

ENSP
ÉCOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE

RENNES

Ingénieur du Génie Sanitaire

Promotion : 2002-2003

**Présentation graphique de l'impact de la
pollution atmosphérique urbaine
et de ses incertitudes**

Présenté par :

Florence MONROUX

3^{ème} année de l'E.N.T.P.E

Lieu du stage : ENSP

Accompagnant professionnel :

Philippe GLORENNEC

Référent pédagogique :

Philippe GLORENNEC

REMERCIEMENTS

Ce mémoire est le résultat d'un stage réalisé pendant une période de 4 mois au sein du département EGERIES de l'Ecole Nationale de la Santé Publique.

Ce stage s'est déroulé dans le cadre de la formation ingénieur du Génie Sanitaire de l'Ecole Nationale de la Santé Publique, en tant que validation de la 3^{ème} année de l'Ecole Nationale des Travaux Publics de l'Etat.

J'aimerais remercier :

☞ M Philippe GLORENNEC, Ingénieur du Génie Sanitaire, dont la collaboration et l'orientation ont permis la réalisation de ce travail,

☞ Mme Catherine BOUTET, Ingénieur du Génie Sanitaire, pour son aide précieuse lors de la collecte des données de santé,

☞ M Jean-Paul GOGUET, Ingénieur du réseau de surveillance de la qualité de l'air en Basse Normandie, pour sa disponibilité et les précisions qu'il m'a transmises sur le réseau de mesure de la ville de Caen,

☞ Mme Séverine Frère, Chargée d'Etudes APPA Nord-Pas de Calais, qui, par son accueil chaleureux, a permis des contacts et la collecte de nombreux éléments bibliographiques,

RESUME

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 doivent s'appuyer sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé afin de fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air fondés sur des critères objectifs de santé publique.

Les résultats d'une évaluation d'impact sanitaire ne sont pas communicables au grand public et aux décideurs sans un effort de la part des scientifiques en ce qui concerne la simplification de l'information à communiquer. Or, les français éprouvent le besoin d'être plus informé sur les effets de la pollution de l'air. Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique sont reconnus comme potentiellement dangereux par la population. Toutefois, cette perception varie suivant les caractéristiques individuelles de chacun

Une des voies de communication envisageables est la présentation graphique des résultats. Le principal objectif de ce travail exploratoire est de déterminer les présentations graphiques pouvant le mieux retranscrire les informations fournies par les EIS et être comprises par différents acteurs. Afin d'élaborer des graphiques, une évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique urbaine fut réalisée sur la ville de Caen. Les graphiques présentés sont de type conventionnel issus des logiciels Excel ou @Risk : diagramme à bâtons, histogramme, courbe de probabilité cumulée, etc. Ces derniers présentent les incertitudes de l'impact de la pollution atmosphérique, les conséquences sanitaires de différents scénarios de lutte contre la pollution atmosphérique et la comparaison des conséquences sanitaires à court et long terme.

Une enquête menée auprès de différents interlocuteurs sélectionnés selon leur activité professionnelle (décideurs, relayeur de l'information, grand public,...) permet de recueillir les avis des personnes interviewées. L'enquête se déroula sur une période de 6 semaines, 41 personnes furent interviewées. Les entretiens d'une durée minimale de 30 minutes ont eu lieu sur rendez-vous ou par contact.

Les résultats obtenus révèlent que l'activité professionnelle et le niveau de formation constituent des variables explicatrices des choix des personnes interviewées. La communication des incertitudes de l'impact de la pollution atmosphérique intéresse la population. Le compromis devant être atteint serait donc de présenter la variation du nombre de cas liée à l'incertitude sans utiliser la notion de probabilité et sans entrer dans le détail de la méthode de l'EIS. La présentation des effets sanitaires dus à une exposition chronique est indispensable, dans la mesure où elle va à l'encontre du message développé principalement à ce jour par les médias. Enfin, l'explication des effets sur la santé potentiels à long terme est une information reconnue comme intéressante par l'ensemble de la population interviewée. Les nombreux commentaires récoltés ont permis l'élaboration de nouvelles présentations graphiques. Toutefois, les limites d'interprétation de cette enquête sont dues à la non-représentativité et la faible taille de l'échantillon mais aussi au mode d'enquête.

L'impact important de la pollution atmosphérique est dû au fait que la population entière y est exposée. Toutefois, la sensibilisation de la population semble pouvoir se faire en utilisant un message soulignant l'impact individuel ou jouant sur la fibre sensible des enfants. Il reste donc à la charge des scientifiques un travail important d'adaptation du message aux différents interlocuteurs.

ABSTRACT

Graphic communication of air pollution effects and their uncertainties

The presentation of results of Health Impact Assessment (HIA) is an integral part of risk communication. Risk communication is defined as the exchange of information about health or environmental risks among risk assessors and managers, the general public, news media and other interest groups. Effective communication requires proper training and experience in translating scientific data into clear, accurate, and understandable language. One way of communication could be graphical one. On an other hand, French people feel misinformed about air pollution effects.

The main goal of this work is to propose suitable graphs for end users (decision makers, environmental health professionals and citizens) of HIA.

To reach this aim, the work includes a survey based on interviews of different actors selected according to their occupation. The survey is composed by graphs explaining uncertainties of air pollution effects, consequences of different possible scenarios of exposition to air pollution and the comparison of long term and short term health effects. An HIA with long-term effects has been conducted in the city of CAEN. This is the database for graphs presentations. The different graph constructions used are standard : bar chart, histogram, cumulative probability curve, etc. They are constructed with Excel and @Risk application programs.

The survey is based on 41 interviews and lasted 6 weeks. The results confirm that occupation and educational standard have an influence on the choice of graphs. People think that communication about uncertainties, health effects of chronic exposure and long term effects is necessary. Interviewed people make a lot of commentaries which allowed us to make new suggestion of graphic presentations.

SOMMAIRE

<u>LISTE DES SIGLES UTILISÉS</u>	1
<u>INTRODUCTION</u>	1
<u>I – LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE : LA PERCEPTION PAR LA POPULATION, LES INCERTITUDES LIÉES À L’ÉVALUATION D’IMPACT SANITAIRE ET LA COMMUNICATION GRAPHIQUE</u>	2
<u>1 LA PERCEPTION DE LA POLLUTION</u>	2
<u>1.1 Quels sont les dommages perçus ?</u>	2
<u>1.2 Les facteurs psychosociaux influant la perception de la pollution atmosphérique</u>	3
<u>1.3 Un sentiment de désinformation</u>	5
<u>2 LES INCERTITUDES LIÉES À L’EIS</u>	6
<u>2.1 Définition de l’incertitude</u>	6
<u>2.2 Les incertitudes liées aux EIS</u>	6
<u>2.3 Les incertitudes liées aux EIS de la pollution atmosphérique urbaine</u>	7
<u>2.3.1 La démarche de l’EIS</u>	7
<u>2.3.2 Analyse des incertitudes</u>	8
<u>2.4 La prise en compte des incertitudes</u>	11
<u>3 LA COMMUNICATION GRAPHIQUE</u>	12
<u>3.1 Des présentations graphiques adaptées à un message</u>	12
<u>3.1.1 Les diagrammes à bâtons</u>	14
<u>3.1.2 Les camemberts</u>	14
<u>3.1.3 Les histogrammes</u>	15
<u>3.1.4 Les box plot</u>	15
<u>3.1.5 Le cas particulier de la présentation des incertitudes</u>	15
<u>3.2 Les présentations rencontrées dans la littérature</u>	15
<u>II – LES OBJECTIFS ET DÉMARCHES DU MÉMOIRE : PROPOSER DES PRÉSENTATIONS GRAPHIQUES ADAPTÉES</u>	17
<u>III - MATÉRIEL ET MÉTHODE : ELABORATION DE L’ENQUÊTE</u>	19
<u>1 SUPPORT DE L’ENQUETE : EVALUATION D’IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE URBAINE SUR LA VILLE DE CAEN</u>	19
<u>1.1 La zone géographique et la population étudiées</u>	19
<u>1.2 La période de l’étude concernée par l’EIS</u>	20
<u>1.3 Les données</u>	20
<u>1.3.1 Les données d’exposition</u>	20
<u>1.3.2 Les données sanitaires</u>	21
<u>1.4 Les relations exposition-risque</u>	22
<u>1.4.1 Fonctions exposition/risque court terme</u>	22
<u>1.4.2 Fonctions exposition/risque long terme</u>	22
<u>1.5 Les résultats obtenus</u>	22
<u>2 MATIÈRE DE L’ÉTUDE : LES PRÉSENTATIONS GRAPHIQUES</u>	23
<u>2.1 Les indicateurs retenus pour l’élaboration des présentations graphiques</u>	23
<u>2.1.1 Indicateurs d’exposition</u>	23
<u>2.1.2 Indicateurs sanitaires</u>	23
<u>2.2 Les incertitudes retenues pour l’élaboration des présentations graphiques</u>	24
<u>2.2.1 L’incertitude de la relation exposition-risque</u>	24

2.2.2	Les erreurs de classement du PMSI	24
2.2.3	La méthode de construction de l'indicateur d'exposition : la moyenne arithmétique	25
2.3	Les présentations graphiques retenues	25
2.3.1	La présentation des incertitudes	26
2.3.2	La présentation des différents scénarios d'exposition	29
2.3.3	La présentation des conséquences sanitaires sur le court terme et le long terme	30
3	L'ENQUÊTE	31
3.1	La grille d'entretien	31
3.1.1	Elaboration de la grille d'entretien	31
3.1.2	Le contenu de la grille d'entretien	32
3.1.3	L'exploitation des réponses	32
3.2	Echantillonnage des personnes interviewées	33
3.2.1	Un échantillonnage non représentatif	33
3.2.2	Modalités de contact	33
	IV – RÉSULTATS	34
1	DESCRIPTION DE L'ÉCHANTILLON	34
1.1	Répartition par activité professionnelle	34
1.2	Répartition par niveau de formation	34
1.3	Répartition par type de formation	35
2	LA PRÉSENTATION DES INCERTITUDES	35
2.1	Type de graphique choisi	35
2.1.1	Influence de l'activité professionnelle	35
2.1.2	Influence du niveau de formation	36
2.1.3	Influence des connaissances techniques des personnes interrogées	36
2.1.4	Influence du type de formation suivie	37
2.2	Graphique choisi	37
2.2.1	Influence de l'activité professionnelle	37
2.2.2	Influence du niveau de formation	37
2.2.3	Influence des connaissances de la population	38
2.2.4	Influence du type de formation suivi	38
3	LA PRÉSENTATION DES DIFFÉRENTS SCÉNARIOS D'EXPOSITION À LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE	38
3.1	Graphique le plus clair	39
3.1.1	Influence de l'activité professionnelle	39
3.1.2	Influence du niveau de formation	39
3.1.3	Influence de l'état de connaissance	39
3.1.4	Influence du type de formation	40
3.2	Graphique le moins clair	40
3.2.1	Influence de l'activité professionnelle	40
3.2.2	Influence du niveau de formation	41
3.2.3	Influence de l'état des connaissances des personnes interrogées	41
3.2.4	Influence du type de formation	41
3.2.5	Compréhension du message	41
4	LA PRÉSENTATION DES SCÉNARIOS DE GESTION SUR LE COURT TERME OU LE LONG TERME	41
4.1	Graphique le plus clair	41
4.1.1	Influence de l'activité professionnelle	42
4.1.2	Influence du niveau de formation	42
4.1.3	Influence de l'état de connaissance de la population interrogée	42
4.1.4	Influence du type de formation	43
5	RÉSUMÉ DES RÉSULTATS DE L'ENQUÊTE	43

<u>V – DISCUSSION - PROPOSITION</u>	44
<u>1 DISCUSSION DES RÉSULTATS</u>	44
<u>1.1 La communication des incertitudes liées au modèle</u>	44
1.1.1 <u>La communication des incertitudes : une information jugée nécessaire</u>	44
1.1.2 <u>Les probabilités semblent rendre l’information sur les incertitudes inaccessible à une partie de la population</u>	44
1.1.3 <u>Une indispensable adaptation des données présentées</u>	44
1.1.4 <u>La communication écrite semble être indispensable pour la communication sur les incertitudes</u>	45
<u>1.2 La communication sur les conséquences sanitaires des différents scénarios de lutte contre la pollution</u>	45
1.2.1 <u>La communication sur les effets de l’exposition chronique pour combattre les idées reçues</u> 45	
1.2.2 <u>L’enjeu décisionnel oriente le choix du graphique présentant la gestion et les conséquences de différents scénarios d’exposition</u>	46
1.2.3 <u>Les habitudes de présentation condamne la comparaison d’aires</u>	46
1.2.4 <u>Les commentaires généraux en vue de l’amélioration des présentations</u>	46
<u>1.3 La communication sur les différentes conséquences sanitaires sur le court terme et le long terme</u>	47
1.3.1 <u>La pertinence de la communication graphique sur les conséquences sanitaires sur le court terme et le long terme ne paraît pas établie</u>	47
1.3.2 <u>La communication écrite semble être plus adaptée que les graphiques</u>	47
<u>2 LES LIMITES DE L’ENQUÊTE</u>	48
<u>2.1 Un échantillon petit et non représentatif</u>	48
<u>2.2 Une enquête non conventionnelle</u>	48
<u>3 PROPOSITIONS : UNE ENQUÊTE SUR DE NOUVEAUX GRAPHIQUES</u>	48
<u>3.1 Planche 1 : la communication des incertitudes</u>	48
<u>3.2 Planche 2 : la communication sur les différents scénarios d’exposition</u>	49
<u>3.3 Planche 3 : la communication sur les conséquences à court terme et à long terme</u>	49
<u>VI - CONCLUSION</u>	51
<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	53
<u>ANNEXE 1 : EVALUATION D’IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE URBAINE SUR LA VILLE DE CAEN, AOÛT 2003</u>	57
<u>ANNEXE 2 : PLANCHES DE GRAPHIQUES UTILISÉES COMME SUPPORT DE L’ENQUÊTE</u>	97
<u>ANNEXE 3 : LE QUESTIONNAIRE D’ENTRETIEN</u>	103
<u>ANNEXE 4 : LISTING DES RÉPONSES AUX QUESTIONS OUVERTES</u>	107
<u>ANNEXE 5 : BASE DE DONNÉES PRÉSENTANT LES RÉSULTATS DE L’ENQUÊTE</u>	113
<u>ANNEXE 6 : PLANCHES DE GRAPHIQUES PROPOSÉES À L’ISSUE DE L’ENQUÊTE</u>	117

LISTE DES SIGLES UTILISES

ACS	American Cancer Society
AIRNET	A Thematic Network on Air Pollution and Health (conference)
APHEIS	Air Pollution and Health : a European Information System
BRGM	Bureau de Recherches Géologiques et Minières
CREDOC	Centre de Recherche pour l'Etude et l'Observation des Conditions de vie
DGS	Direction Générale de la Santé
DIM	Département Informations Médicales
EIS	Evaluation d'Impact Sanitaire
ERPURS	Evaluation des Risques de la Pollution URbaine sur la Santé
IC 95 %	Intervalle de Confiance à 95 %
IFEN	Institut Français de l'Environnement
INSEE	Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques
InVS	Institut de Veille Sanitaire
ISO	International Organization for Standardization
LAURE	Loi sur l'Air et l'Utilisation Rationnelle de l'Energie
MATE	Ministère de l'Aménagement du Territoire et de l'Environnement
NO ₂	Dioxyde d'azote
O ₃	Ozone
PM10	Particules de matière de diamètre apparent inférieur ou égal à 10 µm
PMSI	Programme de Médicalisation du Système d'Information
PRQA	Plan Régional pour la Qualité de l'Air
PSAS-9	Programme de surveillance Air et Santé 9 villes.
RR	Risque Relatif
RUM	Résumé Unité Médicale

INTRODUCTION

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 et dont les modalités de mise en oeuvre sont précisées par le décret du 6 mai 1998 (Décret n°98-362. J.O. 13 mai 1998) et dans la circulaire de la Direction Générale de la Santé du 24 mars 1998 (DGS/VS3/n°98/189) ont pour objet de fixer les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. Ils doivent s'appuyer, entre autre, sur **une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé**.

Outre l'obligation réglementaire des PRQA, une évaluation d'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique constitue un outil opérationnel de gestion du risque 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 [1]. Une EIS permet également de fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air fondés sur des critères objectifs de santé publique.

La démarche de quantification de l'impact sanitaire présente 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 [1].

Toutefois, la méthode d'évaluation d'impact sanitaire étant un modèle scientifique, les résultats obtenus ne sont pas communicables au grand public et aux décideurs sans un effort de la part des scientifiques en ce qui concerne l'information à communiquer. Une des voies de communication envisageables est la présentation graphique des résultats.

A ce jour, la prise en compte des incertitudes est devenue une étape incontournable de l'évaluation des risques tout comme la communication de celle-ci dans un souci de clarté et de transparence [2].

Ce travail constitue une recherche exploratoire permettant de déterminer les présentations graphiques pouvant le mieux retranscrire les informations fournies par les EIS et être comprises par différents acteurs. Il est fondé sur une enquête auprès de différents interlocuteurs ces derniers ayant été sélectionnés selon leur activité professionnelle. Tout d'abord, une présentation du contexte et de l'état des connaissances (la perception de la pollution atmosphérique par la population, incertitudes liées à la méthode d'évaluation d'impact sanitaire, différents types de présentation graphique) sera faite. Cette première étape est indispensable pour élaborer le support même de ce mémoire, c'est à dire une enquête reposant sur le choix de différentes présentations graphiques. Puis, la méthode et le matériel nécessaire à réalisation de l'enquête seront exposés. Enfin, après une présentation et une discussion des résultats, des propositions seront formulées.

I – LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE : LA PERCEPTION PAR LA POPULATION, LES INCERTITUDES LIEES A L'EVALUATION D'IMPACT SANITAIRE ET LA COMMUNICATION GRAPHIQUE

1 LA PERCEPTION DE LA POLLUTION

La perception de la pollution de l'air en général, et de celle due aux moyens de transport en particulier, a été abordée maintes fois en France depuis une dizaine d'années dans les enquêtes d'opinion. Les grandes thématiques couvertes portent plus précisément sur la pollution de l'air en tant que préoccupation environnementale, mais aussi en tant que risque pour la santé de la population. Elles concernent également la connaissance et les informations en matière de pollution de l'air ainsi que les actions (individuelles et collectives) en faveur d'une amélioration de la qualité de l'air. Une grande partie des principaux résultats de ces enquêtes a été rassemblée récemment par l'IFEN dans un document de synthèse sur la sensibilité écologique des Français (Ifen, 2000).

De nombreuses recherches se sont intéressées à la perception du risque sur la santé en général. Néanmoins, peu se sont attachées spécifiquement au risque lié à la pollution atmosphérique. De nombreuses observations conduites sur le risque nucléaire et l'environnement montrent que les personnes ont tendance à minimiser la portée des informations reçues et à dénier le bien-fondé des arguments. Face à des informations qui évoquent seulement des probabilités de risque, les personnes ne se sentent pas personnellement impliquées comme si le risque ne concernait que les autres [3]. La présence du risque ne suffit pas à sa reconnaissance. Dans la plupart des cas, la reconnaissance de l'existence du risque a lieu lorsqu'il est explicitement mentionné [4].

1.1 Quels sont les dommages perçus ?

Selon différentes enquêtes relatives à la qualité du cadre de vie et à la perception des nuisances [5, 6], 54 % des Français considèrent la pollution atmosphérique comme un problème majeur d'environnement devant la pollution de l'eau et le respect de la nature.

L'enquête INED 1992 traitée par le CREDOC en 1998 [7] relative aux craintes des répercussions des pollutions sur la santé révèle que 65 % des français interrogés estiment que les dégradations de la santé ayant pour cause la pollution de l'air peuvent être tout à fait graves.

Ainsi, les effets perçus de la pollution de l'air sont en priorité ceux sur la santé. En 1997, 72 % des Français estiment que la pollution de l'air peut présenter des risques importants pour la santé des gens. Ce taux a toujours dépassé 69 % depuis cette date (Hatchuel, Ortalda, 2000). En 1997, 16 % des Français disent qu'ils ont rencontré des difficultés respiratoires ayant, selon eux, pour origine la pollution de l'air. Cette proportion est plus importante dans les grandes villes (34 % à Paris). Une étude menée sur la ville d'Amiens en 1999 révèle que $\frac{3}{4}$ des personnes interrogées considèrent que la pollution de l'air peut provoquer des cancers et $\frac{1}{4}$ des troubles respiratoires graves (Lagrange et al., 2000). Cependant seulement 14 % des personnes interrogées considèrent que la pollution de l'air constitue un danger très important pour leur santé personnelle. Il y a donc un décalage entre la préoccupation générale à l'égard de la pollution atmosphérique et l'inquiétude pour soi.

La pollution atmosphérique est aussi perçue comme une des menaces les plus importantes pour la forêt. En 1996, ce sentiment était partagé par près de 50 % de la population.

Le programme APHEIS (Air Pollution and Health : a European Information System) travaille sur la transposition des données épidémiologiques en des outils de décision. Ainsi, il a, entre autre, pour objectif de rendre accessible ces informations à une large population : décideurs et grand public. Pour cela, un programme de recherche a été lancé sur la meilleur façon de communiquer et sur les attentes des différents publics.

1.2 Les facteurs psychosociaux influant la perception de la pollution atmosphérique

Les facteurs individuels influent beaucoup sur la perception des problèmes environnementaux [8]. Parmi ces facteurs peuvent être distingués : l'âge, le sexe mais aussi les expériences et les connaissances de chacun.

En dehors des appréciations grâce aux sens de la vue et de l'odorat, la perception et l'évaluation de la pollution de l'air s'inscrivent en réalité dans un champ beaucoup plus large d'attitudes et de représentations. D'après les rares enquêtes sur le sujet, il semble que la perception de la pollution atmosphérique soit influencée par des facteurs d'ordre psychologique [9].

L'âge des personnes interrogées modifie les attitudes. Ainsi, les personnes âgées auraient davantage tendance à s'inquiéter des atteintes sur la santé que les individus qui le sont moins. La classe d'âge 40-60 ans semble être la plus sensibilisée aux problèmes de pollution [10]. Ceci est confirmé par les résultats obtenus dans l'enquête CREDOC « Enquête, conditions de vie et aspirations des Français » (1998).

En ce qui concerne le sexe, les femmes sont souvent plus sensibles que les hommes aux problèmes environnementaux et à celui plus spécifique de la pollution atmosphérique car elles s'inquiètent en particulier des risques pour la santé mais aussi pour ceux encourus par leurs enfants surtout en bas âges [11].

Les personnes associent fréquemment pollution atmosphérique et effets sur la santé. Une enquête faite sur les habitants de Rouen montre que ceux-ci ont une perception correcte de la réalité de la pollution atmosphérique. Toutefois, ils sont moins aptes à faire le lien entre un niveau de pollution et les effets perçus sur la santé [9]. D'autres études (Cavalini, 1994) portant sur la pollution de l'air provenant de sources industrielles ont souligné que la perception de la gêne ressentie est corrélée positivement avec les plaintes sur la santé. C'est également ce qui a été constaté sur la perception de la nuisance olfactive du métropolitain parisien [12] où les voyageurs ont été systématiquement plus sévères sur la qualité olfactive de cet espace public dès lors qu'ils croyaient à un impact négatif sur la santé. Ainsi, la description de la pollution atmosphérique se fait principalement en termes de danger pour la santé des individus.

Les attitudes de chacun, le fait d'être plus ou moins concerné par les problèmes environnementaux modifient l'évaluation des nuisances. Ceux qui ont le plus d'éducation ont tendance à être plus sensibles aux problèmes de la pollution atmosphérique [4]. Ils ont une meilleure conscience, connaissance et sensibilité. Cette sensibilité est donc aussi reliée au niveau socioculturel et au statut économique. L'enquête du CREDOC « Enquête, conditions de vie et aspirations des français » (1998) souligne également le fait que la sensibilité aux questions d'environnement dépend de la catégorie socioprofessionnelle. Toutefois, il semblerait que depuis une dizaine d'années, il se produise une réduction des écarts inter-catégoriels vis-à-vis de la sensibilité environnementale ; une évolution vers un élargissement des classes sociales concernées qui ne sont plus seulement les catégories privilégiées [11].

