American Review of Respiratory Diseases* 1993;147:1334-1335.
4. Schenker M. Air pollution and mortality. *New England Journal of Medicine* 1993;329:1807-1808.
5. Dockery DW, Pope III CA. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review Public Health* 1994;15:107-132.
6. Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and metaanalysis. *Environmental Research* 1994;64:36-52.
7. Pope III AC, Dockery DW, Schwartz J. Review of epidemiological evidence of health effects of particulate air pollution. *Inhalation Toxicology* 1995;7:1-18.
8. American Thoracic Society. Health effects of outdoor air pollution. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1996;153:3-50.
9. Bates DV. Particulate air pollution. *Thorax* 1996;51:S3-S8.
10. Thurston GD. A critical review of PM10 mortality time-series studies. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology* 1996;6:3-21.
11. Wilson R, Spengler R. Particles in our air: concentrations and health effects. *Harvard University Press*, 1996.
12. Hill AB. The environment and disease: association or causation ? *Proceedings of the Royal Society of Medicine* 1965;58:295-300.
13. Traven ND, Talbott EO, Ishii EK. Association and causation in environmental epidemiology. *Environmental Epidemiology* 1991;39-46.
14. Weed DL. On the use of causal criteria. *International Journal of Epidemiology* 1997;26:1137-1141.
15. Lipfert FW, Wyzga RE. Air pollution and mortality: Issues and uncertainties. *Journal of Air and Waste Management Association* 1995;45:949-966.
16. Ostro B. The association of air pollution and mortality: examining the case for inference. *Archives of Environmental Health* 1993;48:336-342.
17. Pope III AC, Bates DV, Raizenne ME. Health effects of particulate air pollution: time for reassessment ? *Environmental Health Perspectives* 1995:472-496.
18. Vedal S. Ambient particles and health: lines that divide. *Journal of Air and Waste Management Association* 1997;47:551-581.
19. Bates DV. Adverse health impacts of pollution-continuing problems. *Scandinavian Journal of Work, Environment and Health* 1995;21:405-411.
20. Institut de Veille Sanitaire. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. *Institut de Veille Sanitaire. Saint-Maurice, mars 1999;148 pages.*
21. Quénel P., Le Goaster C., Cassadou C., Eilstein D., Filleul L., Pascal L., Prouvost H., Saviuc P., Zeghnoun A., Le Tertre A., Medina S, Jouan M. 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* 1997;156:88-95.
22. Réseau National de Santé Publique. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque pour les plans régionaux de la qualité de l'air. *Réseau National de Santé Publique, Saint-Maurice, juin 1998;16 pages.*
23. Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal Officiel de la République Française 1er janvier 1997.*
24. Décret n° 98-362 du 6 mai 1998 relatif aux plans régionaux de la qualité de l'air. *Journal Officiel de la République Française 13 mai 1998.*
25. Direction Générale de la Santé (DGS). Circulaire DGS/VS3/n°98/189 du 24 mars 1998 relative aux aspects sanitaires des plans régionaux de la qualité de l'air. *Ministère de l'Emploi et de la Solidarité 24 mars 1998.*
26. Krzyzanowski M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. *Occupation Environmental Medicine* 1997;54:145-151.
27. Goldstein BD. The need to restore the public health base for environmental control. *American Journal of Public Health* 1995;85:481-3.
28. IEH 1997. Health effects of ozone and nitrogen oxides in an integrated assessment of air pollution. *UNECE CLRTAP, WHO-ECEH, Institute for Environment and Health, Leicester 1997.*
29. NILU 1997. Quantification of health effects related to SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub>, O<sub>3</sub> and particulate matter exposure. Report from the Nordic Expert Meeting, Oslo 15-17 October 1995. (eds. Clench-Aas J, Krzyzanowski M.). *Nilu, Norwegian Institute for Air Research, Kjeller, Norway OR 63/96 and WHO-ECEH Bilthoven 94 04/DT01, 1996.*
30. WHO Strategies of ambient air quality monitoring for health impact assessment. *WHO Regional Publications, European Series, WHO Regional Office for Europe, Copenhagen 1999 (in press).*
31. Quénel P. et al. Synthèse des résultats de l'étude APHEA. *Bulletin Épidémiologique Hebdomadaire* 1998;2.

32. Quénel P. 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.
33. Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé Publique de Grenoble. Evaluation du risque lié à la qualité de l'air dans la région Rhône-Alpes. *Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé Publique de Grenoble, septembre 1998;30 pages et annexes.*
34. Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération caennaise. *CIREI-Ouest. Rennes, avril 1999;39 pages.*
35. Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération rennaise. *CIREI-Ouest. Rennes, avril 1999;36 pages.*
36. Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération nantaise. *CIREI-Ouest. Rennes, à paraître.*
37. CSHPF L'ozone, indicateur de la pollution photochimique en France : évaluation et gestion du risque pour la santé. *Conseil Supérieur d'Hygiène Publique de France. Lavoisier, Paris, 1996;164 pages.*
38. SFSP La pollution atmosphérique d'origine automobile et la santé publique : bilan de 15 ans de recherche internationale. *Société Française de Santé Publique. Collection Santé et Société 1996;4:251 pages et annexes.*
39. Zmirou D. et Al. Meta-analyse et fonctions dose-réponse des effets respiratoires de la pollution atmosphérique. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 1997;45:293-304.
40. Medina S. et al. ERPURS : Analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique et santé. Résultats 1991-1995. *Rapport d'étude de l'Observatoire Régional de Santé d'Ile de France. Paris, 1997.*
41. Spix C. et al. Short term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe : a quantitative summary of APHEA study results. *Archives of Environmental Health* 1998;53:53-64.
42. Poloniecki et al. Daily times series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occupational Environmental Medicine* 1997;54:535-540.
43. Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques (INSEE), Recensement général de la population 1990.
44. Isnard H. La base régionale en santé publique. *Echanges santé-social* 1998;88-89,117-119.
45. Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in relationship between air pollution and mortality. *American Journal of Epidemiology*, 1999;in press.
46. Dab W. et al. Les effets sanitaires de pics de pollution hivernaux. Extrapol 12. *Pollution atmosphérique* 1998; 156I-III.
47. Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and meta analysis. *Environmental Research* 1994;64:36-52.
48. Dab W. Evaluation des risques sanitaires liés à l'environnement et décision en santé publique. Volume 1. *Ecole Nationale de la Santé Publique. Rennes 1994.*
49. Lombrail et al. Programme de médicalisation des systèmes d'information et épidémiologie : une liaison qui ne va pas de soi. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 1994; 42:334-344.
50. Vergnon P. et al. Evaluation de la qualité de l'information médicale des Résumés de Sortie Standardisés. *Revue d'Epidémiologie et de Santé Publique* 1998;46:24-33.
51. Fontelle J-P., Chang J-P., Audoux N., Levy C., Rivière E. Inventaires d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air. Région Basse Normandie. *CITEPA octobre 1997.*