En ce qui concerne l'expérience et le métier, une étude menée par l'Observatoire Régional de Santé du Languedoc-Roussillon [13] met en évidence le fait que les maires des petites communes ne considèrent pas de la même façon les effets sur la santé de la pollution atmosphérique que les maires des plus grosses agglomérations.

D'autre part, certaines études [9] concernant les attitudes envers les sources de pollution ont montré que le fait de travailler dans une usine qui est à l'origine d'une nuisance, minimise la gêne exprimée vis-à-vis de la pollution. Cette gêne paraît fortement associée à la dépendance économique des habitants à son égard ainsi qu'à l'enracinement de la population dans son cadre de vie.

Généralement la majorité des personnes estiment que la réduction de la pollution atmosphérique est une des actions prioritaires que l'Etat doit mener. Certaines études montrent que chez les personnes particulièrement exposées telles que les chauffeurs de taxis [14], cette proportion est susceptible d'augmenter. Ainsi, le contexte environnemental peut être un facteur important, et avoir une influence claire sur la sensibilité et sur les connaissances à l'égard de la pollution de l'air.

Lors de la perception, et dans le processus d'assimilation de l'information, il s'opère une sélection. La valeur attachée à une donnée n'est pas absolue, mais relative aux autres données considérées ; un risque environnemental sera alors jugé moins sérieux s'il est considéré avec d'autres risques qui sont plus menaçants. Différentes définitions de la pollution insistant soit sur le danger, la saleté ou sur la pollution à proprement parler, entraînent différentes évaluations et inférences à propos d'attributs particuliers de l'environnement. Dans cette influence, le nombre de polluants présentés pour le jugement est un facteur important. Etre interrogé à propos d'un grand nombre de polluants accroît la vigilance concernant la présence de pollution. Les personnes se forment des impressions générales sur le niveau de pollution et, associent ce total aux polluants spécifiques sur lesquels ils sont interrogés. Ainsi, la plage peut être dite polluée parce que plusieurs polluants sont présents en grande quantité, ou bien parce que la plupart sont présents en petites quantités. Les jugements émis reflètent l'information accessible à l'individu au moment où il exprime son évaluation [8].

Les données de recherche sur la perception subjective du risque montrent que celle-ci constitue une composante essentielle des attitudes liées à l'environnement et aux jugements de valeur. La perception du risque lié à la pollution de l'air paraît pouvoir s'articuler avec les approches psychologiques du stress, en ce sens que les processus qui semblent les gouverner sont étrangement similaires. En effet, la stratégie générale qui consiste à interpréter la réalité en se construisant un sentiment de sécurité est aussi un des aspects de ce qui est appelé stratégies de coping dans les approches par le stress [8].

La pollution atmosphérique peut s'analyser dans le contexte des modèles de stress car elle est considérée comme une source majeure de stress environnemental dans nos sociétés modernes. En effet, les hommes élaborent des représentations de cette pollution, selon l'écart qui apparaît entre nos attentes et que ce le monde environnant nous propose, ces représentations peuvent entraîner des réponses de stress. Celles-ci peuvent se manifester verbalement, physiologiquement, psychologiquement ou de manière comportementale. Le stress est fondamentalement un concept relationnel qui est supposé représenter une opposition, une ambivalence entre les opportunités qu'offre l'environnement, les objectifs de l'individu et ses capacités à faire face.

Les éléments pouvant constituer une source de stress pour l'individu sont multiples. Ce peut être précisément la menace que l'individu perçoit dans la source de gêne. L'évaluation du risque lié à la pollution atmosphérique s'appuie principalement sur l'évaluation des risques sur la santé des individus. Autrement dit, mauvaise qualité de l'air et risques pour la santé ont tendance à être associés. En ce qui concerne les stress issus

des niveaux de pollution, le niveau ambiant de pollution semble agir comme un élément stressant pour les individus qui y sont exposés [15].

L'évaluation d'une mauvaise qualité de l'air est en partie déterminée par les « mauvaises odeurs » que ce même air dégage, les individus ayant tendance à associer celle-ci avec la pollution de l'air et donc, avec ses effets néfastes sur la santé. Toutefois, pour les mêmes concentrations, il y a de fortes disparités inter-individuelles au niveau de la gêne ressentie. Les stratégies d'adaptation (coping) peuvent expliquer une grande part de la variabilité de la gêne exprimée [8]. Il s'avère que les stratégies personnelles de coping modèrent la relation entre le niveau d'odeur et les plaintes exprimées. Trois grandes classes de stratégies peuvent être présentées : la première regroupe les stratégies qui sont orientées vers un problème particulier, et consistent à entreprendre des actions consistant à le résoudre directement. La seconde regroupe celles qui se caractérisent par le déni de la gêne ressentie, et consistent à agir comme si celle-ci n'existait pas. Enfin, la dernière classe regroupe les stratégies « émotionnellement orientées » qui consistent par exemple à relativiser un problème en le comparant à d'autres considérés comme plus importants. Il existe donc des stratégies actives et d'autres passives [16].

Ainsi, lorsque certains aspect de l'environnement sont ou deviennent des facteurs de stress, les individus se défendent plus ou moins bien par l'intermédiaire de stratégies dites de coping, qui à leur tour viennent transformer et compléter les représentations, et ainsi influencer sur la perception et l'évaluation de la nuisance, dans un processus interactionnel.

1.3 Un sentiment de désinformation

Selon l'Ifen, en 1998, environ ¼ des Français estimait qu'il connaissait la vérité sur les risques que représentait la pollution de l'air en général. Ce manque de confiance dans l'information reste donc important et concerne aussi la pollution due à l'automobile puisqu'en 1997, seulement 30 % des Français estimaient connaître la vérité sur les dangers de la pollution d'origine automobile.

En dehors d'un sentiment de désinformation, le grand public émet des jugements de confiance assez nuancés. Ainsi en cas de pollutions (air et eau) qui présentent un risque pour la santé, les français choisissent pour les informer au **niveau local** la mairie avec 47.4 %, les services de l'Etat avec 34.8 %, le médecin ou le pharmacien avec 14.3 %.

Par contre, en cas de graves pollutions de l'air, au **niveau national**, les citoyens ont confiance en les personnalités scientifiques pour 57 % d'entre eux, les associations pour 21 %, la radio et la télévision pour 6.7 %, l'administration pour 6.2 % et les élus pour 3.6 % [17].

La demande d'information concernant la pollution est forte et il peut être observé parfois un décalage entre l'opinion des sources et les attentes des cibles. Celui-ci se retrouve par exemple entre le nombre de dépêches AFP consacrées à la pollution atmosphérique et les attentes des lecteurs [18]. Dans un sondage exclusif effectué par l'institut CSA/JNE en 1997, les principaux thèmes traités dans la presse hebdomadaire étaient : la nature 18 %, déchets 10 %, eau 10 %, transports 10 %, air, ozone 9 %, nucléaire 7 %. La pollution de l'air n'arrive dans les articles publiés dans les journaux qu'en 5^{ème} position, alors que les attentes des Français ne suivent pas cet ordre. La demande d'information sur la pollution de l'air apparaît en tête. Selon de nombreux sondages, la pollution de l'air se place en 2^{ème} place avec 51 % des votes contre 52 % pour la pollution de l'eau en première position [19-21]. De même, il existe un décalage entre les attentes des maires et la place de la pollution. Pour les maires des petites communes, la question de la pollution de l'air arrive en 7^{ème} position du point de vue environnemental [22].

D'autre part, les informations transmises par la presse sont celles qui constituent un événement ainsi, la représentation de la pollution atmosphérique dans la presse est souvent « dramatique » [23].

Les effets sur la santé de la pollution atmosphérique sont reconnus comme potentiellement dangereux par la population. Toutefois, cette perception varie suivant les caractéristiques individuelles de chacun. Ainsi, l'activité professionnelle ou le niveau de formation peuvent modifier cette perception. Enfin, les français éprouvent le besoin d'être plus informé sur les effets de la pollution de l'air.

2 LES INCERTITUDES LIEES A L'EIS

2.1 Définition de l'incertitude

L'incertitude est un terme général qui regroupe différents concepts : méconnaissance, imprécision, incomplétude, variabilité, etc. Classiquement, trois concepts principaux permettent de regrouper l'ensemble des incertitudes associées aux évaluations de risque : la variabilité, l'erreur et la méconnaissance [24]. La variabilité est inhérente aux systèmes environnementaux rencontrés dans les évaluations des risques (écosystèmes, populations végétales, animales ou humaines). Elle peut être décrite mais ne peut être réduite [25]. L'erreur peut se manifester lors de la réalisation de mesures, de la compilation de données, de la réalisation de calcul. Les programmes d'assurance de la qualité permettent de réduire ce type d'incertitude. La méconnaissance se réfère aux connaissances imparfaites et incomplètes et regroupe donc les vocables d'imprécision et d'incomplétude. La méconnaissance renvoie à des vocables tels que simplification, approximation et extrapolation [2].

2.2 Les incertitudes liées aux EIS

La démarche d'évaluation des risques est classiquement découpée en quatre étapes : identification des dangers, évaluation des expositions, définition des relations dose-réponse, et enfin, caractérisation des risques. A chaque étape sont associées des incertitudes qui se propagent dans le résultat de risque final qui est alors lui-même entaché d'incertitude. **L'incertitude sur le risque peut s'exprimer sous la forme d'une distribution de valeurs de risque obtenue plus généralement par simulation de Monte-Carlo ou d'une ou plusieurs valeurs ponctuelles bornant le risque.**

L'analyse des incertitudes est une étape essentielle de l'évaluation, car si les incertitudes ne sont pas prises en compte ou présentées de manière trop qualitative, le résultat de l'évaluation peut être remis en cause. L'objectif actuel des évaluateurs de risque est de fournir un résultat qui éclaire la prise de décision. Il faut donc que l'évaluateur accompagne le résultat de son calcul d'une parfaite traçabilité des choix qui l'ont guidé et pose les limites de l'interprétation du résultat [2].

En ce qui concerne les étapes d'évaluation des expositions et de caractérisation des risques, la connaissance des émissions dans l'environnement est en général assez bonne de part l'existence de modèles, la disponibilité de résultats d'enquêtes. Ce sont plutôt les hypothèses simplificatrices telles la mise en équations du fonctionnement des écosystèmes, la restriction des comportements humains à quelques scénarios et le recours à des indicateurs de risques qui génèrent des incertitudes [2].

2.3 Les incertitudes liées aux EIS de la pollution atmosphérique urbaine

Dans un premier temps, afin de présenter les incertitudes liées à la méthode d'EIS de la pollution atmosphérique urbaine, la démarche de l'EIS mérite d'être développée.

2.3.1 La démarche de l'EIS

La démarche d'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine est expliquée dans le guide méthodologique publié par l'Institut de Veille sanitaire [1] mis à jour dernièrement en juin 2003 [26]. Cette méthode se base sur la construction de deux indicateurs : un indicateur d'exposition et un indicateur sanitaire.

A. Identification des dangers

Un grand nombre d'études expérimentales humaines et épidémiologiques ont été publiées dans la littérature scientifique internationale au cours de la dernière décennie. Elles permettent d'établir le rôle de la pollution atmosphérique dans la survenue ou l'exacerbation d'une vaste gamme de manifestations sanitaires sur le court terme, 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 [1]. De plus l'actualisation du guide méthodologique de l'InVS met en évidence qu'il est possible d'évaluer les conséquences sanitaires sur le long terme, c'est à dire de déterminer le nombre de morts dû à une exposition chronique à la pollution atmosphérique (de l'ordre de dizaine d'années) [26].

B. Caractérisation de l'exposition

Les réseaux de surveillance permettent d'évaluer les expositions journalières (ou horaires) de la population à la pollution atmosphérique. Pour la réalisation de l'EIS, ce sont les stations urbaines dites de « fond » qui sont retenues afin d'évaluer les expositions de la population [1, 27]. Sur la période d'étude retenue, l'indicateur d'exposition journalier (ou annuel pour le long terme) est déterminé grâce à la moyenne arithmétique journalière (annuelle) des mesures des différents capteurs.

Les polluants retenus pour l'évaluation sont l'ozone (O₃) en période estivale, le dioxyde de soufre (SO₂) pour la pollution acido-particulaire, dioxyde d'azote (NO₂) et les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns (PM10) [26].

La zone d'étude ayant été définie suivant les critères précisés dans le guide méthodologique [1], la population résidant dans cette zone est supposée exposée aux niveaux moyens journaliers (ou annuels) des différents indicateurs précédemment calculés.

C. Choix de relation exposition-risque

Les pathologies retenues comme indicateurs sanitaires sont les suivantes :

- Mortalité totale, cardio-vasculaire et respiratoire pour le court terme,
- Admissions hospitalières pour le court terme,
- Mortalité totale et cardio-respiratoire pour le long terme,

Les fonctions expositions-risque retenues sont celles pour lesquelles les problèmes de transpositions sont les moins importants [26].

D. Caractérisation du risque

Une fois les indicateurs d'exposition et sanitaires construits, pour chaque indicateur sanitaire et chaque polluant, il peut être déterminé le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique suivant la formule :

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

où, Na est le nombre de cas attribuables,
 RR est le risque relatif,
 N est le nombre total de cas (incidence),

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 [1]. En l'état actuel des connaissances, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique peut donc être estimé comme étant, au minimum égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudiés.

Pour les besoins de l'enquête, la démarche d'EIS de la pollution atmosphérique urbaine a été appliquée à la ville de Caen (cf annexe I).

2.3.2 Analyse des incertitudes

L'analyse des incertitudes peut être menée à chaque étape de la démarche d'EIS. Cette analyse n'est pas exhaustive. Il s'agit, en effet, de prendre en compte les principales incertitudes afin d'élaborer des présentations graphiques. Ce travail sera donc utilisé par la suite.

A. Identification des dangers

Même les personnes les plus réticentes aux méthodes d'évaluation d'impact sanitaire s'accordent pour dire que les effets de la pollution atmosphérique sur la santé de l'homme sont des faits et non des hypothèses. En effet, le lien de causalité entre les particules et les effets sur la santé a été étudié et démontré [28]. Toutefois, les effets sur la santé sont encore pour certains mal connus.

B. Caractérisation de l'exposition

Précédemment, la construction de l'indicateur d'exposition a été présentée. Nous pouvons donc recenser les hypothèses et les incertitudes liées à la méthode.

a) Validité des données du réseau de surveillance

Variabilité de la réponse d'un capteur en fonction de son micro-environnement

Une étude expérimentale [29] et une synthèse bibliographique de données expérimentales [30] ont cherché à décrire l'impact du positionnement du capteur et/ou de la tête de prélèvement en sites urbains. L'étude expérimentale menée sur l'agglomération

parisienne souligne que pour les stations dites de « fond » il y a une distribution homogène du niveau de pollution entre les différentes hauteurs de la tête du capteur testées (entre 2m50 et 10m) et que le réseau de mesure de ces stations est réellement représentatif de l'exposition ambiante à la pollution atmosphérique.

D'autre part, une comparaison des mesures d'exposition individuelle selon le type de transport avec les mesures des réseaux de surveillance a permis d'évaluer la capacité du réseau de surveillance à mesurer l'exposition des citoyens au cours de leurs déplacements, aux polluants atmosphériques d'origine automobile. Dans le contexte parisien, les stations de trafic semblent sous-estimer l'exposition des cyclistes et des utilisateurs de bus alors que **les stations urbaines de fond permettent d'estimer les valeurs d'exposition des piétons et utilisateurs des métro et RER** [31].

La chaîne d'étalonnage des stations de mesure

Les polluants sont mesurés par des méthodes normalisées reposant sur leurs caractéristiques optiques ou leurs propriétés physiques. Un analyseur délivre en permanence un signal électrique proportionnel à la concentration du polluant mesuré. Les résultats des mesures, effectuées en continu, sont moyennés chaque quart d'heure par un micro-ordinateur et sont transmis par ligne téléphonique à l'ordinateur central de l'association. Les données numériques sont transformées dans l'ordinateur central en données physiques (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) où, après validation, elles sont stockées dans une base de données.

Du point de vue métrologique, la mesure peut être affectée d'une marge d'incertitude due au moins à l'imperfection de :

- L'instrument,
- La méthode de mesure,
- L'appréciation de celui qui l'effectue.

Le principe de la chaîne d'étalonnage est de chercher à connaître les différents intervalles d'incertitudes correspondant à chaque étape de la phase de mesure afin d'évaluer l'incertitude globale entachant le résultat final.

A titre d'exemple, sur les échantillons testés pour le réseau de surveillance d'AIRPARIF, les écarts constatés sur les mesures sont de l'ordre de 8 % pour le SO_2 et de 10 % pour le NO_2 .

Erreur sur la mesure

Pour chaque méthode et chaque matériel utilisés pour mesurer un polluant une analyse de l'incertitude pourrait être faite. Pour cela, il existe trois normes ISO :

- Norme ISO 11222 : 2002 - *Détermination de l'incertitude de mesure de la moyenne temporelle de mesurages de la qualité de l'air,*
- Norme ISO 13752 : 1998 – *Evaluation de l'incertitude d'une méthode de mesurage sur site en utilisant une seconde méthode comme référence,*
- Norme ISO 14956 : 2002 – *Evaluation de l'aptitude à l'emploi d'une procédure de mesurage par comparaison avec une incertitude de mesure requise,*

La directive européenne (1999/30/CE du 22 avril 1999) donne, à titre d'orientation pour les programmes d'assurance qualité, des objectifs de qualité des données. Pour un polluant donné, l'exactitude d'un résultat de mesure automatique correspond à 15 % de la

valeur limite de ce polluant. Par exemple, pour le seuil horaire d'information et de recommandation de l'ozone ($180 \mu\text{g}/\text{m}^3$), cela donne une incertitude +/- $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à ne pas dépasser.

Les études concernant les incertitudes dues à la méthode de mesures sont récentes, elles concernent essentiellement la méthode basée sur les échantillonneurs passifs, la collecte des résultats de deux études montrent que l'incertitude peut varier entre 20 % et 30 %.

Globalement, l'erreur sur la mesure est vraisemblablement plus faible que l'incertitude sur le risque relatif.

b) L'hypothèse d'une exposition homogène

Dans la démarche d'EIS, une fois la zone délimitée et les capteurs sélectionnés, l'indicateur d'exposition journalier est construit en réalisant la moyenne arithmétique des mesures journalières des différents capteurs. Toutefois, ce calcul conduit à biaiser l'estimation des risques. En effet, les variations de courte durée et les variations locales ne sont pas prises en compte dans ce modèle [32].

c) L'hypothèse d'une exposition continue à la pollution extérieure

L'EIS de la pollution atmosphérique urbaine est basée sur une exposition continue de la population à la pollution extérieure. Toutefois, la population est également exposée à la pollution de l'air intérieur pendant une partie de la journée plus importante. Il se pose alors la question de l'évaluation de l'exposition individuelle, des concentrations rencontrées dans divers milieux de vie et donc des niveaux d'exposition individuel [33].

Ceci ne constitue pas une incertitude sur la méthode mais plutôt une incertitude sur l'exposition réelle de la population et donc sur le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique totale (intérieure et extérieure).

C. Choix de la relation exposition-risque

Les fonctions expositions-risques retenues pour l'évaluation sont celles ayant été établies au cours d'études présentant un contexte (climatique, réseau de mesures,...) comparable à celui pour lequel la relation est utilisée.

Les risques relatifs retenus sont donnés avec un intervalle de confiance à 95 %.

La transposition d'une relation dose réponse établie lors d'une étude épidémiologique particulière à une autre ville peut être considérée comme une autre source d'incertitude. A titre d'exemple, les relations établies entre l'exposition aux particules ne prennent pas en compte la nature de celles-ci. Or, la composition peut être fortement variable d'un pays à l'autre. Pour évaluer l'influence d'une telle transposition, une thèse [34] propose de retenir un écart type σ égal à 2. Toutefois, les études menées au cours du programme PSAS-9 révèlent au contraire peu d'hétérogénéité inter-ville.

Enfin, la forme de la relation dose-réponse pourrait être considérée comme une ultime source d'erreur. En effet, la fonction retenue est une relation linéaire sans seuil. Cependant, les modèles utilisés pour déterminer cette fonction exposition-risque n'émettent pas d'hypothèse sur la forme de la relation. Ainsi, le principe de linéarité est un résultat en lui-même et non une hypothèse.

D. Caractérisation du risque

Le calcul de la proportion du nombre de cas attribuable se base sur le nombre d'événements sanitaires recensés : mortalité et admissions hospitalières.

Les incertitudes liées à la **mortalité sont faibles**. En effet, les catégories retenues : mortalité toutes causes, mortalité respiratoire et mortalité cardio-vasculaire font que des erreurs de classification sont faibles même si pour les personnes en fin de vie la cause principale de décès peut être difficile à établir, d'autant plus que le médecin établissant le certificat de décès n'est pas forcément le médecin ayant suivi le patient.

Les incertitudes liées aux admissions hospitalières sont beaucoup plus importantes. Ces données sont issues du Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI). Ce programme a pour objectif de jouer un rôle déterminant dans la régulation des dépenses de santé hospitalières [35]. Il permet de caractériser une fonction de production hospitalière en généralisant dans les hôpitaux le recueil d'informations administratives et médicales (diagnostics et actes) sous forme de Résumés d'Unité Médicale (RUM).

Lors de la demande de données concernant les admissions hospitalières sont distinguées les pathologies respiratoires et les pathologies cardio-vasculaire. Elles constituent deux diagnostics principaux différents.

Les contrôles de qualité mis en place au sein des Départements d'Information Médicale (DIM) afin d'évaluer les pourcentages d'erreurs de codage permettent d'estimer le pourcentage d'erreur concernant le diagnostic principal. **Ainsi deux études [36, 37] ont retenu respectivement 24.4 % (IC₉₅ % : 17.4-31.5) et 16 % d'erreur .**

D'autre part, le nombre d'évènements attribuables à la pollution atmosphérique est déterminé à partir d'une différence d'exposition. En effet, le risque relatif est fourni pour une différence de niveaux d'exposition de 10 µg/m³. L'estimation d'une différence sous-entend le fait de fixer un niveau de référence. Ce dernier est fixé d'après un consensus d'expert au percentile cinq de la distribution de l'indicateur d'exposition. Cette valeur de référence étant fixée arbitrairement, elle engendre également une erreur sur le résultat final de l'EIS.

2.4 La prise en compte des incertitudes

Face aux concepts d'incertitude cités précédemment, plusieurs théories existent pour traiter mathématiquement la connaissance disponible. La théorie des probabilités est celle qu'utilisent traditionnellement les statisticiens [38, 39]. Les incertitudes sont alors représentées par des distributions de probabilités et la technique de propagation la plus usuelle est la méthode de Monte-carlo (nombreux tirages aléatoires dans les distributions de chaque paramètre pour déduire une distribution du risque). Elle est utilisée couramment dans le domaine de l'environnement, notamment pour les applications dans le domaine nucléaire [40]. Cette méthode peut cependant conduire à une sous-estimation du risque réel [41], notamment si les hypothèses d'indépendance entre les paramètres ne sont pas justifiées.

Une démarche alternative mais très pénalisante consiste à faire du calcul d'erreur. Les incertitudes sont représentées sous la forme d'intervalles de valeurs et le calcul d'erreur consiste à faire un calcul de pire cas et de meilleur cas. Par exemple, si A est compris entre Amin et Amax, et que B est compris entre Bmin et Bmax, alors A+B est compris entre Amin+Bmin et Amax+Bmax.

La théorie des possibilités développée depuis la fin des années 1970 permet à la fois de généraliser et de nuancer le calcul d'erreur et permet ainsi de propager des informations

imprécises [42]. Un exemple de réflexion sur l'application de la théorie des possibilités dans le domaine de l'environnement afin d'obtenir des résultats raisonnablement majorants a été proposé récemment en France par le Bureau de recherches géologiques et minières (BRGM) [43]. Pour la méthode possibiliste, les distributions de valeurs des paramètres sont encore considérées comme des distributions de probabilités mais les distributions obtenues modélisant l'incertitude associée aux composants élémentaires de risque sont considérées comme pouvant se cumuler : les compensations d'erreur provenant des hypothèses d'indépendance ne sont plus acceptées.

Il apparaît que les incertitudes pouvant être quantifiées au vu des données disponibles sont la distribution gaussienne du risque relatif, l'incertitude liée à la méthode de construction de l'indicateur d'exposition et les erreurs sur les données sanitaires.

3 LA COMMUNICATION GRAPHIQUE

Au-delà des réflexions techniques sur la méthodologie d'analyse des incertitudes, des efforts de recherche s'imposent pour trouver des moyens de communication des résultats de ces travaux clairs pour le public et pour les décideurs.

Pour cet aspect du travail, deux types de recherches bibliographiques ont été menées. Une recherche est orientée vers les recommandations existantes en matière de présentation et de communication graphique, notamment sur les incertitudes. La seconde recherche a constitué en la collecte des présentations graphiques déjà utilisées pour présenter les incertitudes.

3.1 Des présentations graphiques adaptées à un message

Le graphique est selon Jacques Bertin « un système de signes, rigoureux et simple que chacun peut apprendre à utiliser et qui permet de mieux comprendre » [44]. En effet, la science du graphique poursuit deux objectifs :

- Traiter les données pour comprendre et en tirer l'information,
- Communiquer s'il y a lieu cette information ou un inventaire de données élémentaires.

Jacques Bertin fut le premier à développer la théorie matricielle de la graphique. Cette théorie retient les observations suivantes : par définition tout graphique correspond à un tableau de données à double entrée pouvant contenir dans ses cases des appréciations ou des nombres [44]. Ce tableau pose trois types de questions qui s'échelonnent du niveau élémentaire au niveau d'ensemble :

- De quoi s'agit-il ?
- Quelle est l'information d'ensemble ?
- Quelles sont les exceptions ?

Ces trois questions évaluent l'utilité de toute construction et de tout traitement. Elles permettent d'éviter les graphiques inutiles.

Les graphiques sont reconnus comme des outils de communication intéressants afin de présenter des données statistiques. Les éléments importants dans l'élaboration d'un graphique sont d'attirer l'attention sur les données et de fournir des indications d'échelle

et d'origine des données. A contrario, les éléments non-nécessaires et pouvant nuire à la compréhension sont les suivants :

- Trop de données présentées,
- L'utilisation d'éléments « décoratifs » n'apportant rien à la compréhension,
- Des informations redondantes,
- L'usage inapproprié des couleurs.

Pour que la construction graphique retenue soit efficace, le type choisi doit être aussi simple que possible afin que la population puisse le décoder. A titre d'exemple, un histogramme constitue une meilleure construction pour présenter des proportions que les « camemberts » car la notion de longueur est plus facile à comparer que des angles [44]. Cleveland en 1985 [45] établit un ordre de difficulté de décodage de l'information en fonction des constructions utilisées, de la plus simple à la plus complexe :

- Position par rapport à une même échelle,
- Position par rapport à deux échelles identiques non-alignées,
- Longueur,
- Angle,
- Aire,
- Volume,
- Nuance de couleur,
- Saturation des couleurs,
- Densité.

Toutefois, des expériences récentes [46, 47] tendent à montrer que ce classement n'est pas toujours exact. En effet, une étude sur la perception des proportions révèle que les histogrammes ne sont pas toujours une meilleure construction que les « camemberts ».

Ainsi, à chaque type de message une construction spécifique est adaptée. Ces correspondances sont citées dans le tableau n° 1.

Type d'information	Objectifs	Construction adaptée
Proportion	Souligner la taille respective de différents éléments d'un ensemble Ordonner les informations suivant leur taille, leur impact, leur importance,...	Diagramme à bâtons Courbe Camembert (pour deux ou trois proportions)
Séries temporelles	Mettre en évidence la variation suivant le temps	Diagramme à bâtons (pour une faible durée) Courbe
Fréquence	Mettre en évidence la fréquence d'une distribution sur certains intervalles	Histogramme Courbe Box Plot

Tableau 1 : Le type et l'objectif du message d'un graphique définissent sa construction [48]

De nombreux éléments peuvent être étudiés et développés : le titre du graphique, l'échelle, la taille et la graduation des intervalles de l'échelle, les titres des axes, le point de départ de graduation, la couleur, ... [49].

Quatre types de graphiques vont être brièvement développés : les diagrammes à bâtons, les « camemberts », les histogrammes ainsi que les box plot (« diagramme à moustache »).

3.1.1 Les diagrammes à bâtons[48]

Ces graphiques sont les plus employés pour comparer l'amplitude de deux, au minimum, variables discrètes. La longueur de la barre est proportionnelle à la valeur décrite. Les barres peuvent être verticales ou horizontales. L'habitude de lecture rend les barres horizontales plus difficiles à lire. L'échelle doit obligatoirement commencer à zéro. Le diagramme à bâtons peut présenter des barres divisées. Les barres sont alors divisées en un ou plusieurs segments. Toutefois, ce type de diagramme en bâtons n'est pas des plus clairs. En effet, l'appréciation des proportions des différents segments est rendue plus complexe l'évaluation de la longueur ne s'effectuant pas à partir d'une base commune. Il existe également des diagrammes à bâtons groupés. Ces derniers représentent différentes données par groupe. Pour les diagrammes à bâtons divisés et groupés, l'utilisation de la couleur est indispensable afin de bien distinguer les différentes séries.

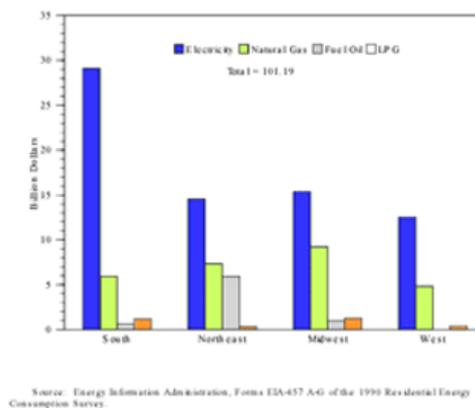


Figure 1 : Exemple de diagramme à bâtons

3.1.2 Les camemberts[48]

Les camemberts ont une utilité limitée. Il sont suffisants pour transmettre des messages simple. Des recherches ont ainsi démontré que d'autres constructions telles que les diagramme en bâtons présentaient les données complexes plus clairement et avec plus de précision [50]. Dans ce type de construction, l'utilisation de couleur est également indispensable. Toutefois, il est à noter que l'utilisation d'une couleur claire entre deux couleurs sombres est à proscrire, la couleur sombre donnant l'illusion que le secteur représenté est plus large que celui représenté par la couleur claire.

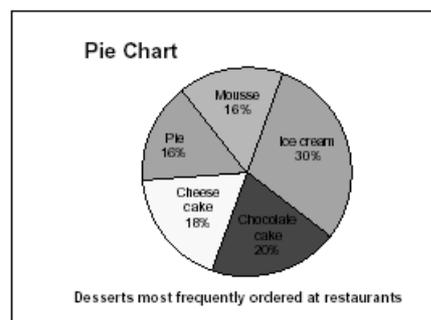


Figure 2 : Exemple de camembert

3.1.3 Les histogrammes[48]

Les histogrammes sont utilisés pour présenter la distribution d'une variable suivant différentes classes. La construction des classes d'intervalle est importante. La couleur choisie pour la présentation de la distribution ne doit pas être trop sombre afin de ne pas masquer les barres des intervalles.

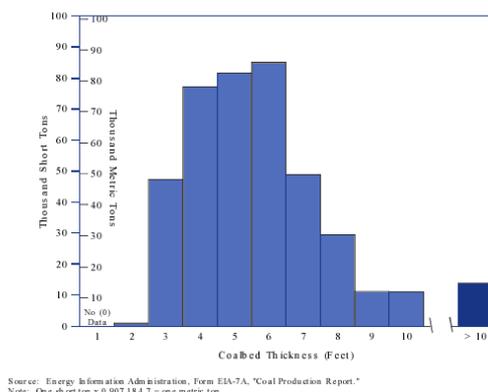


Figure 3 : Exemple d'histogramme

3.1.4 Les box plot[48]

Les box plots sont des constructions permettant de synthétiser graphiquement la distribution statistique d'une variable. En effet, les valeurs présentées sont successivement : le minimum, le premier quartile, la médiane, le troisième quartile et le maximum. L'auteur peut cependant choisir les centiles qui lui conviennent. Les box plot peuvent être présentés verticalement ou horizontalement.

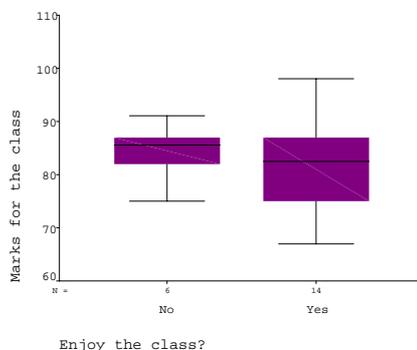


Figure 4 : Exemple de box plot

3.1.5 Le cas particulier de la présentation des incertitudes

En ce qui concerne la présentation graphique des incertitudes, les publications sont peu nombreuses. Les seules propositions de présentation obtenues sont : la probabilité cumulée de réalisation de la variable et la distribution statistique de cette variable [51]. Il peut donc s'agir d'histogramme, de box plot ou de courbe.

3.2 Les présentations rencontrées dans la littérature

Les présentations rencontrées dans la littérature concernant la présentation graphique des incertitudes ou de scénarios d'exposition sont similaires aux présentations citées précédemment. Ainsi à titre d'exemple, un article sur la modélisation de la contamination

des sols [52] présente les incertitudes du modèle avec une construction basée sur la probabilité cumulée. Au cours de la conférence AIRNET les posters utilisés présentent des box plots afin de présenter les distributions statistiques des risques relatifs pour la mortalité suivant l'indicateur PM 2.5 obtenus par les études de cohortes ACS et Six Cities. L'étude ERPURS présente les incertitudes du pourcentage de variation du risque relatif pour la mortalité totale suivant différents scénarios d'exposition à l'aide d'une construction basée sur le diagramme à bâtons agrémenté d'intervalles de confiance.

Pour la présentation de différents scénarios, l'InVS présente, dans un autre domaine, l'évolution suivant les années du nombre de cas de coqueluche par classe d'âge avec un diagramme à bâtons groupé et la répartition des cas de coqueluches suivant leurs origines de diagnostic par un diagramme à bâtons divisé.

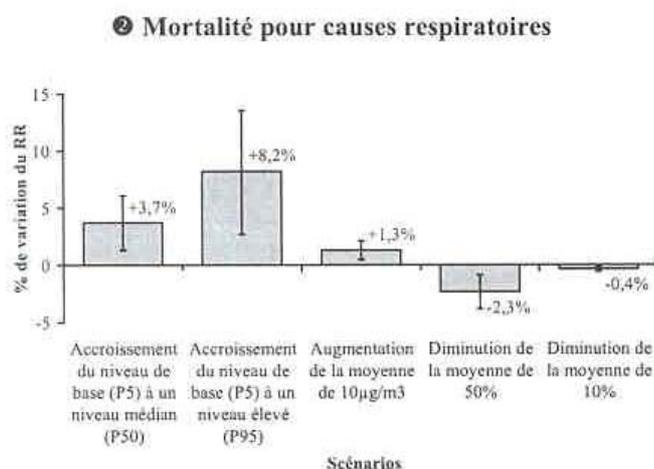


Figure 5 : Exemple de diagramme à bâtons de type boursiers (Source : ERPURS)

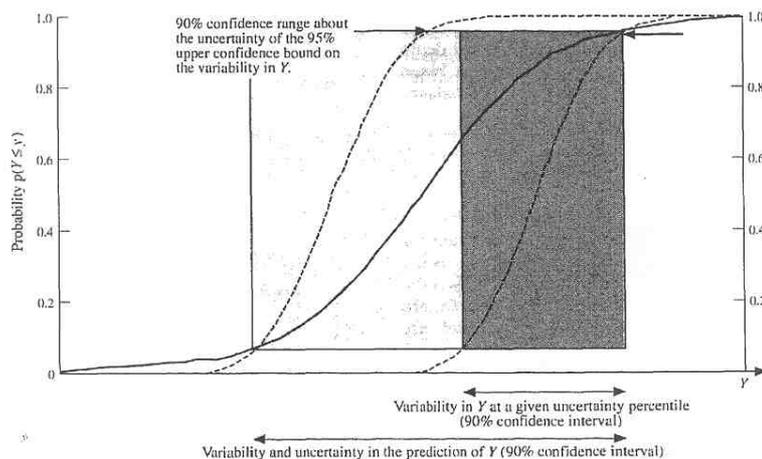


Figure 6 : Exemple de probabilité cumulée [52]

II – LES OBJECTIFS ET DEMARCHES DU MEMOIRE : PROPOSER DES PRESENTATIONS GRAPHIQUES ADAPTEES

A l'issue de la synthèse bibliographique, il peut être constaté que globalement la population se sent mal informée sur les effets de la pollution atmosphérique. De plus, les besoins en information mais aussi la perception des effets de la qualité de l'air sur la santé semblent dépendre de nombreux facteurs individuels.

Ce mémoire s'inscrit dans la perspective de proposer des présentations graphiques des résultats des évaluations d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Il constitue un travail exploratoire.

Les graphiques seront élaborés à partir des résultats issus de l'évaluation d'impact de la pollution atmosphérique sur la ville de Caen. Pour cela le modèle EIS-PA 2.0 développé par l'Institut de Veille Sanitaire sera utilisé. Les conséquences sanitaires de différents scénarios de lutte contre la pollution seront développés.

De plus, la prise en compte des incertitudes dans la communication des résultats est à ce jour indispensable. L'analyse des incertitudes liées à l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine ayant précédemment été faite les graphiques proposés pourront donc les présenter.

Les graphiques élaborés devront donc prendre en compte les incertitudes des résultats, les attentes et le rapport au risque des différents interlocuteurs. Or ceci appelle réflexion : **jusqu'à quel point peut-on intégrer les incertitudes des résultats sans compromettre la crédibilité de l'évaluation d'impact sanitaire ?**

La problématique principale réside dans le fait que ces trois facteurs : incertitudes, interlocuteurs et contextes sont fortement liés les uns aux autres. C'est pourquoi, ce travail sera basé sur une **enquête** menée auprès des interlocuteurs potentiels ayant déjà fait ou non l'expérience de la communication des résultats d'une EIS.

Les graphiques présentés au cours de l'enquête seront ceux estimés les plus adaptés suite à la synthèse des connaissances sur la communication graphique. Les résultats apportés par cette dernière seront quantitatifs mais surtout qualitatifs. Cet aspect est intéressant puisqu'il permettra :

- **d'améliorer dans les présentations proposées,**
- **d'élaborer d'autres présentations graphiques,**
- **de déterminer les informations estimées nécessaires par les différents publics interrogés,**
- **de connaître les réactions de la population interrogée face à la communication des incertitudes et de différents scénarios de lutte contre la pollution,**

Ainsi, de nouvelles présentations graphiques pourront être élaborées et testées au cours d'un autre travail.

La démarche de ce travail est résumé sur la figure n°5.

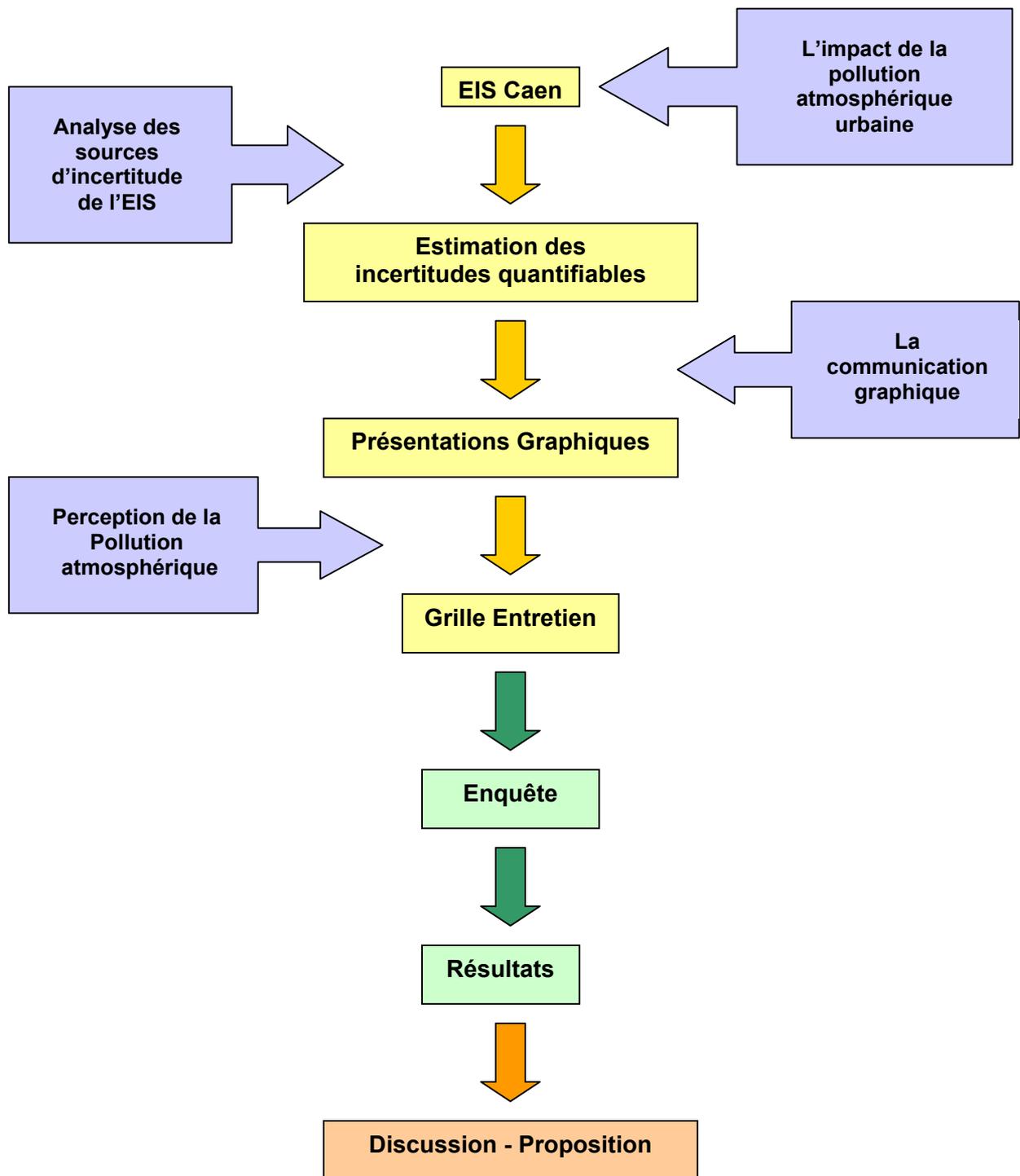


Figure 7 : Démarche et cheminement du mémoire

III - MATERIEL ET METHODE : ELABORATION DE L'ENQUETE

Dans cette partie seront présentés successivement l'EIS réalisée sur la ville de Caen, le choix des indicateurs retenus pour l'élaboration des graphiques, les incertitudes retenues pour les présentations graphiques, les graphiques présentés, la grille d'entretien et, enfin, la constitution de l'échantillon interviewé.

1 SUPPORT DE L'ENQUETE : EVALUATION D'IMPACT SANITAIRE DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE URBAINE SUR LA VILLE DE CAEN [24]

La ville de Caen a été choisie pour la réalisation de l'évaluation d'impact sanitaire car cette dernière a déjà fait l'objet d'une telle évaluation en 1999 [1] et que les personnes y ayant participé étaient intéressées et prêtes à fournir rapidement les données nécessaires à la réalisation de la nouvelle évaluation. Un autre critère de sélection de la ville de Caen est la disponibilité de données concernant les niveaux d'exposition aux PM10, ceux-ci permettant la réalisation d'une évaluation d'impact sur le long terme.

La méthode développée est celle préconisée par le guide méthodologique de l'InVS et son actualisation [1, 26]. Les points principaux de cette étude sont développés ci-après le rapport complet étant joint en annexe I.

1.1 La zone géographique et la population étudiées

Pour l'évaluation d'impact sanitaire, l'objectif étant 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. Les critères de choix [1] de la zone d'étude sont les suivants :

- seules sont retenues les zones de continuité urbaine avec le centre ville,
- le plus petit élément constituant une zone doit être une commune (afin d'être compatible avec l'extraction des données de mortalité et d'admissions hospitalières),
- la population de la zone étudiée doit être exposée la majeure partie de son temps à l'indicateur d'exposition calculé et doit donc résider majoritairement dans la zone d'étude,
- la situation et les débits d'émissions des sources, doivent être assez homogènes sur la zone,
- les mesures de pollution effectuées sur la zone d'étude doivent être « suffisantes » (nombre de capteurs bien placés, qualité des mesures, disponibilité de données) pour estimer l'exposition de la population,

La zone d'étude comprend 8 communes avec une population totale, d'après le dernier recensement 1999, de 173 000 habitants séjournant très majoritairement sur cette zone [53] (tableau n°2).

COMMUNES DE LA ZONE D'ETUDE	POPULATION (HABITANTS)
Caen	113 987
Hérouville St Clair	24 025
Mondeville	10 428
Cormelles le royal	4 599
Iffs	9 208
Bretteville sur Odon	3 951
Fleury sur Orne	4 231
Saint Germain la Blanche Herbe	2 531

Tableau 2 : Population de la zone d'étude (source : INSEE)

1.2 La période de l'étude concernée par l'EIS

Afin que cette évaluation d'impact sanitaire se réalise dans la continuité de la première, l'étude débutera le 1 avril 1998. D'autre part, compte tenu du changement du plan de circulation de l'agglomération caennaise dû à la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport (tramway), la période d'étude se termine le 31 mars 2002.

En résumé, la période d'étude retenue est 1 avril 1998- 31 mars 2002, soit quatre années entières.

Cette étude se déroulant sur une période de quatre ans, l'hypothèse de conditions météorologiques particulières peut être écartée.

1.3 Les données

1.3.1 Les données d'exposition

Sur Caen les indicateurs retenus sont : **NO₂**, **O₃** et **PM10**.

Contrairement à la première évaluation d'impact sanitaire où les particules en suspension avaient été retenues pour décrire l'exposition mais n'avaient pas été utilisées pour le calcul de l'impact sanitaire, la parution d'études épidémiologiques avec cet indicateur permet de prendre en compte les mesures des PM10 dans l'évaluation.

Tout comme pour la première étude réalisée, les concentrations en SO₂ sur l'agglomération étant faibles et présentant une tendance à la régression la quantification de l'impact lié à cet indicateur n'est pas justifiée. De la même façon, le monoxyde de carbone est écarté de l'étude car l'estimation quantitative de ses effets sur la santé au niveau populationnel est encore mal connue et son exposition difficile à estimer.

Le dioxyde d'azote (NO₂) et les particules (PM10) sont des polluants d'origine primaire. Le NO₂ provient surtout des véhicules (environ 75%) et des installations de combustion (centrales énergétique,...). Les particules peuvent être d'origine naturelle (volcan) ou anthropique (combustion industrielle, ou de chauffage, incinération, véhicules). L'ozone (O₃) est un polluant secondaire. Il résulte de la transformation photochimique de certains polluants dans l'atmosphère (NO_x et COV) en présence de rayonnement ultra-violet solaire. Il est l'un des principaux polluants de la pollution dite "photo-oxydante", et contribue également indirectement aux pluies acides ainsi qu'à l'effet de serre (source : ADEME)

Les données d'exposition ont été obtenues grâce à l'association qui gère le réseau de surveillance sur la région Basse-Normandie : Air COM. Les critères de sélection des stations sont exposés dans l'étude (annexe I). Les indicateurs d'exposition sont décrits dans le tableau n°3.

Indicateur d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O3	NO2			PM10		
	Eté	An	Eté	Hiver	An	Eté	Hiver
Minimum	14	2	3	2	2	2	3
Percentile 5	31	7	7	8	7	8	7
Percentile 25	47	14	13	16	12	12	12
Médiane	58	20	18	25	17	17	17
Percentile 75	69	29	24	35	25	26	23
Percentile 95	88	46	39	48	42	43	39
Maximum	117	126	115	126	87	87	74
Moyenne journalière	58	23	19	26	19	20	19
Ecart-Type	17,3	12,4	10,4	13,4	11,4	12,1	10,6
% Valeurs manquantes	11%	5%	5%	4%	1%	3%	0%

Tableau 3 : Distribution des indicateurs d'exposition (Données sources Air COM)

1.3.2 Les données sanitaires

Les données de mortalité et d'admissions hospitalières, pour la période retenue, sont nécessaires à la réalisation de l'étude. Les données correspondantes à la période d'étude n'étant disponibles que partiellement (98-99). Les données ayant été collectées pour la première étude ont été conservées. Toutefois, la population concernée n'étant pas la même qu'en 1997, une règle de proportionnalité a permis de déterminer la mortalité pour la période et la zone d'étude considérée (tableau n°4). Les données d'admissions hospitalières, pour la période retenue, ont été obtenues auprès du Département D'Information Médicale du Centre Hospitalier Universitaire de Caen. Le DIM regroupe sur la zone d'étude les admissions dans les services de soins de court séjour pour des motifs respiratoires ou cardio-vasculaires (tableaux n°5 et 6).

Données de mortalité pour 173 000 habitants	
Mortalité hivernale annuelle toutes causes sauf accidentelles	562
Mortalité estivale annuelle toutes causes sauf accidentelles	526

Tableau 4 : Données mortalité pour la zone d'étude

	DP de I00 à I99		
	15-64 ans	65 ans et +	Total
Moyenne annuelle	407	968	1380
Moyenne estivale annuelle	187	476	666
Moyenne hivernale annuelle	220	492	714

Tableau 5 : Nombre d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, CHU de Caen (Source : DIM – CHU)

	DP de J00 à J99		
	15-64 ans	65 ans et +	Total
Moyenne annuelle	312	444	1033
Moyenne estivale annuelle	146	194	432
Moyenne hivernale annuelle	166	250	601

Tableau 6 : Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires, CHU de Caen (Source : DIM – CHU)

1.4 Les relations exposition-risque

1.4.1 Fonctions exposition/risque court terme

Il s'agit de caractériser les liens entre l'exposition et la probabilité de survenue du danger à cette exposition, en recourant aux résultats des études épidémiologiques déjà réalisées. Les estimateurs de risque utilisés sont ceux préconisés par l'Institut de Veille Sanitaire[54] et utilisés dans le guide méthodologique publié par ce dernier.

Ainsi, pour les indicateurs sanitaires mortalité totale, cardio-vasculaire et respiratoire, les fonctions exposition/risque, pour NO₂ et O₃, utilisées sont celles produites par le PSAS-9. Pour les PM₁₀, seul le programme APHEA2 a produit des fonctions exposition/risque en Europe.

D'autre part, pour l'indicateur sanitaire admissions hospitalières, les fonctions exposition/risque retenues sont celles élaborées dans le cadre d'APHEA1 et APHEA2.

En ce qui concerne la morbidité ambulatoire, l'exploitation des données issues de l'étude épidémiologique tri-nationale [55] doit encore se faire avec prudence. Il paraît donc préférable de ne pas les utiliser dans l'évaluation d'impact sanitaire. Les risques relatifs retenus sont exposés dans des tableaux fournis en annexe I.

1.4.2 Fonctions exposition/risque long terme

Pour les indicateurs sanitaires mortalité totale et cardio-respiratoire, le guide méthodologique [26] préconise l'utilisation des fonctions exposition/risque de l'étude tri-nationale. En ce qui concerne la mortalité par cancer du poumon, seules deux études ont été réalisées et leur exploitation est trop entachée d'incertitudes pour être pratiquée dans l'évaluation d'impact sanitaire.

1.5 Les résultats obtenus

L'impact de la pollution atmosphérique déterminé, grâce aux relations exposition-risque citées précédemment, par rapport à une situation théorique sans pollution (niveaux de pollution égaux au percentile 5) est décrit tableau n°7.

	Effet sanitaire	Par an		Période de l'étude	
		Nombre de cas	IC à 95 %	Nombre de cas	IC à 95 %
Impact à court terme	Mortalité anticipée	17	12-22	66	46-87
	Morbidité respiratoire	5	1-9	19	5-37
	Morbidité cardio-vasculaire	19	11-26	75	44-106
	Morbidité totale	24	12-35	94	49-143
Impact à long terme	Mortalité	55	33-78	220	133-313

Tableau 7 : Impact de la pollution atmosphérique urbaine sur la ville de Caen (période étude avril 1998- avril 2002)

La discussion de ces résultats est réalisée dans l'annexe I.

2 MATIERE DE L'ETUDE : LES PRESENTATIONS GRAPHIQUES

Comme cela a été présenté dans les objectifs de ce travail, il faut dans un premier temps, élaborer des présentations graphiques qui seront testées lors de l'enquête. Dans cette perspective, il est nécessaire de sélectionner les données qui seront présentées au cours de l'enquête.

2.1 Les indicateurs retenus pour l'élaboration des présentations graphiques

L'EIS de la pollution atmosphérique urbaine sur la ville de Caen donne les résultats pour les trois indicateurs retenus O₃, NO₂ et PM₁₀ pour différentes pathologies (tableau n°8).

Polluant	O3	NO2	PM10
Pathologies	<ul style="list-style-type: none">- Mortalité totale- Mortalité respiratoire- Morbidité respiratoire pour 15-64 ans,- Morbidité respiratoire pour +65 ans,	<ul style="list-style-type: none">- Mortalité totale- Mortalité respiratoire- Morbidité respiratoire pour 15-64 ans,- Morbidité respiratoire pour +65 ans,- Morbidité cardio-vasculaire	<ul style="list-style-type: none">- Mortalité totale Court terme/ long terme,- Morbidité respiratoire pour +65 ans,

Tableau 8 : Les pathologies prises en compte dans l'EIS pour chaque polluant

2.1.1 Indicateurs d'exposition

Les PM₁₀, étant les seuls polluants pour lesquels il existe des données pour le court terme et le long terme, sont retenus.

D'autre part, étant donné qu'un des objectifs est la présentation de différents scénarios d'exposition. Parmi ces scénarios les conséquences sanitaires de la suppression des pics de pollution sont comparées à celles de la diminution du niveau moyen d'exposition de 25 %. Or, à ce jour, le polluant connu par un large public et pour lequel les médias abordent souvent le problème des pics de pollution est l'ozone (O₃). L'ozone est le second polluant retenu.

Etant donné que trois objectifs différents sont à présenter, il aurait pu être envisagé de retenir un polluant par objectif. Cependant, afin de ne pas multiplier les informations inutilement, seulement deux indicateurs seront retenus. **L'ozone sera donc utilisé pour la présentation des incertitudes et la présentation des différents scénarios d'exposition à la pollution atmosphérique.**

Les deux polluants retenus sont donc les PM₁₀ et O₃.

2.1.2 Indicateurs sanitaires

Une fois les polluants sélectionnés, il reste à choisir les effets à présenter. Comme précédemment, l'objectif de présentation du court terme et du long terme impose la présentation **de la mortalité totale pour les PM₁₀.**

En ce qui concerne l'ozone, le nombre de pathologies pouvant être présentées s'élève à quatre. De préférence, la pathologie retenue aura une relation exposition/risque fiable (intervalle de confiance à 95 % n'incluant pas 1), et devra pouvoir permettre de présenter

les incertitudes. Or, comme cela a été développé au cours de la synthèse bibliographique, la quantification des incertitudes ne peut être faite que pour les admissions hospitalières.

Les deux conditions précédentes réunies font que l'indicateur sanitaire retenu est la **morbidité respiratoire pour la classe d'âge supérieure à 65 ans pour l'indicateur ozone**.

2.2 Les incertitudes retenues pour l'élaboration des présentations graphiques

L'analyse des incertitudes liées à la démarche d'EIS de la pollution atmosphérique urbaine a été exposée au cours du chapitre I. Les incertitudes pouvant être prises en compte et permettant d'aboutir à une présentation graphique sont celles pouvant être quantifiées. La détermination exacte des incertitudes n'est pas l'objet de ce travail. Il s'agit surtout d'obtenir des présentations graphiques tenant compte des incertitudes afin de les tester.

Les trois sources d'incertitudes mentionnées : indicateur d'exposition, indicateur sanitaire et relation exposition-risque sont toutefois représentées avec les incertitudes suivantes :

- L'incertitude de la relation dose-réponse (intervalle de confiance),
- Les erreurs de classement de diagnostic principal pour les données du PMSI,
- L'incertitude sur l'exposition de la population avec le principe de construction (moyenne arithmétique des mesures de polluants) de l'indicateur d'exposition,

2.2.1 L'incertitude de la relation exposition-risque

La morbidité respiratoire pour la classe d'âge supérieure à 65 ans a donc été retenue. Pour l'indicateur ozone la relation exposition-risque est caractérisée par un risque relatif de **1.008 avec un intervalle de confiance à 95 % égal à 1.004 - 1.014**. **Cet intervalle pouvant être considéré comme symétrique, la distribution probabiliste retenue est de type gaussienne**. Ce risque relatif est fourni pour une variation de l'exposition de 10 µg/m³ d'ozone.

D'après la recherche bibliographique le risque relatif est souvent représenté par une **distribution normale**, hypothèse qui sera retenue pour la modélisation des incertitudes.

2.2.2 Les erreurs de classement du PMSI

Selon les contrôles de qualité des données fournies par le PMSI, **un ordre de grandeur de 20 % d'erreurs de codage pour le diagnostic principal peut être retenu**. La distribution du nombre d'évènements peut être considérée comme gaussienne.

Ainsi, le nombre d'admissions hospitalières pour motif respiratoire peut être entaché **d'une erreur de + ou - 20 %**. D'autre part, la période d'étude est de quatre ans (avril 1998 – avril 2002), les données concernant les admissions hospitalières sont des données annuelles. Le modèle ne tenant compte que d'une seule valeur concernant le nombre d'admissions hospitalières, il a été réalisé une **moyenne du nombre d'admissions hospitalières annuelles** pour motif respiratoire. Tout comme pour l'exposition ce principe de calcul entraîne une perte d'information concernant la variabilité des données sanitaires.

Dans cette perspective afin de tenir compte de l'erreur et de la variabilité inter-annuelle de l'indicateur sanitaire, le nombre d'admissions hospitalières annuel minimum sera minoré de 20 % et à l'inverse le nombre d'admissions hospitalières annuel maximum sera majoré de 20 %. Cette méthode entraîne une majoration de l'incertitude.

La distribution statistique retenue est une **uniforme** (principe d'équiprobabilité des différentes valeurs) entre les deux valeurs déterminées dans les conditions précédemment citées, soit après calcul, **entre 135 et 268 admissions hospitalières pour motif respiratoire dans la classe d'âge de + 65 ans, pendant la période estivale, pour la zone d'étude concernée et par an.**

2.2.3 La méthode de construction de l'indicateur d'exposition : la moyenne arithmétique

La méthode de calcul de l'indicateur d'exposition à partir des mesures fournies par les différents capteurs entraîne une perte d'information concernant l'hétérogénéité d'exposition sur la zone d'étude. **Ceci engendre une incertitude qui pourrait être évaluée en retenant le capteur donnant la valeur minimale et celui donnant la valeur maximale puis en estimant le pourcentage de variation de l'indicateur d'exposition.** Cette hypothèse ne résout pas le problème des variations temporelles de courte durée. Toutefois, ces dernières ne peuvent pas être prises en compte, la relation dose-réponse étant établie pour une exposition journalière.

L'exposition à l'ozone sera donc considérée comme une **distribution statistique uniforme pouvant varier entre 52 et 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ d'ozone en période estivale** (avril-octobre). La valeur 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondant à la valeur moyenne mesurée par le capteur Tour Leroy et la valeur 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ correspondant à la valeur moyenne mesurée par le capteur d'Ifs.

2.3 Les présentations graphiques retenues

Après réflexion et discussion avec différents partenaires : M P. Glorennec et , M B. Junod et M. F. Benard (APPA de Caen), il a été choisi de présenter trois planches de graphiques, chacune communiquant sur un objectif précis :

- **Planche I** : la prise en compte des incertitudes liées à la méthode d'EIS,
- **Planche II** : les conséquences sanitaires de différentes politiques de lutte contre la pollution atmosphérique,
- **Planche III** : la comparaison des impacts sanitaires d'une action sur le court terme et le long terme.

Ainsi, il pourrait ressortir des résultats de l'enquête un lot de trois graphiques permettant de présenter les résultats des EIS de la pollution atmosphérique urbaine.

Pour des raisons pratiques de présentation et de traitement des résultats, le nombre de graphiques présentés par planche est limité à quatre.

Les différentes présentations retenues sont présentées dans le tableau n°9. Les planches de graphiques sont fournies en annexe II

Planche	Message transmis	Présentations graphiques
I	Présentation des incertitudes	<p>Graphiques Excel :</p> <ul style="list-style-type: none"> - n°1 : diagramme à bâtons boursiers présentant les trois sources d'incertitudes, - n°2 : diagramme à bâtons groupés présentant les trois sources d'incertitudes, <p>Graphiques @Risk :</p> <ul style="list-style-type: none"> - n°3 : histogramme présentation la distribution du nombre de cas attribuables, - n°4 : courbe présentant la probabilité cumulée du nombre de cas attribuables,
II	Importance de l'exposition chronique et non des pics de pollution	<ul style="list-style-type: none"> - n°1 : diagramme à bâtons présentant trois scénarios d'exposition, - n°2 : aires présentant trois scénarios, - n°3 : diagramme à bâtons divisés présentant trois scénarios d'exposition, - n°4 : histogramme présentant la distribution du nombre de cas suivant les classes d'exposition et pour trois scénarios d'exposition différents,
III	Importance d'une action sur le court terme et le long terme	<ul style="list-style-type: none"> - n°1 : diagramme à bâtons présentant deux scénarios court terme et long terme dans un contexte d'exposition particulier, - n°2 : diagramme à bâtons divisés présentant deux scénarios court terme et long terme dans un contexte d'exposition particulier,

Tableau 9 : Synthèse des différentes propositions graphiques

2.3.1 La présentation des incertitudes

Pour la présentation des incertitudes, deux logiciels différents sont utilisés: Excel et @Risk. Le logiciel @Risk est un add-in d'Excel (ajout d'un modèle probabiliste à une feuille Excel) nécessitant une licence informatique payante. Afin d'évaluer le coût-bénéfice d'un investissement financier mais aussi personnel pour l'utilisation de ce logiciel, il semble judicieux de comparer les graphiques issus de @Risk et ceux issus d'Excel. L'utilisation des graphiques issus d'Excel est donc une volonté.

A. Les présentations issues d'Excel

La combinaison des résultats issus de recherche bibliographique oriente le choix des présentations graphiques vers le principe des diagrammes à bâtons. Le box plot constitue un type de présentation intéressant beaucoup utilisé par les statisticiens mais peu utilisé pour la communication grand public. Il est en effet peut être un peu trop complexe et n'est pas retenu pour ces raisons.

Pour les trois sources d'incertitudes, il est possible de déterminer l'estimation basse, moyenne et haute du nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique, cette méthode de calcul peut être assimilée à un calcul d'erreur.

A titre d'exemple, pour déterminer l'influence de la **moyenne arithmétique des mesures des différents capteurs, les données d'exposition entrées dans le logiciel sont celles mesurées par le capteur du Chemin Vert**, le nombre d'admissions hospitalières pour motif respiratoire dans la classe d'âge + 65 ans par an est alors de 2.28. La même méthode est employée pour le capteur d'Ifs et de Tour Leroy. L'estimation moyenne correspond au résultat obtenu avec l'indicateur d'exposition soit 3.79.

Le principe des **graphiques boursiers** retenus pour la présentation des résultats de l'étude ERPURS peut constituer un premier graphique. Le second graphique retenu est le **diagramme à bâtons groupés**.

Ces présentations constituent les **graphiques Excel** (graphiques n°1 et 2) dans la planche I.

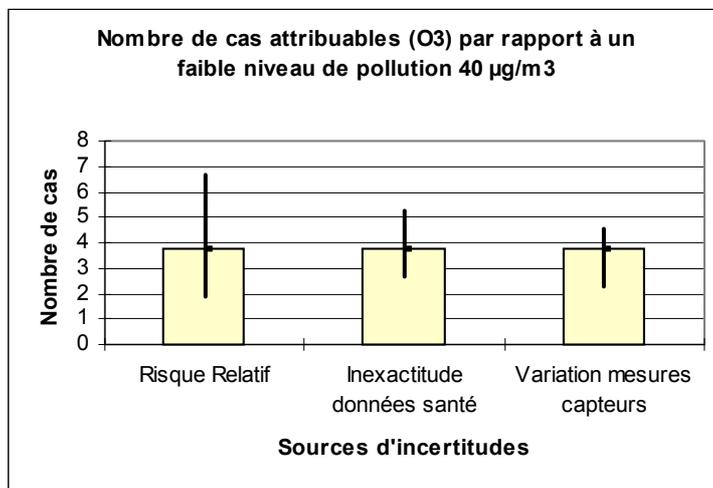


Figure 8 : Graphique n°1 type Excel

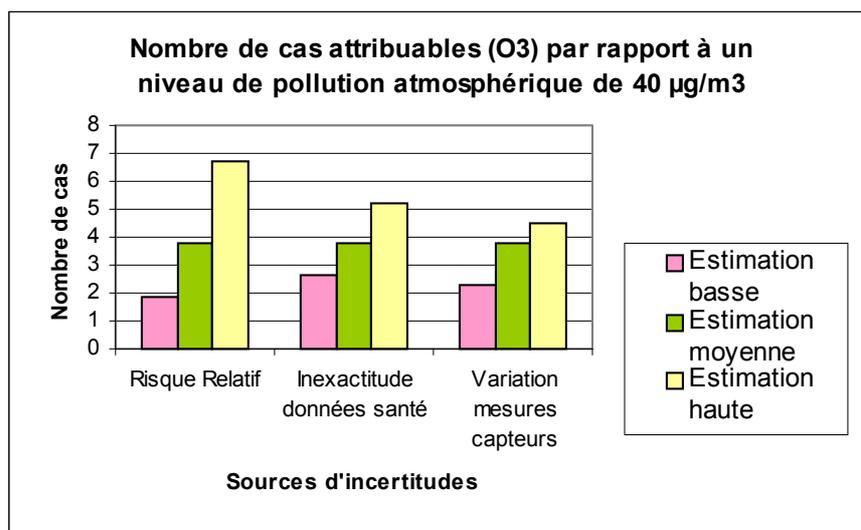


Figure 9 : Graphique n°2 type Excel

B. Les présentations issues de @Risk

@Risk est un modèle travaillant sous Excel qui permet d'obtenir des informations probabilistes intégrant l'ensemble des sources d'incertitudes quantifiées. Le principe de calcul se base sur la méthode de Monte-Carlo. Ainsi, la formule permettant de déterminer le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique est définie comme une variable de sortie (output) pour le modèle alors que les trois sources d'incertitudes précédemment décrites sont des variables d'entrée (input) dont les distributions statistiques, normale ou uniforme dans le cas présent, sont définies.

La simulation de Monte-Carlo permet alors d'obtenir une fonction statistique du nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique soit sous la forme d'une distribution soit selon une courbe de probabilité cumulée. Dans les deux cas, un graphique dit « Tornado » (figure n°8) permet par régression de présenter l'importance relative de

chaque source d'incertitude dans la modélisation de l'incertitude de l'impact de la pollution atmosphérique. De plus, sur les deux formes de présentation, l'intervalle de confiance à 95% est indiqué ainsi que la valeur moyenne.

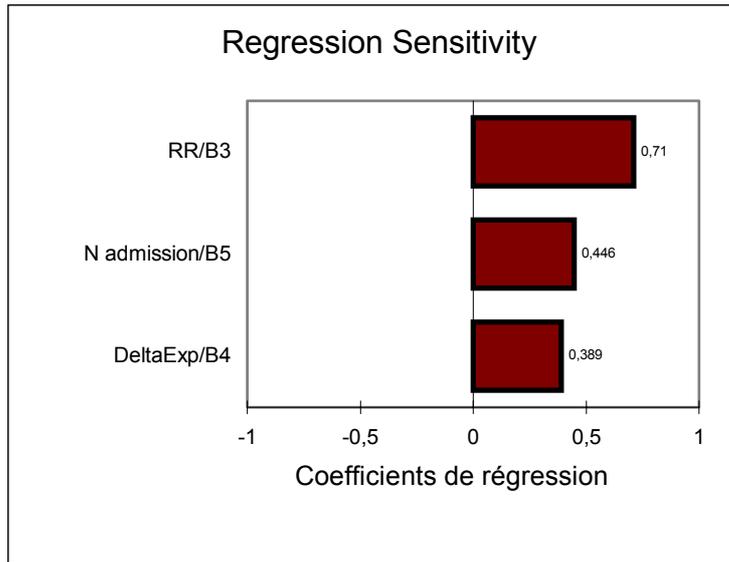


Figure 10 : Contribution des différentes sources d'incertitudes pour le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique

Les deux graphiques, **distribution** (figure n°9) et **probabilité cumulée** (figure n°10), sont présentés dans la **planche I**, ils constituent **les graphiques @Risk** (graphiques n°3 et 4).

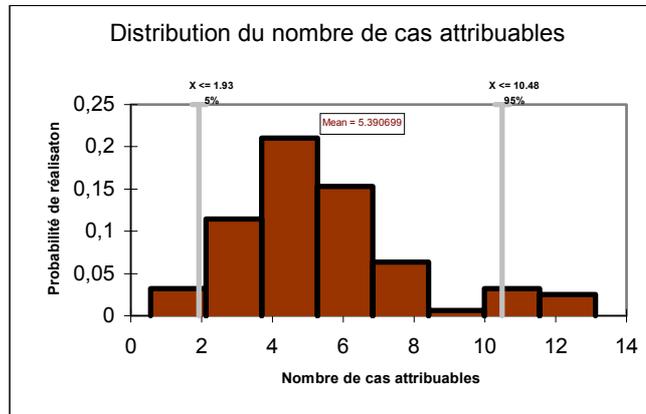


Figure 11 : Graphique n°3 type @Risk

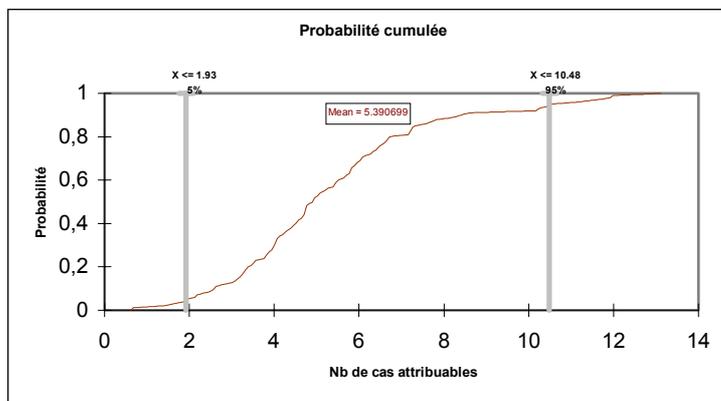


Figure 12 : Graphique n°4 type @Risk

C. Comparaison des informations fournies

Les graphiques issus d'Excel exigent la présentation de chaque variable : risque relatif, PMSI et exposition. Il est donc nécessaire de présenter la démarche et la méthode de calcul. Les graphiques issus du logiciel @Risk peuvent être compris sans ces explications. Toutefois, le passage des graphiques Excel aux graphiques @Risk entraîne la perte d'information en ce qui concerne l'importance relative de chaque variable dans l'incertitude liée au nombre de cas attribuables.

2.3.2 La présentation des différents scénarios d'exposition

Les impacts sanitaires de trois scénarios d'évolution de l'exposition à la pollution atmosphérique ont été calculés :

- **Scénario 1** : gain sanitaire attribuable à une diminution du niveau de pollution jusqu'à un niveau de référence de faible pollution (percentile 5 de l'indicateur),
- **Scénario 2** : gain sanitaire attribuable à une suppression des pics d'ozone supérieurs à $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$,
- **Scénario 3** : gain sanitaire attribuable à une diminution du niveau moyen journalier de 25 %,

Contrairement à la planche précédente, les informations communiquées sont exactement les mêmes. Les présentations sélectionnées sont celles préconisées pour la présentation des proportions. Le « camembert » n'a pas été retenu le nombre de données à présenter étant trop important. L'histogramme a été choisi pour présenter la distribution du nombre de cas suivant divers scénarios. Les quatre présentations sélectionnées sont présentées figures n°11,12,13 et 14.

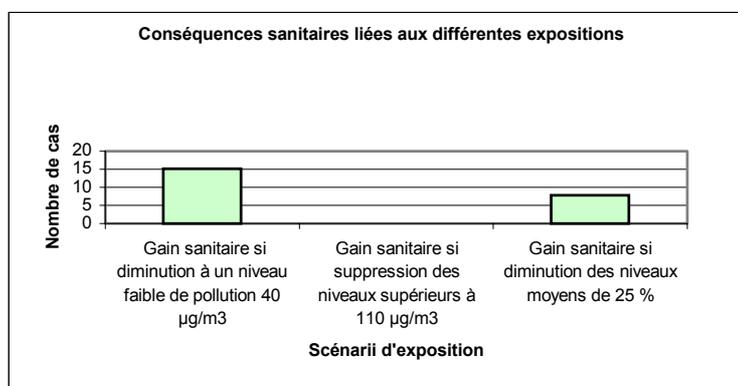


Figure 13 : Graphique n°1, planche II

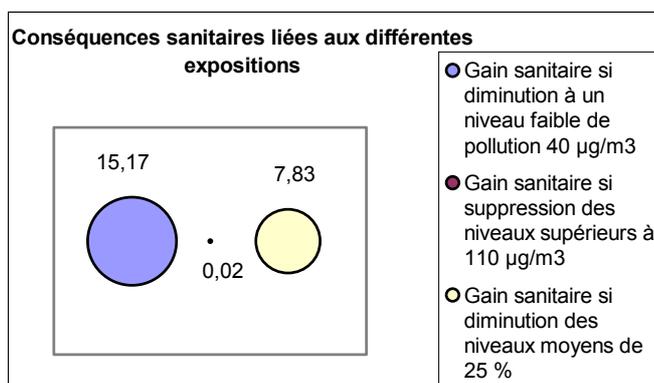


Figure 14 : Graphique n°2, planche II

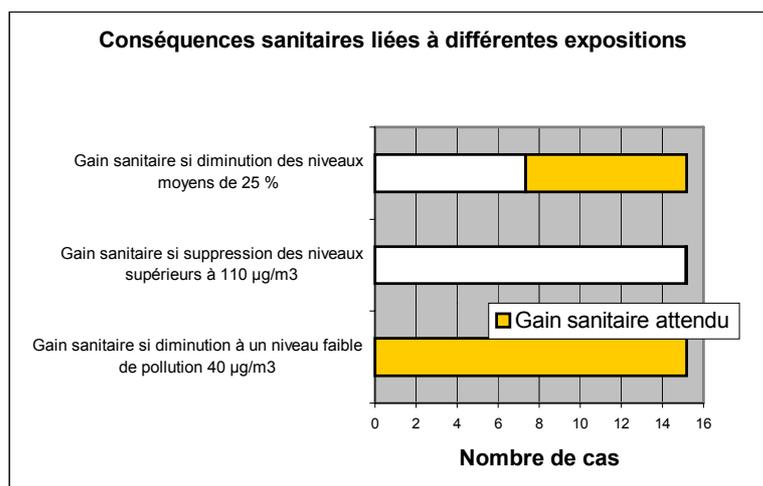


Figure 15 : Graphique n°3, planche II

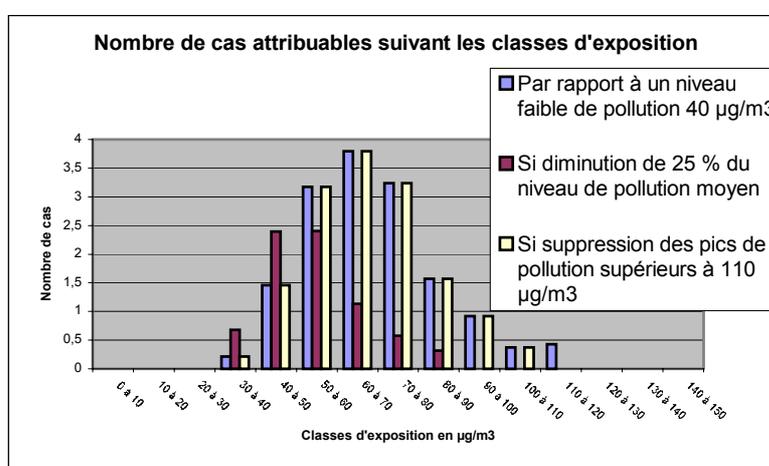


Figure 16 : Graphique n°4, planche II

L'objectif de cette planche est de communiquer sur le fait que l'absence de dépassement du niveau d'information de la population concernant l'ozone (180 µg/m³) n'est pas synonyme d'absence d'effet sur la santé de la pollution atmosphérique. Le but est donc de faire comprendre que même si, à ce jour, les communications médiatiques sont basées sur les événements de pollution, l'événement en matière de conséquences sanitaires est constitué par l'exposition chronique.

2.3.3 La présentation des conséquences sanitaires sur le court terme et le long terme

Comme précédemment, il s'agit de présenter selon deux scénarios différents : le court terme ou le long terme, le gain sanitaire estimé. Toutefois, cette estimation se fait sous l'hypothèse d'une réduction du niveau moyen de pollution de 25 % pour l'indicateur PM10 (particules en suspension de diamètre apparent inférieur à 10 µm).

Les présentations retenues sont présentées figures n°15 et 16.

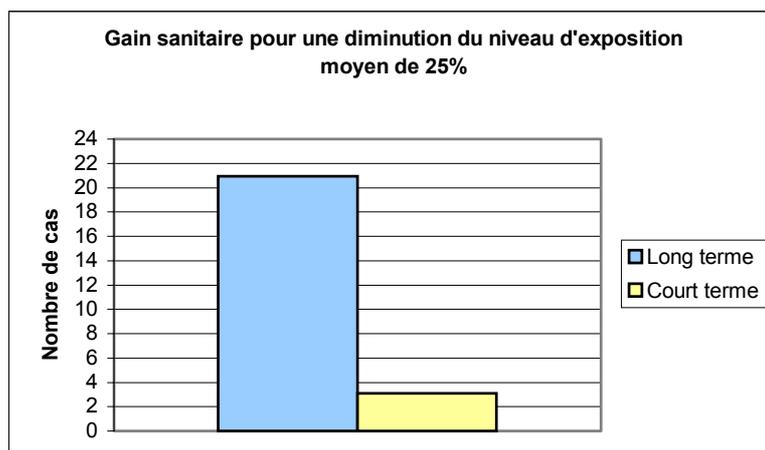


Figure 17 : Graphique n°1, planche III

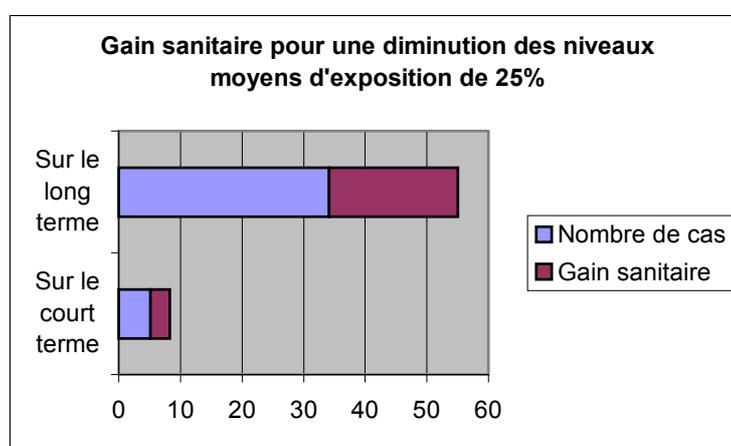


Figure 18 : Graphique n°2, planche III

L'objectif de cette planche est de conforter le message à des mesures et des actions prises sur le long terme (PDU, PPA) apportent un gain sanitaire plus important que les mesures de gestion prises pour gérer des épisodes de pollution.

3 L'ENQUETE

Avant de présenter la grille d'entretien et l'échantillon des personnes à interviewer, il paraît important de rappeler que ce travail est un travail exploratoire. Les moyens et les compétences disponibles pour la réalisation de cette enquête n'étaient pas ceux nécessaires à la réalisation d'une véritable enquête.

3.1 La grille d'entretien

3.1.1 Elaboration de la grille d'entretien

La grille d'entretien (annexe III) a été élaborée avec la collaboration d'Alain Jourdain du LAPSS et de Sylvie Cassadou de l'InVS.

Les éléments classiques d'élaboration d'une grille d'entretien ont été analysés à savoir :

- L'analyse des réponses recherchées afin d'adapter au mieux les questions,
- La préparation d'une trame d'entretien avec la présentation de l'étude et de ces objectifs
- Les modalités d'exploitation des données obtenues.

3.1.2 Le contenu de la grille d'entretien

Afin d'atteindre les objectifs définis au chapitre II, la grille d'entretien est composée de 21 questions.

Parmi celles-ci trois concernent les caractéristiques des personnes interviewées : activité professionnelle, niveau et type de formation. Les catégories choisies pour le niveau de formation sont celles de l'INSEE alors que pour le métier, la catégorie socioprofessionnelle officielle n'a pas été retenue car elle n'est pas adaptée aux attentes du questionnaire. Les métiers choisis sont ceux des différentes personnes contactées. L'âge n'a pas été un critère d'exploitation sélectionné car, d'après les informations collectées lors de la bibliographie, ces dernières années l'âge n'est vraisemblablement plus un critère de sensibilité aux questions de l'environnement. Ces questions sur les caractéristiques individuelles paraissent importantes pour le traitement des informations collectées. En effet, d'après la synthèse bibliographique, le niveau d'étude et la sensibilité des personnes interrogées peuvent influencer sur la perception des effets de la pollution atmosphérique.

Les 18 autres questions sont réparties de la façon suivante :

- 5 questions sur la perception de la planche de graphiques I,
- 6 questions sur la perception de la planche de graphiques II,
- 3 questions sur la perception de la planche de graphique III,
- et trois questions sur la communication des résultats de l'EIS en général.

Les trois dernières questions sont des questions ouvertes permettant de voir si le mode de communication graphique est le plus adapté pour chacun des messages transmis par les planches.

Les questions se reportant à la planche I sont trois questions fermées et deux questions ouvertes. Les questions ouvertes sont utiles afin de comprendre et d'expliquer le choix des personnes interviewées. La première question permet de mettre en valeur l'intérêt de présenter les incertitudes.

Le même schéma a été retenu pour les questions se rapportant aux planches II et III. Toutefois, une question fermée supplémentaire a été ajoutée afin d'apprécier si le message transmis par les planches a bien été compris par les personnes interviewées.

3.1.3 L'exploitation des réponses

Les réponses issues de ce questionnaire sont à la fois quantitatives et qualitatives. Afin de faciliter l'exploitation des données quantitatives une base de données a été créée sous Excel. En ce qui concerne l'exploitation des données qualitatives, un listing (annexe IV) des commentaires et propositions faits au cours des interviews permettra de discuter et d'élaborer de nouvelles présentations.

Ce principe d'exploitation des résultats a été choisi en se basant sur le modèle d'exploitation d'enquêtes réalisées par le CREDOC avec pour modèle l'enquête commandée par l'ENSP sur la formation écorisque en mai 2000 [56].

3.2 Echantillonnage des personnes interviewées

Une véritable enquête aurait procédé à un échantillonnage représentatif de la population française actuelle. Pour cela, un tirage au sort sur les listes électorales aurait été effectué, les personnes ayant été contacté par courrier puis par téléphone afin d'obtenir un rendez-vous. Pour des raisons pratiques, contraintes de temps et de moyens, mais aussi au regard du caractère exploratoire du travail, l'échantillon de personnes contactées n'est volontairement pas représentatif de la population française actuelle.

3.2.1 Un échantillonnage non représentatif

Il paraissait intéressant pour l'étude de rencontrer différents acteurs qui pouvaient avoir à travailler sur les conséquences sanitaires de la pollution atmosphérique urbaine. Ainsi pour les questions de Plan de Déplacements Urbains, Plan Régional de Qualité de l'Air et l'aménagement du territoire, les interlocuteurs privilégiés sont les **services déconcentrés de l'état et les collectivités territoriales**. En tant que représentants de la population française et décideurs, les **élus** sont également concernés. Les **journalistes** incarnant un relais de l'information auprès du grand public tout comme les **associations de protection de l'environnement**, peuvent apporter des critiques intéressantes. Enfin, le **grand public** incarne le récepteur final de l'information dont l'émetteur est l'**expert scientifique**. Parmi ces différents acteurs, il peut être distingué le public averti et non averti.

3.2.2 Modalités de contact

Un entretien de 30 minutes par personne étant nécessaire, il était indispensable de convenir d'un rendez-vous avec les interlocuteurs sélectionnés. Les personnes sollicitées pour une participation à cette enquête faisaient partie d'un réseau de connaissance sur Rennes ou Caen.

Pour les métiers sélectionnés, le principe de contact général fut après une première prise de contact par mail ou téléphone, l'envoi d'un courrier confirmant le souhait d'un rendez-vous et exposant le principe de l'enquête. La prise de rendez-vous a commencé aux environs du 15 juin pour se terminer le 30 juillet.

Pour le grand public, l'enquête ne pouvant se réaliser sous forme d'une interview trottoir. Les personnes rencontrées sont des connaissances, des personnes travaillant au sein de l'ENSP (accueil, femme de ménages, documentaliste) mais aussi des personnes fréquentant la maison de quartier de Villejean. En effet, le marché du quartier de Villejean a lieu le vendredi matin. Le taux de fréquentation de la maison de quartier est donc plus important le vendredi matin. Après une prise de contact avec le directeur de la maison de quartier, il a été convenu que les personnes fréquentant la maison de quartier pourraient être sollicitées pour une participation à l'enquête, la maison de quartier étant un lieu très propice à la réalisation de tels travaux.

IV – RESULTATS

Dans cette partie les résultats quantitatifs de l'enquête sont décrits. Les réponses aux sept questions à choix multiples sont détaillées.

1 DESCRIPTION DE L'ECHANTILLON

1.1 Répartition par activité professionnelle

Activité Professionnelle	Nb de personnes interrogées
Association protection environnement	6
Collectivité territoriale	2
Elu	2
Expert scientifique	3
Grand public	17
Ingénieur administration déconcentrée	7
Journaliste	4
Total	41

Tableau 10 : Répartition des personnes interviewées par activités professionnelles

La quasi-totalité des personnes contactées a accepté de participer à l'enquête. Trois personnes, un élu et deux journalistes n'ont pas répondu aux mails ou aux courriers envoyés.

1.2 Répartition par niveau de formation

Parmi les niveaux de formation envisagés (sept au total) seuls quatre niveaux sont représentés. Les catégories pour lesquelles, il n'y a aucune personne sont les niveaux de formation suivants : aucun diplôme, CEP et BEPC.

La répartition des personnes interrogées par niveau de formation est détaillée tableau n°11.

Niveau de formation	Personnes interrogées
CAP-BEP	5
BAC et brevets professionnels	7
BAC+2	2
Diplômes supérieurs	27
Total	41

Tableau 11 : Répartition des personnes interrogées par niveau de formation

Le nombre de personnes interrogées disposant de diplômes supérieurs à BAC+2 est de 27, il est donc fortement prépondérant. Ce phénomène est dû à la sélection par métier des personnes interrogées, l'ensemble des métiers sélectionnés exigeant un niveau d'étude élevé.

1.3 Répartition par type de formation

La répartition par type de formation des personnes interviewées est décrite tableau n°12.

Type de formation	Personnes interrogées
Littéraire, autres	15
Scientifique, technique	26
Total	41

Tableau 12 : Répartition de la population interrogée par type de formation

Comme précédemment, les métiers sélectionnés lors de l'échantillonnage imposent une prépondérance de formation de type technique.

2 LA PRESENTATION DES INCERTITUDES

A la question 1 concernant l'utilité de présenter les incertitudes attachées aux résultats issus de l'EIS, 100 % des personnes interrogées considèrent indispensable d'informer la population sur la marge d'incertitude du résultat.

2.1 Type de graphique choisi

En considérant l'ensemble de la population, 21 personnes préfèrent les graphiques de type Excel, 18 personnes préfèrent les graphiques « probabilistes » issus du logiciel @Risk et 2 personnes n'en préfèrent aucun.

2.1.1 Influence de l'activité professionnelle

Les réponses obtenues en fonction des activités professionnelles exercées sont les suivantes :

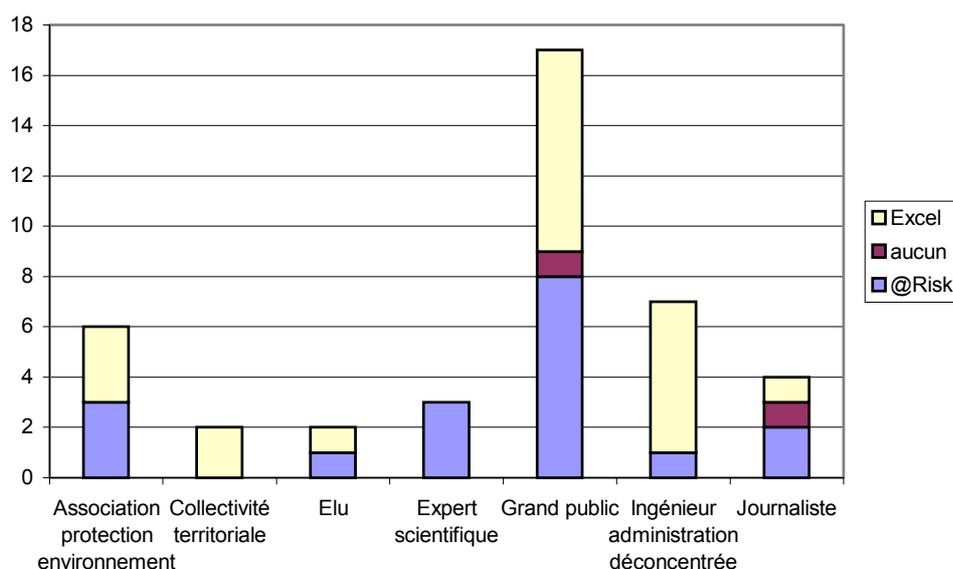


Figure 19 : Type de graphique choisi en fonction de l'activité professionnelle (question 2)

Les **trois experts scientifiques** interrogés ont choisi les graphiques de **type @Risk** alors que la quasi-totalité des **ingénieurs des services déconcentrés** ont préféré **les graphiques Excel**. Il ne se dégage aucune tendance pour les autres activités professionnelles.

2.1.2 Influence du niveau de formation

Le niveau de formation semble influencer sur le choix du type de graphique. En effet, un regroupement des niveaux de formation en deux classes distinctes : égal ou inférieur à BAC+2 et diplômes supérieurs, permet d'obtenir la répartition suivante:

Niveau de formation	Graphiques Excel	Graphiques @Risk	aucun	Total
Egal ou inférieur à BAC+2	9	4	1	14
Diplômes supérieurs	12	14	1	27
Total	21	18	2	41

Tableau 13 : Répartition du type de graphique choisi par niveau de formation (question 2)

Il semblerait que les personnes dotées de diplômes supérieurs à BAC+2 n'aient pas de préférence pour l'une ou l'autre des présentations. Alors que les personnes ayant un niveau de formation inférieur ou égal à BAC+2, préféreraient les graphiques Excel. Afin de déterminer si cette tendance, il aurait fallu réaliser un teste du Khi^2 , toutefois, les effectifs sont trop petits.

2.1.3 Influence des connaissances techniques des personnes interrogées

Une autre classification suivant le niveau de connaissance des personnes interrogées paraît nécessaire afin de voir si ce facteur influe sur le choix du type de graphiques. En effet, les recherches bibliographiques réalisées sur la perception du risque mentionnaient que la perception du risque pouvait varier suivant le niveau de connaissance et la sensibilité de la population interrogée. Il s'agit donc de répartir la population interrogée selon deux catégories : public averti (service déconcentré, association protection environnement,...) ou non averti (journalistes, grand public,...). La répartition des réponses en fonction de cette nouvelle stratification est décrite tableau n°8.

Type public	Niveau de formation	Graphiques Excel	Graphiques @Risk	aucun	Total
Averti	Egal ou inférieur à BAC+2	1			1
	Diplômes supérieurs	9	7		16
Non averti	Egal ou inférieur à BAC+2	8	4	1	13
	Diplômes supérieurs	3	7	1	11
Total		21	18	2	41

Tableau 14 : Type de graphique choisi en fonction du public et du niveau de formation (question 2)

Pour le public averti, il se pose à nouveau le problème de la prépondérance des diplômes supérieurs. En ce qui concerne le public non-averti, bien que les effectifs ne permettent pas une analyse multivariée, l'influence du niveau de formation est confirmée : **66 % des personnes disposant d'un niveau de formation inférieur ou égal à BAC+2** préfèrent les graphiques de type Excel alors que **64 % des personnes dotées d'un diplôme supérieur préfèrent les graphiques issus du logiciel @Risk**. D'autre part, il est à noter que pour la population dotée d'un diplôme supérieur à BAC+2 et faisant partie du public averti aucune tendance ne se dégage.

2.1.4 Influence du type de formation suivi

Le type de formation suivi ne semble avoir aucune influence sur le choix du type de graphiques (tableau fourni en annexe V).

2.2 Graphique choisi

Une fois le type de graphique choisi, au sein de chacun, il existe deux graphiques différents. Le but de cette question est donc de connaître la présentation graphique choisie par les personnes interrogées. Ces choix sont décrits figure n°18.

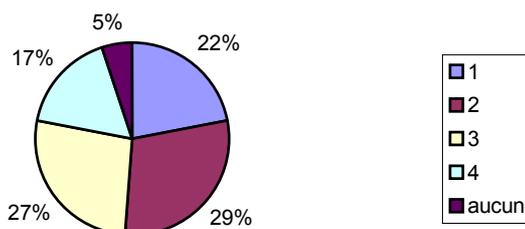


Figure 20 : Choix du graphique présentant les incertitudes (question 3)

Il semble que les graphiques n°2 et 3 soient les deux graphiques les plus adaptés à la communication sur les incertitudes.

2.2.1 Influence de l'activité professionnelle

L'activité professionnelle exercée ne semble pas influencer les choix des graphiques. En effet, aucune tendance particulière n'est révélée à l'examen des réponses (tableau en annexe V).

2.2.2 Influence du niveau de formation

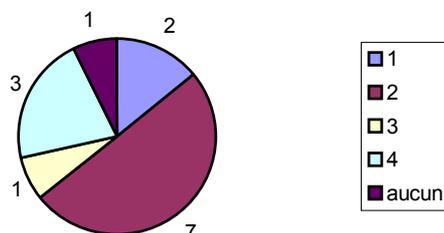


Figure 21 : Choix du graphique présentant les incertitudes parmi la population d'un niveau de formation inférieur ou égal à BAC+2 (question 3)

Il peut être observé figure n°19 que trois personnes ayant pour niveau de formation BEP ont choisi le graphique n°4. Ce graphique représente la probabilité cumulée : il s'agit donc d'une courbe. A l'issue de l'entretien, il peut être conclu que ce choix relève plus d'un

critère esthétique que du critère informatif du graphique. Il ressort de cette analyse que le graphique recevant le plus de suffrages est le **graphique n°2** avec 50 % des votes.

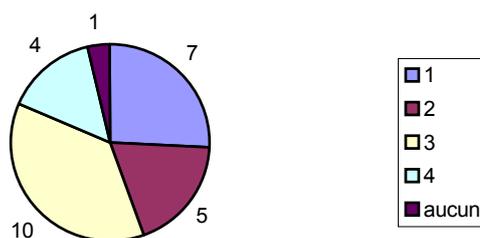


Figure 22 : Choix du graphique présentant les incertitudes parmi la population d'un niveau de formation supérieur à BAC+2 (question 3)

Il apparaît figure n°20 que les **graphiques n°1 et n°3** reviennent le plus fréquemment dans les choix des personnes interviewées dotées d'un diplôme supérieur à BAC+2.

2.2.3 Influence des connaissances de la population

La distinction public averti et non averti, tableau n°15, est intéressante pour comparer les réponses des personnes dotées d'un diplômes supérieur à BAC+2.

Type public	Graphique choisi					Total
	1	2	3	4	aucun	
Averti	5	4	6	1		16
Non averti	2	1	4	3	1	11
Total	7	5	10	4	1	27

Tableau 15 : Choix des personnes dotées d'un diplôme supérieur à BAC+2 suivant leur état de connaissance (question 3)

Pour un public **averti** le **graphique n°4** ne semble pas être favorable pour la communication des incertitudes liées à l'EIS. Alors que pour le public **non averti**, le **graphique n°2** paraît le plus défavorable.

2.2.4 Influence du type de formation suivi

Tout comme pour la question précédente, le type de formation suivi par les personnes interrogées ne semble pas influencer leur choix (tableau annexe V).

3 LA PRESENTATION DES DIFFERENTS SCENARIOS D'EXPOSITION A LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE

A la question 5 relative à l'utilité de présenter les résultats de différentes stratégies de lutte contre la pollution atmosphérique, 100 % des personnes interrogées répondent qu'ils estiment cette information d'autant plus indispensable que ce n'est pas forcément le message transmis à ce jour par les médias.

3.1 Graphique le plus clair

D'après les réponses obtenues, le graphique le plus apprécié des personnes interviewées est le **graphique n°3**, figure n°21.

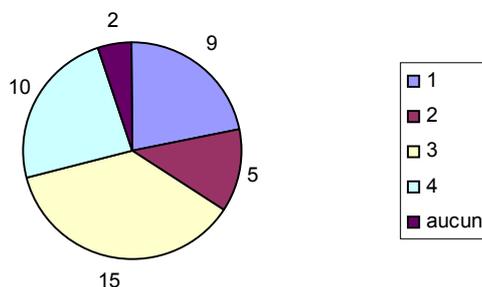


Figure 23 : Répartition des choix de la population interrogée (question 6)

3.1.1 Influence de l'activité professionnelle

Activité Professionnelle	Graphique choisi					Total
	1	2	3	4	aucun	
Association protection environnement	1		3	2		6
Collectivité territoriale			2			2
Elu		1		1		2
Expert scientifique	1			1	1	3
Grand public	4	3	5	5		17
Ingénieur administration déconcentrée	1		5	1		7
Journaliste	2	1			1	4
Total	9	5	15	10	2	41

Tableau 16 : Répartition des choix suivant l'activité professionnelle de la population interrogée (question 6)

La stratification selon l'activité professionnelle (tableau n°16) révèle une préférence du **graphique n°3** pour les **ingénieurs des administrations déconcentrées**. Il est également à noter que contrairement aux autres classes, le **grand public** ne rejette pas le **graphique n°2**.

Pour le **grand public**, les présentations **n°1, n°3 et n°4** se valent.

3.1.2 Influence du niveau de formation

Contrairement aux questions précédentes, le niveau de formation n'influence pas le choix du graphique relatif à la présentation de différents scénarios d'exposition à la pollution atmosphérique (tableau annexe V).

3.1.3 Influence de l'état de connaissance

La sensibilité et les connaissances des personnes interrogées semblent intervenir dans la modalité de choix du graphique de la planche II. En effet, il est à noter que la population dite **avertie** oriente son choix sur le **graphique n°3** alors que la population non-avertie ne semble pas préférer une des présentations plus qu'une autre.

Type public	Graphique choisi					Total
	1	2	3	4	aucun	
Averti	3		9	4	1	17
Non averti	6	5	6	6	1	24
Total	9	5	15	10	2	41

Tableau 17 : Répartition des choix suivant l'état de connaissance de la population interrogée (question 6)

3.1.4 Influence du type de formation

Le type de formation n'influe pas particulièrement sur le choix du graphique (tableau annexe V).

3.2 Graphique le moins clair

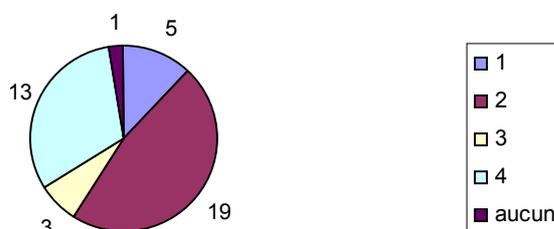


Figure 24 : Répartition des choix de la population interrogée (question 7)

Ce sont (figure n°22) les **graphiques n°2 et n°4** qui transmettent le moins bien l'information souhaitée.

3.2.1 Influence de l'activité professionnelle

Dans l'ensemble, l'activité professionnelle exercée ne semble pas intervenir dans le choix du graphique le moins clair. Il est à souligner toutefois, que les **ingénieurs des administrations déconcentrées** rejettent le **graphique n°2**.

Catégorie SP	Graphique choisi					Total
	1	2	3	4	aucun	
Association protection environnement	1	2		3		6
Collectivité territoriale		2				2
Elu	1			1		2
Expert scientifique		1		2		3
Grand public	3	6	3	5		17
Ingénieur administration déconcentrée		6		1		7
Journaliste		2		1	1	4
Total	5	19	3	13	1	41

Tableau 18 : Répartition des choix suivant l'activité professionnelle de la population interrogée (question 7)

3.2.2 Influence du niveau de formation

Le niveau de formation n'influe pas sur le choix du type de graphique (tableau annexe V).

3.2.3 Influence de l'état des connaissances des personnes interrogées

Le population considérée comme avertie semble avoir un jugement plus net que la population non-avertie. En effet, même si les effectifs sont trop faibles pour réaliser le test du χ^2 , la population avertie rejette plus catégoriquement le graphique n°2.

Type public	Graphique choisi					Total
	1	2	3	4	aucun	
Averti	1	10		6		17
Non averti	4	9	3	7	1	24
Total	5	19	3	13	1	41

Tableau 19 : Répartition des choix suivant l'état de connaissance de la population interrogée (question 7)

3.2.4 Influence du type de formation

Le type de formation n'influe pas sur le choix du type de graphique (tableau annexe V).

3.2.5 Compréhension du message

A la question n°8 destinée à vérifier si le message devant être transmis est effectivement compris par la personne interviewée. Il apparaît que 100 % des personnes interrogées ont compris le message.

4 LA PRESENTATION DES SCENARIOS DE GESTION SUR LE COURT TERME OU LE LONG TERME

Seuls les résultats de la première question (choix du graphique le plus clair) concernant cette planche sont présentés, la deuxième question (choix du graphique le moins clair) constituant sont pendant.

4.1 Graphique le plus clair

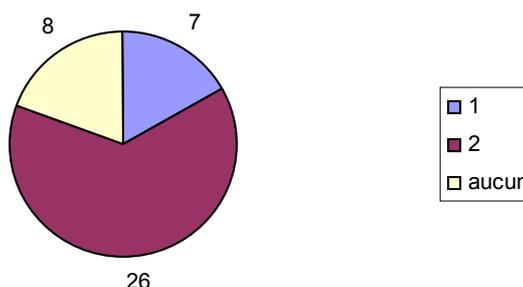


Figure 25 : Répartition des choix de la population interrogée (question 9)

Le graphique choisi par la population (figure n°23) est le n°2 avec 60 % des réponses. Il est à signaler que 20 % de la population interrogée n'en préfère aucun.

4.1.1 Influence de l'activité professionnelle

Activité Professionnelle	Graphique choisi			Total
	1	2	aucun	
Association protection environnement	2	3	1	6
Collectivité territoriale		1	1	2
Elu	1	1		2
Expert scientifique	1	1	1	3
Grand public	1	11	5	17
Ingénieur administration déconcentrée		7		7
Journaliste	2	2		4
Total	7	26	8	41

Tableau 20 : Répartition des choix suivant l'activité professionnelle de la population interrogée (question 9)

A l'unanimité (tableau n°20) les **ingénieurs des services déconcentrés** préfèrent le **graphique n°2**. De plus, le **grand public** contribue à la hauteur de **63 % des 20 %** des personnes ne préférant **aucun graphique**.

4.1.2 Influence du niveau de formation

Le niveau de formation (tableau n°21) semble influencer le choix du graphique.

Niveau de formation	Graphique choisi			Total
	1	2	aucun	
Egal ou inférieur à BAC+2	1	8	5	14
Diplômes supérieurs	6	18	3	27
Total	7	26	8	41

Tableau 21 : Répartition des choix suivant le niveau de formation de la population interrogée (question 9)

La proportion la plus importante de personnes n'ayant choisi aucun graphique possède un niveau de formation inférieur ou égal à BAC+2.

4.1.3 Influence de l'état de connaissance de la population interrogée

La stratification selon le niveau de connaissance et le niveau de formation (tableau n°22) révèle que pour le public non averti doté d'un niveau de formation inférieur ou égal à BAC+2, la réponse « aucun » des deux graphiques est donnée beaucoup plus fréquemment que parmi le public non-averti doté de diplômes supérieurs.

Type public	Niveau de formation	Graphique choisi			Total
		1	2	aucun	
Averti	Egal ou inférieur à BAC+2		1		1
	Diplômes supérieurs	3	11	2	16
Non averti	Egal ou inférieur à BAC+2	1	7	5	13
	Diplômes supérieurs	3	7	1	11
Total		7	26	8	41

Tableau 22 : Répartition des choix suivant l'état de connaissance et le niveau de formation de la population interrogée (question 9)

4.1.4 Influence du type de formation

Le type de formation suivi n'influe pas sur le choix du graphique (tableau annexe V).

5 RESUME DES RESULTATS DE L'ENQUETE

Sommairement, le résumé des résultats de l'enquête est le suivant :

Planche	Graphiques choisis	Variable explicative
I	- Graphique n°2, - Graphique n°3	- Niveau de formation (+/- BAC+2)
II	- Graphique n°3, - Graphique n°1 et n°4,	- Etat de connaissance et sensibilité
III	- Graphique n°2, - Aucun	- Niveau de formation (+/- BAC+2)

Tableau 23 : Résumé résultats de l'enquête

Il convient de garder à l'esprit que ces résultats sont des tendances qui peuvent être remises en cause, l'échantillon étudié étant petit.

V – DISCUSSION - PROPOSITION

Au cours de cette partie, vont être développés successivement une analyse commentée des résultats obtenus, leurs limites et des propositions envisageables suite à ce travail exploratoire.

1 DISCUSSION DES RESULTATS

A la vue des résultats, quelques commentaires se dégagent sur les différentes planches de graphiques présentées et les choix effectués par la population interrogée.

Il est à noter qu'une remarque générale relative aux couleurs des graphiques a été faite : l'utilisation d'un même code de couleur et d'un gradient selon le danger amélioreraient leur compréhension.

1.1 La communication des incertitudes liées au modèle

1.1.1 La communication des incertitudes : une information jugée nécessaire

A la question relative à l'utilité d'être informé sur les incertitudes de l'impact de la pollution atmosphérique, la totalité de la population interrogée répond « oui ». En effet, la communication des incertitudes liées à la méthode ne discrédite en rien cette démarche. Au contraire, le grand public semble sensible à ce genre d'information et souligne que « ce n'est pas parce que les résultats ne sont pas sûrs qu'il ne faut pas agir ».

1.1.2 Les probabilités semblent rendre l'information sur les incertitudes inaccessible à une partie de la population

Le niveau de formation influence le choix du type de graphique pour la présentation des incertitudes. Les personnes dotées d'un diplôme de niveau supérieur à BAC + 2 s'orientent vers une information synthétique que transmet clairement les graphiques probabilistes. Hormis le problème des probabilités, ces graphiques sont moins chargés et nécessitent moins d'explication en ce qui concerne la méthode de l'EIS. En revanche, la notion de probabilité rebute les personnes pourvues de diplômes inférieurs ou égal à BAC + 2, par défaut, ces personnes choisissent donc les diagrammes à bâtons. Ceci peut s'expliquer par le fait que ces derniers, tout comme les graphiques de type camembert, sont beaucoup utilisés. D'autre part, ils peuvent lire la variation du nombre de cas clairement sur le graphique n°2. La compréhension des sources d'incertitudes présentées et de la méthode de l'EIS ne semble pas atteinte au travers des graphiques de type Excel, l'information retenue étant simplement la variation du nombre de cas. La méthode en elle-même est trop complexe et n'intéresse pas ou peu le public non averti.

1.1.3 Une indispensable adaptation des données présentées

Parmi les commentaires les plus fréquents, la nécessité d'une simplification des termes tels que risque relatif et nombre de cas est souvent mentionnée. En ce qui concerne la présentation des graphiques, la couleur des graphiques probabilistes est considérée comme

trop sombre. De plus pour le graphique n°1, la représentation des incertitudes sous la forme d'une barre ne semble pas très compréhensible pour la majorité des personnes interrogées. Les valeurs indiquées sur les graphiques telles que $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme niveau de référence retenu semblent induire les personnes interrogées en erreur, ces dernières considérant que le niveau moyen mesuré est de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

1.1.4 La communication écrite semble être indispensable pour la communication sur les incertitudes

Enfin, il paraît nécessaire de présenter les graphiques avec une ou plusieurs phrases de légende expliquant pour les graphiques de type 1 quelles sont les incertitudes présentées, et pour les graphiques de type 2, quels sont les incertitudes prises en compte. La légende devra également conforter le message du graphique avec par exemple, une phrase telle que « on détermine qu'en moyenne 5 admissions hospitalières en période estivale sont dues à la pollution atmosphérique. Les incertitudes du modèle font que ce résultat peut à 90 % de chances être compris entre 2 et 10 cas ».

La communication des incertitudes de l'impact de la pollution atmosphérique intéresse la population. Le compromis devant être atteint serait donc de présenter la variation du nombre de cas liée à l'incertitude sans utiliser la notion de probabilité et sans entrer dans le détail de la méthode de l'EIS. D'autre part, il ne faut pas omettre de tester le commentaire de légende du graphique : élément nécessaire à la compréhension du message.

1.2 La communication sur les conséquences sanitaires des différents scénarios de lutte contre la pollution

Le graphique n°3 est celui considéré comme le plus clair sur l'ensemble des choix de la population interrogée. Toutefois, les graphiques n°1 et 4 sont également choisis fréquemment.

1.2.1 La communication sur les effets de l'exposition chronique pour combattre les idées reçues

A la question sur l'utilité de communiquer sur les conséquences sanitaires de différents scénarios de lutte contre la pollution, 100 % de la population interrogée répond qu'elle est très intéressée. En effet, les informations transmises par les médias concernent à ce jour exclusivement les pics de pollution. Ils construisent ainsi l'illusion que les effets de la pollution atmosphérique sont des effets avec seuil. Les habitants de Rennes ou Caen, pour lesquels le seuil d'alerte et d'information du public est rarement dépassé, s'estiment donc épargnés par les effets de la pollution de l'air. Ils considèrent d'ailleurs que les populations exposées aux pics d'ozone, telles que les grenoblois, sont fortement menacées par cette pollution.

Même si quelques personnes ne sont pas dans cette situation, une grande partie du grand public croit à cette notion de seuil et a été surprise par les informations révélées par la présentation des conséquences des différents scénarios d'exposition.

1.2.2 L'enjeu décisionnel oriente le choix du graphique présentant la gestion et les conséquences de différents scénarios d'exposition

La stratification des résultats selon deux catégories de public : public averti et non averti, permet de mettre en évidence que la prise de décision est un élément favorisant le choix du graphique n°3. En effet, ce graphique est synthétique et contrairement au graphique n°1 il permet de mesurer l'impact du choix d'une politique de lutte contre la pollution avec pour référence le scénario où la politique choisie est « ne rien faire ». En dehors de ce contexte particulier, les graphiques n°1, 3 et 4 obtiennent le même nombre de choix. La question de la compréhension de ces graphiques peut alors être soulevée, toutefois, il apparaît à l'issue des entretiens que ce défaut de choix s'explique plutôt par d'importants besoins d'amélioration que par une mauvaise compréhension des graphiques. Seul le graphique n°2 ne convient pas pour la présentation des différents scénarios.

1.2.3 Les habitudes de présentation condamne la comparaison d'aires

Les habitudes de présentation sous forme d'histogramme entraînent un rejet du graphique n°2. En effet, la comparaison d'aires est habituellement utilisée pour les modèles d'informations géographiques afin de comparer différentes populations ou différentes villes. Le problème de la compréhension des aires mentionné dans la synthèse bibliographique est ici vérifié.

1.2.4 Les commentaires généraux en vue de l'amélioration des présentations

Globalement la communication par la voie graphique semble plus adaptée que du texte ou des tableaux pour ce thème même si des remarques ont été faites sur la possibilité d'utiliser l'infographie (symboles tels que pots d'échappements,...). Les graphiques de la planche II, contrairement à ceux de la planche I, semblent se suffire à eux-même. En effet, le besoin d'une légende explicative est moins souvent exprimé.

Pour le graphique n°3, la suggestion d'une présentation verticale plutôt qu'horizontale a été faite, ceci à cause des habitudes de lecture. De plus, la modification de l'ordre des scénarios a été suggérée. En effet, il apparaîtrait plus logique de présenter en premier la politique actuellement menée en France (suppression des pics), puis le scénario d'une diminution du niveau moyen de 25 % et enfin le scénario idéal de diminution de niveau de pollution à un niveau faible.

La simplification des termes a également été demandée : le terme gain sanitaire étant trop flou et pouvant être assimilé à des termes financiers (gain économique). Pour le public averti, l'utilisation de $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ comme niveau de référence pour les pics de pollution semble étrange étant donné que le niveau de référence retenu pour l'information du public recommandé par la législation est de $180 \mu\text{g}/\text{m}^3$. L'inconvénient est que, pour des villes comme Caen ou Rennes, ce seuil est rarement atteint dans une année, il est donc nécessaire de prendre un niveau de référence plus faible afin de pouvoir illustrer la notion de pic.

Quelques propositions ont également été faites pour améliorer et alléger le graphique n°4. Ce dernier était souvent jugé intéressant mais trop chargé. Les propositions d'amélioration sont les suivantes :

- Diviser le graphique en deux graphiques comparant à chaque fois le scénario idéal de diminution à un niveau faible de pollution à celui de suppression des pics puis à celui de

diminution de 25 % des niveaux moyens d'exposition en utilisant un histogramme à deux couleurs suivant le principe du graphique n°3,

- Présenter les résultats par classe sur une courbe et non avec des barres d'histogramme afin de mieux visualiser les tendances,

La communication sur les effets sanitaires dus à une exposition chronique est indispensable. L'analyse des résultats révèle que pour le public non averti trois propositions graphiques se valent, et qu'une amélioration des présentations pourrait mieux orienter un choix.

1.3 La communication sur les différentes conséquences sanitaires sur le court terme et le long terme

D'après les résultats statistiques obtenus, le graphique n°2 semble être le graphique le plus clair. Toutefois, il ne faut pas omettre les personnes ayant choisi la réponse aucun et les remarques relatives à cette planche.

1.3.1 La pertinence de la communication graphique sur les conséquences sanitaires sur le court terme et le long terme ne paraît pas établie

Il s'avère que quelques personnes interviewées s'interrogeaient sur la pertinence de présenter ces résultats graphiquement, le nombre de données à communiquer étant faible. De plus, la différence entre court terme et long terme est complexe à expliquer et à comprendre. Pour un public averti la quantification des effets à long terme est une information intéressante. Pour le public non averti l'existence des effets à long terme est déjà un message en soi ; il paraît notamment intéressé par des informations sur les effets à long terme pour des classes d'âges particulières telles que les enfants.

1.3.2 La communication écrite semble être plus adaptée que les graphiques

La communication sur les différentes pathologies dues à la pollution atmosphérique et sur les conséquences de différentes expositions semble être plus adaptée à la communication écrite. Les explications et les définitions concernant ces deux phénomènes méritent d'être exposées clairement par écrit. Bien que le message soit intéressant à communiquer, la communication graphique, nécessitant des détails et de la clarté, ne semble pas adaptée. En effet, la légende devant accompagner le graphique serait beaucoup trop importante. D'autre part, le graphique ne semble pas apporter beaucoup plus au message puisqu'il permet simplement la comparaison deux ou quatre chiffres.

D'après les résultats de l'enquête, la communication sur les effets à court terme et à long terme ne nécessite pas forcément une présentation graphique. En effet, un texte expliquant les enjeux sanitaires à le long terme et le cas échéant une quantification de ces effets serait suffisant et plus pertinent.

2 LES LIMITES DE L'ENQUETE

Cette enquête ayant été réalisée dans le cadre d'un travail exploratoire, les résultats obtenus soulignent des tendances mais leur interprétation est limitée du fait de l'échantillon et du mode d'enquête.

2.1 Un échantillon petit et non représentatif

Comme cela avait été expliqué au cours du chapitre II, les moyens et le temps ont manqué au cours de ce travail. Le nombre de personnes interviewées est donc faible et les personnes contactées ne constituent pas un échantillon représentatif de la population française actuelle. Certes, les récentes enquêtes de ce genre ne se basaient pas forcément sur un échantillon représentatif car elles avaient pour objectif premier l'obtention d'informations qualitatives et non quantitatives. Toutefois, en ce qui concerne le grand public, il paraît indispensable de réaliser un échantillonnage représentatif de la population française actuelle.

2.2 Une enquête non conventionnelle

Au cours des véritables enquêtes, les interviewers ne s'écartent pas de leur grille d'entretien et ne répondent pas aux questions des personnes interrogées. Dans ce travail, le dialogue a volontairement été ouvert afin de recueillir les avis sur les présentations et les informations estimées nécessaires par la population interrogée.

De plus, cette enquête se déroulant dans le cadre d'un travail exploratoire, ce type de déviation est acceptable.

3 PROPOSITIONS : UNE ENQUETE SUR DE NOUVEAUX GRAPHIQUES

Les résultats obtenus ajoutés aux commentaires recueillis au cours des entretiens permettent de proposer de nouveaux graphiques (annexe VI planche I et planche II). De plus, les graphiques seront cette fois présentés avec une légende afin de tester l'efficacité de ces dernières.

Il convient de souligner l'importance de faire un point non pas au cours de l'interview mais à la fin de celui-ci sur ce que la personne interrogée a retenu. Pour cela, une grille de possibilités peut être préparée (nombre moyen de mort, incertitude, faible importance des pics,....) et complétée à la fin de l'entretien.

3.1 Planche 1 : la communication des incertitudes

Le souhait de trouver un compromis entre probabilité et diagramme à bâtons fait qu'une nouvelle présentation graphique telle que le box plot peut être envisagée. En effet, le box plot présente la distribution des résultats en résumant les données intéressantes (moyenne ; percentiles 25 et 75 ou autres, minimum et maximum) selon un mode de présentation se rapprochant des diagrammes à bâtons. D'autre part, les graphiques présentant la probabilité cumulée et les incertitudes sous forme de barres sont abandonnés, les résultats obtenus d'après l'enquête montrant qu'ils n'étaient pas efficaces. Le graphique présentant séparément l'estimation basse, moyenne et haute est conservé.

D'autre part, un texte seul expliquant les mêmes informations que celles transmises par les graphiques pourrait être testé.

3.2 Planche 2 : la communication sur les différents scénarios d'exposition

L'ancien graphique n°4 peut être repris de deux façons soit en décomposant ce graphique en deux différents, soit en présentant la répartition selon les classes avec une courbe. Le graphique n°3 peut être présenté verticalement, l'ordre des scénarios ayant été modifié selon les suggestions précédemment citées.

Enfin, le graphique n°1 peut être conservé afin d'être à nouveau testé.

3.3 Planche 3 : la communication sur les conséquences à court terme et à long terme

La planche de communication sur ce thème est celle devant faire l'objet des principales modifications. En effet, il ressort de l'enquête que ce n'est pas tant la forme qui pose problème mais plutôt le fond. Le message précédemment fourni était trop complexe et pas assez concret pour le public non averti car pour lui les notions de court terme et de long terme sont trop abstraites. Il s'agit donc de trouver d'autres données permettant de souligner l'importance des conséquences sanitaires sur le long terme. Pour cela deux options sont envisageables :

- La présentation du nombre d'années de vie perdues selon une exposition sur le long terme ou le court terme [55], la synthèse bibliographique soulignant que la population est plus sensible à des données individuelles qu'à un chiffre global,
- La présentation de résultats tels que :
 - o le nombre de bronchites chroniques attribuables à la pollution atmosphérique par classes d'âge différentes pour souligner les conséquences d'une exposition chronique à long terme,
 - o ou le nombre de cancers du poumon contractés pour le long terme et le nombre d'hospitalisations pour motif cardio-vasculaire pour le court terme,
 - o ou le nombre de cancers du poumon contractés pour le long terme et le nombre de décès pour cause d'arrêt cardiaque pour le court terme [55],

D'autre part, un texte seul transmettant le même message que les graphiques pourrait être présenté.

Les difficultés calculatoires relatives aux nombres d'années de vie perdues empêchent la présentation de cette troisième planche en annexe.

VI - CONCLUSION

Ce travail exploratoire vient répondre à une question importante et peu souvent étudiée : la communication de résultats scientifiques. Cette démarche se situe en aval de nombreuses études et d'importants travaux scientifiques. Il apparaît que les scientifiques vont devoir faire un travail de communication à l'intention du grand public de plus en plus important. En effet, la totalité des personnes interrogées est intéressée par la communication des incertitudes et souhaite être informée des connaissances dont les scientifiques disposent sur les dangers liés à l'exposition chronique. La prise en compte des incertitudes dans la communication de l'impact de la pollution atmosphérique ne discrédite pas la démarche scientifique et la rend vraisemblablement moins mystérieuse.

A ce jour, le grand public, cible final du message semble encore beaucoup conditionné par ce que soulignent les médias, autrement dit les pics de pollution. De plus, beaucoup perçoivent encore les industries comme les premières sources de pollution. A titre d'exemple, parmi la population interrogée, habitant le quartier Villejean à Rennes, le problème de l'incinérateur a été mentionné beaucoup plus de fois que celui de la rocade de Rennes et de la circulation. La circulation automobile est plus souvent perçue comme une source de danger pour les enfants que comme principale émettrice de polluants atmosphériques. La population n'est pas consciente ou tout du moins accepte, comme pour le tabac, le risque sanitaire lié à la pollution atmosphérique urbaine.

Dans le contexte institutionnel, bien qu'utilisés au niveau national et européen, il s'avère que les indicateurs d'exposition ne constituent pas un support de décision [57] au niveau local. Ainsi, même si les mesures des polluants sont reconnus comme des indicateurs de développement durable, ils n'occupent aucune place dans le système décisionnel local comme le révèlent les propos tenus par un élu au cours de l'enquête : « A ce jour, on mesure beaucoup de chose mais tout cela reste dans nos tiroirs. C'est bien dommage ».

L'analyse des grandes campagnes sur des sujets d'intérêt collectif tels que la sécurité routière, lutte contre le tabagisme, l'alcoolisme ou le bruit montre la nécessité d'une méthodologie rigoureuse pour concevoir et mettre en œuvre une communication efficace.

Dans le cas de la qualité de l'air la phase de sensibilisation déjà engagée par différents acteurs est à parfaire au travers de messages plus concentrés. C'est en effet, une des clefs pour envisager ensuite la modification de certains comportements défavorables à la meilleure qualité de l'air. Comme dans les autres campagnes d'intérêt public, il faudra valider les axes de communication en évitant par exemple une excessive dramatisation, un ton moralisateur ou d'injonction et privilégier plutôt un axe de bénéfice individuel que d'appel incantatoire au civisme. La force de l'impact de la pollution atmosphérique est que la population entière y est exposée alors qu'au niveau individuel le risque relatif est très faible, toutefois, la sensibilisation de la population ne peut se faire qu'en utilisant un message soulignant l'impact individuel ou en jouant sur la fibre sensible que constitue les enfants.

BIBLIOGRAPHIE

1. P Glorennec and P. Quénel, *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique*. 1999, Institut de Veille Sanitaire.
2. ROMMENS C, et al., *La nécessaire prise en compte des incertitudes dans les évaluations de risque : l'exemple du Groupe radioécologie Nord-Cotentin*, in *Environnement, Risques et Santé*. 2002. p. 276-282.
3. V MANDEL, *Comment développer une conscience écologique?*, in *La Recherche*. 1992. p. 664-666.
4. Mukherjee, B., *Public response to air pollution in Calcutta proper*, in *Journal of Environmental Psychology*. 1993.
5. Vedieu, J., *Enquête d'opinion "Ozone indicateur de la pollution photochimique en France, évaluations des risques pour la santé. Mesures de prévention et de protection? Stratégie de communication*. 1996, AIRPARIF: Paris. p. 99-109.
6. CREDOC, *Enquête "Conditions de vie et aspirations des Français"*, in *Les Données de l'Environnement*. 1996.
7. M Boyer, G Herlich, and B. Maresca, *L'environnement, question sociale-démocrate*. 2001, Paris: Odile Jacob.
8. A Moch and I. Roussel, *Représentation et évaluation de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Dunkerque*. 2000, Primequal-Predit - APPA.
9. Y Guermond and A Demzuk, *La pollution atmosphérique d'origine industrielle : les incertitudes de la mesure et de la perception*, in *Les annales de la recherche urbaine*. 1996. p. 84-89.
10. P Colomb and F Gueri-Pacé, *L'âge et les perceptions de l'environnement*, in *Population et Sociétés*. 1994.
11. A Moch, *La communication sur la pollution atmosphérique : le point de vue du psychosociologue*, in *TSM*. 2002.
12. A Moch and B Bonnefoy, *Odeurs et environnement urbain : le métro parisien*, in *Psychologie Française*. 1997. p. 175-182.
13. Céline Leclerc and Muriel Boin, *Sensibilisation des élus locaux à la pollution atmosphérique et aux enjeux de santé publique en région centre*. 2002, ORS Languedoc-Roussillon.
14. E Zagury, et al., *Enquête auprès des chauffeurs de taxi artisans parisiens : perception de la pollution d'origine automobile*, in *Pollution Atmosphérique*. 1998. p. 61-70.
15. PK Chattopadhyay, B Som, and P. Mukhopadhyay, *Air pollution and health hazards in human subjects : physiological and self-report indices*, in *Journal of Environmental Psychology*. 1995. p. 327-331.

16. PM Cavalini, LG Koeter-Kemmerling, and M. Pulles, *Coping with odour annoyance and odour concentrations : three field studies*, in *Journal of Environmental Psychology*. 1991. p. 123-142.
17. B Maresca and P Hebel, *L'environnement : Ce qu'en disent les Français*. 1999, Paris: La documentation Française.
18. CM Vadrot and M. Dejouet, *La place de l'environnement dans les médias*. 1998, Paris: Victoires Editions.
19. CREDOC, *Enquête Conditions de vie et aspirations des Français*. 1998.
20. ADEME, *Les Français et l'environnement : attitudes et comportements*. 1999.
21. IFEN, *Pratiques environnementales des ménages et modes de vie*, in *Les données de l'environnement*. 1998.
22. I Roussel, HJ Scarwell, and S Callens, *La perception du risque lié à la pollution atmosphérique par les élus locaux : exemple du département du Nord*. 1998, Primequal-Predit. p. 21-27.
23. Langumier, J., *La pollution de l'air dans la presse : une représentation "dramatique" - Etude de la production des quotidiens régionaux de l'agglomération lyonnaise*, in *Pollution Atmosphérique*. 2002. p. 503-512.
24. Morgan MG, Henrion M, and S. M, *Uncertainty : a guide to dealing with uncertainty in quantitative risk and policy analysis*. 1990, New York: Cambridge University Press. 332 p.
25. GWI, S., *Ecological risk assessment*. 1993, Michigan: Lewis Publisher. 538 p.
26. L Pascal and S. Cassadou, *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : Actualisation du guide méthodologique*. 2003, InVS. p. 38.
27. WHO, *Monitoring air quality for health impact assessment*. 1999, Copenhagen: WHO Regional Publications, European Series n°85. 181 p.
28. Dab W, et al., *Pollution atmosphérique et santé : corrélation ou causalité? Le cas de la relation entre l'exposition aux particules et la mortalité cardio-pulmonaire*, in *Pollution Atmosphérique*. 2001. p. 219-234.
29. Laméloise, P., *Influence de la hauteur de la prise d'échantillon sur les teneurs mesurées*. 1996, Primequal-Predit: Paris.
30. Sacré, C., *Etude de la représentativité des mesures de proximité de la pollution atmosphérique en site urbain, proposition pour une normalisation des résultats*. 1996, Primequal-Predit: Paris.
31. Squinazi, F., *Evaluation de l'exposition des citoyens aux polluants atmosphériques d'origine automobile au cours de leurs déplacements dans l'agglomération parisienne*. 1995, Primequal-Predit: Paris.

32. Mathieu Pellerin and Jérôme Ferry, *Evaluation des incertitudes pour la monétarisation des effets de la pollution atmosphérique d'origine automobile sur la santé*. 2000, CEREVERE - ENPC. p. 77 p.
33. Mickaël Derbez, Luc Mosqueron, and V. Nedellec, *Quelles sont les expositions humaines à la pollution atmosphérique?* La Documentation Française ed. 2001: Primequal-Predit. 64 p.
34. SPADARO, J.V., *Evaluation des dommages de la pollution de l'air : modélisation, études de sensibilité et applications*. 1999, Ecole des Mines de Paris: Paris.
35. Hervé Garin, Christine Bouchet, and François Kohler, *Contrôle de qualité et valorisation de l'activité des hôpitaux*, in *Gestions Hospitalières*. 1999.
36. JM Cauvin, et al., *Qualité du codage et conséquences en ISA et journées théoriques : à partir des fichiers de 100 dossiers recodés par établissement*, in *Journal d'Economie Médicale*. 1997. p. 195-206.
37. ML Laroche, et al., *Qualité des données PMSI au CHU de Limoges : application de la méthode L.Q.A.S.*, in *Revue Epidémiologie Santé Publique*. 2002. p. 433-439.
38. Neuilly M, C., *Modélisation et estimation des erreurs de mesure*. 1998, Paris: Tec&Doc. 692 p.
39. H. Sahai and A. Kurshid, *Statistic in Epidemiology : methods, techniques and applications*. 1995, Boca Raton: CRC-Press. 321 p.
40. A.C. Cullen and H.C. Frey, *Probabilistic Techniques in exposure Assessment : a Handbook for dealing with variability and uncertainty in Models and Inputs*. 1999, New York: Plenum Press. 335 p.
41. Ferson, S., *What Monte Carlo Methods Cannot Do*, in *Human and ecological Risk assessment*. 1996. p. 990-1007.
42. Bouchon-Meunier, B., *La logique floue et ses applications*. 1995, Paris: Addison-Wesley. 257 p.
43. Guyonnet D, et al., *A hybrid approach for addressing uncertainty in risk assessments*, in *Journal of environmental Engineering*. 2003.
44. Bertin, J., *Sémiologie Graphique*. 1993, Paris.
45. Cleveland, W., *The Elements of Graphing Data*. 1985, Wadsworth, California.
46. JG HOLLANDS and I. SPENCE, *Judging Proportion with Graphs : The summation Model*, in *Applied Cognitive Psychology*. 1998. p. 173-190.
47. JG HOLLANDS and I. SPENCE, *The Discrimination of Graphical Elements*, in *Applied Cognitive Psychology*. 2001. p. 413-431.
48. Rutchik, R.H., *EIA Guidelines for Statistical Graphs*. 1999.
49. Csinger, A., *The Psychology of visualization*. 1992.

50. Tufte, E., *Short Course on Statistical Graphs*. 1992, Washington DC.
51. Alison C CULLEN and H Christopher FREY, *Probabilistic techniques in exposure assessment*. Plenum Editions.
52. Thomas E. McKone, *Alternative modelling approaches for contaminant fate in soils : uncertainty, variability and reliability*, in *Reliability Engineering and system safety*. 1996. p. 165-181.
53. INSEE, *Recensement général de la population 1999*. 1999, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques: Paris.
54. Glorennec Philippe, Q.P., *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique*. 1999, Institut de Veille Sanitaire.
55. Künsli N, et al., *Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution : a European assessment.*, in *Lancet*. 2000. p. 795-801.
56. Olm, C., *La formation écorisque : opinions et mise en pratique*. 2000, CREDOC.
57. PASTILLE, *Indicators into Action : Local Sustainability Indicator Sets in Their Context*. 2003, The PASTILLE Project Consortium: London. p. p 97.

**ANNEXE 1 : EVALUATION D'IMPACT SANITAIRE DE LA
POLLUTION ATMOSPHERIQUE URBAINE SUR LA VILLE DE CAEN,
AOUT 2003**



ENSP
ÉCOLE NATIONALE DE
LA SANTÉ PUBLIQUE
RENNES



Impact sanitaire de la pollution atmosphérique

Impact sanitaire sur l'agglomération caennaise

Août 2003

Réalisé par : F. MONROUX

Avec le concours de :



Ministère de l'emploi
et de la solidarité

DDASS du Calvados
DRASS de Basse Normandie

Ont participé à cette étude réalisée par F. MONROUX:

- ✓ Ecole Nationale de la Santé Publique : P. GLORENNEC,
- ✓ Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Calvados : C. BOUTET,
- ✓ Air COM : JP. GOGUET,
- ✓ Département d'Information Médicale : Docteur Valérie HAMON-POUPINEL,

Les objectifs de cette étude sont :

- ✓ répondre à l'obligation d'évaluer les effets sanitaires de la pollution atmosphérique (article 3 de la loi sur l'air), notamment dans le cadre du Plan Régional pour la Qualité de l'Air, en prenant en compte des effets à long terme,
- ✓ informer la population sur l'impact, au niveau local, de la pollution de l'air sur la santé,

Cette étude a ainsi pour objet de calculer l'impact à court terme et à long terme sur la santé selon divers scénarii de pollution (passage d'un niveau moyen d'exposition à un niveau plus important ou moindre), en utilisant comme indicateurs :

- ✓ La mortalité toutes causes sauf accidentelles,
- ✓ Les admissions hospitalières pour causes respiratoires et causes cardio-vasculaires,

L'étude porte sur l'agglomération caennaise qui dispose depuis plusieurs années de mesures de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique grâce à un réseau de surveillance de la qualité de l'air géré par l'association Air COM (anciennement ESPAC), association loi 1901.

Ce document présente la démarche d'évaluation d'impact sanitaire (EIS) mise en œuvre sur l'agglomération caennaise conformément au guide méthodologique élaboré par l'Institut de Veille Sanitaire [1].

Une telle étude avait déjà été réalisée sur la ville de Caen en 1999 sur la période octobre 1997- octobre 1998. Toutefois, la parution d'études épidémiologiques estimant l'impact à long terme sur la mortalité, la publication d'articles sur les avantages et les limites respectifs des évaluations d'impact sanitaire court et long terme sur la mortalité[2, 3] et les recommandations de l'Organisation Mondiale de la Santé formulées en Novembre 2000 sur ce thème[4] ont conduit les professionnels de santé publique à envisager des EIS sur le long terme au niveau local.

SOMMAIRE

<u>1</u>	<u>DESCRIPTION DE LA ZONE D'ÉTUDE</u>	65
<u>1.1</u>	<u>Population</u>	65
<u>1.2</u>	<u>Sources de pollution</u>	65
<u>1.3</u>	<u>Météorologie et topographie</u>	67
<u>1.4</u>	<u>Surveillance de la qualité de l'air</u>	67
<u>1.5</u>	<u>Synthèse des critères de sélection de la zone d'étude</u>	69
<u>2</u>	<u>MATÉRIEL ET MÉTHODE</u>	70
<u>2.1</u>	<u>Identification des dangers</u>	70
<u>2.1.1</u>	<u>Effet des expositions courtes : court terme</u>	70
<u>A.</u>	<u>Mortalité toutes causes</u>	70
<u>B.</u>	<u>Effets respiratoires</u>	71
<u>C.</u>	<u>Asthme et allergies</u>	71
<u>D.</u>	<u>Effets cardio-vasculaires</u>	71
<u>2.1.2</u>	<u>Effet à long terme des expositions prolongées</u>	72
<u>A.</u>	<u>Mortalité toutes causes</u>	72
<u>B.</u>	<u>Effets respiratoires</u>	72
<u>C.</u>	<u>Asthme et allergies</u>	72
<u>D.</u>	<u>Tumeurs</u>	73
<u>E.</u>	<u>Effets cardio-vasculaires</u>	73
<u>2.2</u>	<u>Estimation de l'exposition</u>	73
<u>2.2.1</u>	<u>Principe</u>	73
<u>2.2.2</u>	<u>Choix des polluants</u>	74
<u>2.2.3</u>	<u>Période de l'étude</u>	74
<u>2.2.4</u>	<u>Sélection des stations</u>	75
<u>2.3</u>	<u>Choix de la relation exposition-risque</u>	75
<u>2.3.1</u>	<u>Fonctions exposition/risque court terme</u>	75
<u>2.3.2</u>	<u>Fonctions exposition/risque long terme</u>	75
<u>2.4</u>	<u>Caractérisation du risque</u>	76
<u>2.4.1</u>	<u>Principe</u>	76
<u>2.4.2</u>	<u>Calcul pratique</u>	76
<u>2.4.3</u>	<u>Recueil des données de mortalité</u>	77
<u>2.4.4</u>	<u>Recueil des données d'admissions hospitalières</u>	77
<u>3</u>	<u>RÉSULTATS</u>	79
<u>3.1</u>	<u>Identification des dangers</u>	79
<u>3.2</u>	<u>Estimation de l'exposition</u>	79
<u>3.2.1</u>	<u>Population exposée</u>	79
<u>3.2.2</u>	<u>Niveaux d'exposition</u>	79
<u>A.</u>	<u>Sélection des stations</u>	79
<u>B.</u>	<u>Indicateurs d'exposition</u>	80
<u>3.3</u>	<u>Caractérisation du risque</u>	81
<u>3.3.1</u>	<u>Impact sur le court terme</u>	82
<u>A.</u>	<u>Impact sur la mortalité anticipée</u>	82
<u>B.</u>	<u>Impact sur la morbidité hospitalière</u>	83
<u>3.3.2</u>	<u>Impact sur le long terme</u>	83
<u>4</u>	<u>DISCUSSION</u>	84
<u>4.1</u>	<u>Les erreurs et incertitudes</u>	84
<u>4.1.1</u>	<u>Identification des dangers</u>	84

<u>4.1.2</u>	<u>Estimation de l'exposition</u>	84
<u>4.1.3</u>	<u>Relations exposition-risque</u>	85
<u>4.1.4</u>	<u>Caractérisation du risque</u>	85
4.2	<u>Interprétation des résultats</u>	86
5	<u>CONCLUSIONS</u>	87
5.1	<u>Un impact collectif non négligeable</u>	87
5.2	<u>Un impact dû aux niveaux habituels plutôt qu'aux pics de pollution</u>	87
5.3	<u>Des connaissances à améliorer</u>	87
6	<u>BIBLIOGRAPHIE</u>	89
7	<u>ANNEXE 1 : FONCTION EXPOSITION-RISQUE[27]</u>	91
7.1	<u>Calcul court terme</u>	91
7.2	<u>Calcul long terme</u>	91
8	<u>ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DES IMMISSIONS POLLUANTES URBAINES</u>	92
8.1	<u>L'ozone</u>	92
8.2	<u>Le dioxyde d'azote</u>	93
8.3	<u>Les PM 10</u>	93
9	<u>ANNEXE 3 : CONFIGURATION DU RÉSEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITÉ DE L'AIR</u>	95

1 DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE

L'agglomération caennaise est en 32^{ème} position en tant qu'unité urbaine et 22^{ème} en tant qu'aire urbaine. Ce sont 25% des actifs de chaque commune qui travaillent dans la ville ou dans sa périphérie immédiate.

Pour l'évaluation d'impact sanitaire, l'objectif étant 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, les critères de choix [5] de la zone d'études sont les suivants :

- seules sont retenues les zones de continuité urbaine avec le centre ville,
- le plus petit élément constituant une zone doit être une commune (afin d'être compatible avec l'extraction des données de mortalité et d'admissions hospitalières),
- la population de la zone étudiée doit être exposée la majeure partie de son temps à l'indicateur d'exposition calculé et doit donc résider majoritairement dans la zone d'étude,
- la situation et les débits d'émissions des sources, doivent être assez homogènes sur la zone,
- les mesures de pollution effectuées sur la zone d'étude doivent être « suffisantes » (nombre de capteurs bien placés, qualité des mesures, disponibilité de données) pour estimer l'exposition de la population,

Sur l'agglomération caennaise, la zone délimitée remplissant les critères de sélection, comprend 8 communes : Caen, Hérouville St Clair, Mondeville, Saint Germain La Blanche Herbe, Cormelles le Royal, Ifs, Bretteville sur Odon et Fleury sur Orne. Comparés à l'évaluation d'impact sanitaire réalisée sur l'agglomération caennaise en 1999, 3 communes supplémentaires sont incluses. La zone d'étude couvre alors une superficie de 73 km² contre 51 km² lors de l'étude en 1999 [5] . La justification de ces changements se fera dans les paragraphes suivants.

1.1 Population

D'après le dernier recensement de 1999, la zone d'étude regroupe une population de 173 000 habitants, séjournant très majoritairement sur cette zone[6].

1.2 Sources de pollution

L'unité urbaine caennaise, caractérisée par une population totale de 199 940 habitants (source INSEE recensement 1999)[6] et 18 communes dont 8 incluses dans la zone d'étude, a pour principale source de pollution atmosphérique, les émissions du trafic automobile. En effet, comme le souligne le tableau suivant, la part attribuable aux industries est faible.

Polluants	NO _x	SO ₂
Emissions (tonnes)	3 390	1 301
Origines principales en % de l'émission totale		
	79,4	48,0
- transports routiers	8,9	21,2
- résidentiel et tertiaire	9,3	17,6
- industrie et traitement des déchets		

Tableau 24. Quantité de pollution émise sur l'unité urbaine caennaise et origine (source CITEPA)[7]

Ceci s'explique par le fait que les industries polluantes du point de vue des rejets dans l'air sont peu nombreuses et situées à l'est de l'agglomération (cf carte ci-dessous[8]), elles ne sont pas sous les vents dominants de la région caennaise (direction sud-ouest et nord-est)[7].



Figure 26 : Implantation des industries surveillées pour leurs rejets dans l'air (Source : SIG DRIRE Basse-Normandie)[8]

Concernant les émissions dues au trafic automobile, les voies de circulation les plus importantes sont situées dans le centre de l'agglomération caennaise (avenue du 6 Juin et rue St Jean). Le boulevard périphérique, ceinture du centre urbain, constitue la source la plus importante en polluants primaires, avec un trafic journalier de 35000 véhicules/jour à 70000 véhicules/jour suivant les tronçons concernés (cf extrait de carte ci-dessous).

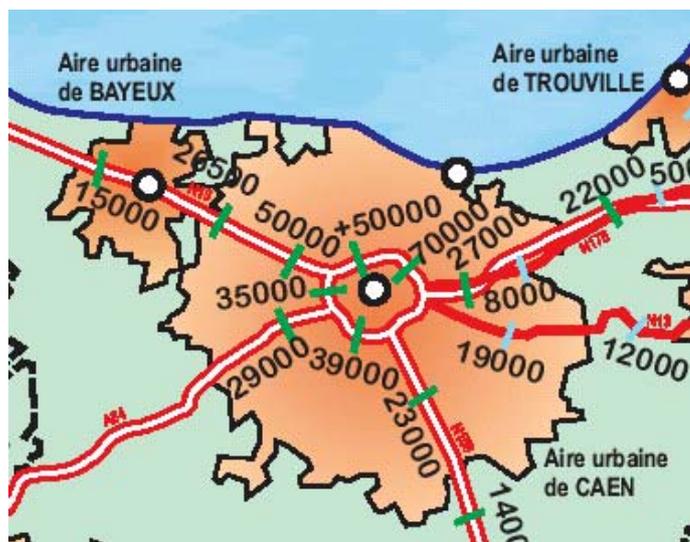


Figure 27 : Le trafic routier moyen national sur RN en Basse-Normandie en 2000 (Source : DDE Calvados)

1.3 Météorologie et topographie

Grâce à son climat océanique qui procure un brassage régulier de l'air et une grande ouverture topographique (la ville se situe dans une plaine où la dénivellation maximale est de 40 m, le minimum étant atteint le long de l'Orne), le climat caennais est marqué par des changements de temps fréquents. De ce fait, il se caractérise par des épisodes de stagnation de l'air propices à l'accumulation des polluants de courte durée. Plus précisément, le bassin caennais est soumis à des vents synoptiques sud-ouest (la moitié du temps) qui ne favorisent pas l'apparition d'épisodes de pollution.

La proximité de la mer, par temps calme et clair, peut occasionner des situations de pollution photo-oxydante par l'intermédiaire du phénomène de brise de terre - brise de mer. La brise de mer se produit en début de matinée et transporte les précurseurs de l'ozone vers le littoral. Sous l'action du rayonnement solaire, l'ozone se forme par réaction photochimique. En fin d'après-midi, la brise de mer se lève et ramène l'ozone ainsi formé vers l'agglomération en empruntant le couloir de la vallée de l'Orne, qui se rajoute à celui produit dans la journée. A Caen, la brise de mer se produit en été en moyenne de 1 à 3 jours sur 5[9].

1.4 Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de l'air sur le département du Calvados est assurée par l'association de surveillance de qualité de l'air : Air COM.

Jusqu'en 1995, le réseau mesurait l'acidité forte par huit stations, les poussières par six stations. La station de proximité Tour Leroy située en centre ville est une station de référence historique et mesure : le dioxyde d'azote (NO_2), le monoxyde d'azote (NO), le dioxyde de soufre (SO_2), le monoxyde de carbone (CO), les poussières en suspension de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$ (PS_{10}), et l'ozone (O_3) dès le début des années 1980.

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 (fermeture de la Société Métallurgique de Normandie, amélioration des procédés de combustion) ont conduit à alléger le dispositif de surveillance de la pollution soufrée.

Ainsi, début 1995, de nombreux capteurs ont été supprimés, et des polluants tels que le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre, les poussières, l'ozone, et le monoxyde de carbone (CO) sont maintenant mesurés sur la majorité des 8 sites de mesures. L'objectif était d'orienter la surveillance vers les polluants d'origine automobile, désormais prépondérants.

Les polluants mesurés en routine, en 1997, sont le NO_2 , le SO_2 , les particules en suspension (PS) PM_{10} , l' O_3 et le CO .

Lors de la première évaluation d'impact sanitaire réalisée en 1997, le réseau de mesure comprenait 4 stations situées sur la zone d'étude : 2 stations de fond et 2 stations de proximité. Depuis 1997, une des deux stations de fond (Hérouville St Clair) a été supprimée, toutefois, la zone d'étude prise en compte étant plus grande, une station rejetée en 1997, peut être à présent incluse. Nous disposons donc toujours de 2 stations de fond et de 2 stations de proximité.

Station	Type de station	Densité de population (hab/km ²)	Environnement immédiat de la station	Sources de pollution	Hauteur de prélèvement	Polluants mesurés
Chemin vert (Caen ouest)	<i>urbaine</i>	> 4000	square	circulation automobile	3 m	NO _x , PM10, O ₃ , SO ₂
Ifs (Caen sud)	<i>urbaine</i>	≈ 1000	square	circulation automobile	4 m	NO _x , PM10, O ₃
Vaucelles (centre ville)	<i>trafic</i>	>4000	centre ville	circulation automobile	3.5-4 m	Pb,CO,NO _x
Tour Leroy (centre ville)	<i>trafic</i>	> 4000	centre ville	circulation automobile	12 m	NO _x , CO, PM10, PM 2.5, O ₃ , SO ₂

Tableau 25 : Classification des stations de la zone d'étude (source Air COM)

Polluant	Stations de mesure	Méthode de mesure
	- <i>Chemin Vert, Ifs</i> - Tour Leroy, Vaucelles	Chimiluminescence (mesures ¼ horaire)
PM10	- <i>Chemin Vert, Ifs</i> - Tour Leroy	Jauge β (mesures toutes les 2 heures) Pesée gravimétrique
O3	- <i>Chemin Vert, Ifs</i> - Tour Leroy	Photométrie UV (mesures ¼ horaire)
SO2	- <i>Chemin Vert</i> - Tour Leroy	Fluorescence UV (mesures ¼ horaire)
CO	- Vaucelles - Tour Leroy	Absorption infra-rouge (mesures 1/4 horaire)

Tableau 26 : Description du réseau (source : Air COM)

Les niveaux moyens mesurés, sur la période d'étude pour la station chemin vert sont comparés aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) et aux valeurs de la réglementation européenne dans le tableau suivant :

Polluants	Niveaux moyens à Chemin Vert période étude (µg/m ³)	Valeurs horaires de référence en µg/m3 Valeurs CEE Valeurs OMS	Valeurs journalières de référence en µg/m3 Valeurs CEE Valeurs OMS
NO₂	24	135 valeur guide 200 valeur limite 400	50 150
O₃	47 (137 : moy 8h maximale)	180 information 360 alerte 110/8h protection 200 végétation	65 protection végétation
PM10	19 (maximum 143 en 1998)		250 valeur limite 125

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

Comparée à l'étude menée en 1997, la zone d'étude couvre 8 communes. Tout d'abord, comme dans la précédente étude, la commune d'Epron n'est pas prise en compte pour cette étude. En effet, même si le critère de continuité urbaine est vraisemblablement vérifié, la structure même de la commune ne permet pas sa prise en compte car la zone urbaine est séparée de la zone rurale par l'axe principal de circulation. Il est à noter que cette hypothèse est critiquable toutefois la population de la commune d'Epron : 1798 habitants ne représente que 1% de la population de la zone d'étude.

En revanche, nous avons choisi de retenir les communes d'Ifs, Bretteville sur Odon et Fleury sur Orne. Lors de la première étude Ifs avait été écartée de l'étude car, bien qu'elle réponde au critère de continuité urbaine, la commune était divisée en deux parties habitées disjointes. A l'examen de l'orthophotoplan[10] réalisé en 2001, l'expansion de l'habitat au sein de cette commune a permis d'homogénéiser son urbanisation.

Enfin, les communes de Fleury sur Orne et Bretteville sur Odon, sont également retenues car les zones d'habitation sont denses et dans la continuité de la trame urbaine caennaise. Leur densité d'urbanisation plus faibles s'expliquent par de grandes superficies pour une faible population.

D'autre part, sur cette zone, les autres critères ont été vérifiés :

- la population demeure majoritairement dans la zone ;
- la pollution semble assez homogène (d'après la cartographie du trafic réalisée par la DDE et le service voirie de la ville de Caen, étude 1997) ;
- 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 MATERIEL ET METHODE

L'évaluation d'impact sanitaire permet d'estimer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Elle se déroule en 4 étapes :

- Identification des dangers,
- Estimation de l'exposition,
- Choix de la relation exposition–risque,
- Caractérisation du risque,

2.1 Identification des dangers[11]

Il s'agit de déterminer les dangers liés à un polluant en s'appuyant sur les résultats de l'observation médicale, des études épidémiologiques et toxicologiques. Les dangers pour la santé humaine diffèrent selon la durée d'exposition, ainsi, à présent, deux expositions différentes sont distinguées : courte et chronique. Deux types de travaux peuvent être mentionnés les études épidémiologiques et les travaux expérimentaux. Seuls les résultats des études épidémiologiques sont développés.

Il paraît important d'apporter une définition claire des expressions : court terme et long terme. Dans les deux cas, il s'agit à la fois de la durée d'exposition et de pathologies différentes.

- **Court terme** : la mortalité et les hospitalisations sur le court terme touchent les personnes ayant déjà des problèmes cardiaques ou respiratoires c'est à dire les personnes âgées, enfants, les malades souffrant d'affections chroniques, d'asthme et de grippe. Il s'agit d'effets dus à une exposition de courte durée. En ce qui concerne le degré d'anticipation des décès pour les personnes atteintes de problèmes respiratoires il s'agit d'environ 2 mois alors que pour celles atteintes d'affections cardiaques il peut être de supérieur à 3 mois,
- **Long terme** : les effets à long terme, dus aux expositions chroniques, sont en fait la somme des effets à court terme et à long terme. Il s'agit d'une mortalité prématurée. Cette fois la population concernée est l'ensemble de la population exposée et l'effet sur la santé est le développement de maladies chroniques telles que les cancers pulmonaires et les affections cardio-respiratoires,

2.1.1 Effet des expositions courtes : court terme

A. Mortalité toutes causes

L'effet des expositions brèves sur la mortalité toutes causes était déjà établi en 1995, mais reposait le plus souvent sur des études limitées à une seule agglomération. La méta-analyse la plus récente sur plus de 60 études conduites dans 35 villes de tous les continents rapporte un accroissement du risque de mortalité à court terme compris entre 0.5 et 1.5 % pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM10 et de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de PM2.5. Les résultats de l'étude européenne multicentrique APHEA (KATSOUYANNI & al. 1997, SPIX & al. 1998) vont dans le même sens, avec quelques nuances. Concernant la pollution acido-particulaire dans 12 villes européennes, il existe une hétérogénéité entre les villes de l'Est et de l'Ouest : à l'Ouest, les risques relatifs pour les particules sont comparables à ceux observés aux Etats-Unis, mais plus élevés qu'à l'Est alors que les niveaux des polluants y sont plus faibles. Cependant, contrairement aux résultats des études nord américaines, l'effet de SO₂ est

indépendant et du même ordre de grandeur que celui des particules. La méta-analyse des effets photo-oxydants sur la mortalité qui a porté uniquement sur des villes d'Europe de l'Ouest confirme clairement la relation entre O₃ et mortalité. En France, le programme PSAS-9 confirme ces résultats et conclut à l'absence d'hétérogénéité des risques relatifs de mortalité quotidienne associés à la pollution atmosphérique dans l'ensemble des villes étudiées.

D'autre part, la mortalité a été étudiée suivant différentes classes d'âge. Ainsi une relation entre la mortalité des 0-11 mois et la pollution particulaire a notamment été mise en évidence.

B. Effets respiratoires

L'étude APHEA a apporté de nouvelles estimations en ce qui concerne les effets respiratoires. Le risque de mortalité pour cause respiratoire dans les villes d'Europe de l'Ouest augment respectivement de 4 %, 5 % et 2 % pour des augmentations de 50 µg/m³ de fumées noires, SO₂ et ozone. Dans les villes françaises, des associations ont également été observées entre les variations journalières des indicateurs de pollution et les variations de la mortalité respiratoire étude (ERPURS, MEDINA & al. 1997).

En ce qui concerne le risque d'admissions hospitalières pour causes respiratoires, les méta-analyses du projet APHEA montre une relation significative et homogène suivant les villes entre les admissions toutes causes respiratoires et le niveau d'ozone, en particulier chez les plus de 65 ans. Si l'on considère seulement les admissions pour broncho-pneumopathies chroniques obstructives (BPCO), le risque augmente de façon homogène avec les particules, le SO₂, le NO₂ et l'ozone en saison chaude.

D'autre part, les résultats récents des études de panel conduites chez des sujets non asthmatiques sont contradictoires.

C. Asthme et allergies

Les informations dans ce domaine viennent de différents types d'étude, soit des études écologiques temporelles, dont l'étude APHEA, en ce qui concerne par exemple les admissions aux urgences pour asthme, soit des études de panel conduites chez des patients asthmatiques (NEUKIRCH et al. 1998, SEGALA et al. 1998). Dans quatre villes du programme APHEA, l'augmentation de 50 µg/m³ des niveaux moyens de SO₂ et fumées noires était associée à une augmentation des admissions aux urgences pour asthme de 3 % et 2 % (non significatif) chez les adultes ; chez les enfants, l'augmentation de 50 µg/m³ des niveaux moyens de SO₂, fumées noires et NO₂ était associée à des augmentations respectivement de 7.5 % , 3 % (non significatif) et 8 %. Les résultats de nombreuses études de panel vont dans le même sens.

D. Effets cardio-vasculaires

Dans cinq villes du programme APHEA, l'augmentation de 50 µg/m³ des niveaux moyens de SO₂ et fumées noires était associée à une augmentation de la mortalité cardio-vasculaire de 4 % et 2%. Une analyse des admissions pour cause cardiaque des plus de 65 ans dans huit grandes villes américaines rapporte une association avec les PM 10 (plus de 2.5 % d'admissions pour une augmentation de 25 µg/m³) mais aussi avec le CO (plus de 2.8 % pour une augmentation de 1.75 ppm).

D'autre part, il a été montré une augmentation de la viscosité sanguine en relation avec les polluants et récemment il a été suggéré que les sujets avec de fortes concentrations plasmatiques en fibrinogène sont à haut risque d'atteintes cardio-vasculaires en relation avec la pollution (SCHWARZ & al. 1995, SCHWARZ 1997, POLONIECKI & al. 1997, DOCKERY & al. 1999).

2.1.2 Effet à long terme des expositions prolongées

Sur ce thème les résultats obtenus sont les plus récents. Ils sont le produit d'études transversales de grande ampleur, réalisées notamment en Suisse et de trois études de cohortes conduites aux Etats Unis. L'étude SAPALDIA (Swiss Study on Air Pollution and Lung Diseases In Adults) a étudié 10 000 adultes dans huit zones contrastées quant aux niveaux de pollution, puis suivis pendant un an 150 sujets symptomatiques dans chacune des zones. L'étude SCARPOL a porté sur 4500 enfants dans 10 régions contrastées. La première étude de cohorte dite des « six villes » a porté sur 8000 adultes vivant dans six agglomérations de l'Est des Etats Unis. Celle de l'American Cancer Society a porté sur 500 000 adultes dans 151 villes entre 1982 et 1989. L'étude AHSMOG (Seventh-day Adventists Health Study on Smog) est une étude de cohorte prospective sur 15 ans (1977-1992) portant sur plus de 6 000 adultes non-fumeurs de 12 états du Sud de la Californie. Dans ces études, l'effet du tabagisme est pris en compte, soit par sélection de population non-fumeuses, soit par ajustement sur la consommation déclarée. (ABBEY & al. 1998, McDONNEL & al. 1999, ABBEY & al. 1998, BEESON & al. 1998, DOCKERY et al. 1993, POPE & al. 1995, ABBEY & al. 1999).

A. Mortalité toutes causes

Dans les deux premières études de cohorte, des risques relatifs de l'ordre de 1.15 à 1.30 sont associés à des écarts de concentrations particulières de 20 à 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ entre les villes (risques les plus élevés avec les $\text{PM}_{2.5}$). L'étude ASHMOG confirme des résultats, avec un risque relatif de 1.12 pour des différences d'exposition aux PM_{10} correspondant à 43 jours par an dépassant 100 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. L'étude des six villes américaines avait montré que les particules fines ($<2.5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) étaient l'indicateur le plus fortement associé à la survie à 15 ans, avec une différence de survie de 26 % entre la ville la plus polluée et la ville la moins polluée (différentiel de $\text{PM}_{2.5}$ de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Cancer du poumon et maladies cardio-pulmonaires étaient les principales pathologies concernées par ces excès de mortalité.

B. Effets respiratoires

Dans les études de cohorte, les auteurs ont le plus souvent retenu les décès pour les causes cardiorespiratoires combinées, avec des risques relatifs autour de 1.30 pour les villes les plus polluées. Plusieurs études de comparaison géographique avaient montré qu'une exposition chronique aux polluants altérait la fonction pulmonaire et augmentait les symptômes de toux et gêne respiratoire et les prévalences de bronchites et de bronchites chroniques. Une étude transversale nord-américaine qui avait examiné plus de 13 000 enfants dans 24 villes montrait que les enfants vivant dans la communauté la plus polluée (différentiel des particules acides de 52 nmol/m^3) étaient plus fréquemment atteints de bronchite avec un odd ratio de 1.66. Les études SAPALDIA et ASHMOG confirment l'altération de la fonction pulmonaire dans les zones les plus polluées.

C. Asthme et allergies

Une seule étude de cohorte, l'étude ASHMOG a pour l'instant montré une augmentation de l'incidence de l'asthme en relation avec l'exposition chronique à l'ozone, mais uniquement chez les hommes. En ce qui concerne les allergies d'après des études allemandes (MASUCH & al. 1997), entre 1990 et 1996 le rhume des foins et l'atopie ont augmenté alors

que les concentrations annuelles sont passées respectivement de 103 à 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en SO_2 , de 77 à 70 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les particules et de 33 à 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le NO_2 .

D. Tumeurs

L'étude ACS dans les 151 villes trouve un risque relatif plus élevé par cancer pulmonaire dans les villes les plus polluées par les sulfates, mais comme pour l'étude des six villes, pas de risque significativement augmenté avec les $\text{PM}_{2.5}$. L'étude ASHMOG a montré, après ajustement sur les expositions professionnelles et sur la pollution à l'intérieur des locaux, une augmentation de l'incidence des cancers du poumon en relation avec la vie dans des zones caractérisées par de plus fortes concentrations de SO_2 et PM_{10} .

Outre les résultats des cohortes américaines, une étude cas-témoins, conduite sur tous les cas de cancers du poumon enregistrés entre 1985 et 1990 dans l'agglomération de Stockholm et y ayant résidé de façon stable depuis 1950, trouve un risque relatif pour le décile le plus élevé de l'exposition au NO_2 enregistrée 20 ans auparavant, de 1.4 après ajustement sur le tabagisme.

E. Effets cardio-vasculaires

Dans l'étude de cohorte ACS, un accroissement de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de particules ou de sulfates est associé à une augmentation de l'ordre de 12 % de la mortalité cardio-vasculaire.

Il est à noter qu'une récente étude publiée dans The Lancet, appelée étude tri-nationale (Autriche, Suisse, France) a réalisé une méta-analyse à partir des résultats de différentes études épidémiologiques travaillant sur les PM_{10} . Elle a ainsi pu déterminer de nouveaux risques relatifs pour différentes pathologies.

2.2 Estimation de l'exposition

2.2.1 Principe

Cette étape a pour objet la quantification de l'exposition (à quelles concentrations, pendant combien de temps...) à laquelle est soumise la population (qui, combien de personnes..), à partir des mesures des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Le principe est de construire un indicateur d'exposition de la population à la pollution atmosphérique pour chaque polluant lorsque la connaissance des immissions est suffisante et que ce polluant (en tant qu'indicateur) peut être relié à un effet sanitaire. Après actualisation du guide méthodologique de l'évaluation d'impact sanitaire lié à la pollution atmosphérique urbaine, les indicateurs qui peuvent être retenus[12] sont les suivant :

- Pour une évaluation d'impact sanitaire à court terme :
 - Fumées noires,
 - Dioxyde de soufre (SO_2),
 - Dioxyde d'azote (NO_2),
 - Ozone (O_3) pour période estivale seulement,
 - PM_{10} (peuvent remplacer les fumées noires comme indicateur particulière),
- Pour une évaluation d'impact sanitaire à long terme :
 - PM_{10} ,

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 pour l'exposition à court terme, pour l'exposition à long terme, ce sont les moyennes annuelles qui sont prises en compte. Il s'agit donc de construire, pour chaque polluant, un indicateur qui se rapproche le plus possible de cette exposition moyenne[13]. Après avoir sélectionné les stations représentatives de l'exposition de la population générale (les critères de sélection des stations sont précisés au paragraphe 3.2.2), on calcule ainsi l'indicateur qui est la moyenne arithmétique des données (validées par le réseau) journalières de ces stations. L'indicateur d'exposition, un jour donné, est la moyenne arithmétique des moyennes journalières (moyenne 9h-17h pour l'ozone) des capteurs sélectionnés. L'indicateur d'exposition aura une valeur manquante un jour donné, si tous les capteurs ont une valeur manquante ce jour-là.

2.2.2 Choix des polluants

Sur Caen les indicateurs retenus sont : **NO₂, O₃ et PM10**.

Contrairement à la première évaluation d'impact sanitaire où les particules en suspension avaient été retenues pour décrire l'exposition mais n'avaient pas été utilisées pour le calcul de l'impact sanitaire, la parution en 2000 de l'étude tri-nationale Autriche-France-Suisse estimant l'impact sanitaire à long terme sur la mortalité, permet de prendre en compte les mesures des PM10 dans l'évaluation.

Tout comme pour la première étude réalisée, les concentrations en SO₂ sur l'agglomération étant faibles et présentant une tendance à la régression (cf figure 3 extraite de La Qualité de l'Air de la Basse Normandie, 2001), la quantification de l'impact lié à cet indicateur n'est pas justifiée.

De la même façon, le monoxyde de carbone est écarté de l'étude car l'estimation quantitative de ses effets sur la santé au niveau populationnel est encore mal connue et son exposition difficile à estimer.

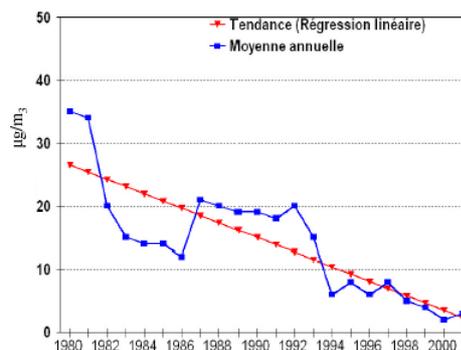


Figure 28 : SO₂ – Evolution annuelle des concentration en SO₂ sur Caen (Source : Air COM)

2.2.3 Période de l'étude

Afin que cette évaluation d'impact sanitaire se réalise dans la continuité de la première, l'étude débutera le 1 avril 1998. D'autre part, compte tenu du changement du plan de circulation de l'agglomération caennaise dû à la mise en place d'une nouvelle infrastructure de transport (un tramway), la période d'étude se termine le 31 mars 2002.

En résumé, la période d'étude retenue est 1 avril 1998- 31 mars 2002, soit quatre années entières.

Cette étude se déroulant sur une période de quatre années successives, l'hypothèse de conditions météorologiques particulières peut être écartée.

2.2.4 Sélection des stations

On cherche à décrire l'exposition moyenne d'une population. De ce fait on privilégie les stations qui sont représentatives des immissions ambiantes et non celles qui caractérisent des situations particulières, influencées directement par une source de pollution proche. Les critères retenus pour la sélection des stations sont les suivants[13]:

nature de la station : seront retenues à priori les stations urbaines ;
comparaison des niveaux moyens : seront retenues a priori les stations qui mesurent des niveaux moyens proches ;
coefficients de corrélation inter-stations : seront retenues les stations qui sont bien corrélées entre elles (la valeur guide de bonne corrélation proposée est 0,6). Une bonne corrélation signifie a priori que les concentrations mesurées par les stations évoluent de la même façon au cours du temps.

2.3 Choix de la relation exposition-risque

2.3.1 Fonctions exposition/risque court terme

Il s'agit de caractériser les liens entre l'exposition et la probabilité de survenue du danger à cette exposition, en recourant aux résultats des études épidémiologiques déjà réalisées. Les estimateurs de risque utilisés sont ceux préconisés par l'Institut de Veille Sanitaire[13].

Ainsi, pour les indicateurs sanitaires mortalité totale, cardio-vasculaire et respiratoire, les fonctions exposition/risque, pour NO₂ et O₃, utilisées sont celles produites par le PSAS-9. Pour les PM₁₀, seul le programme APHEA2 a produit des fonctions expositions/risques en Europe.

D'autre part, pour l'indicateur sanitaire admissions hospitalières, les fonctions exposition/risques retenues sont celles élaborées dans le cadre d'APHEA1 et APHEA2.

En ce qui concerne la morbidité ambulatoire, l'exploitation des données issues de l'étude épidémiologique tri-nationale doit encore se faire avec prudence [14]. Il paraît donc préférable de ne pas les utiliser dans l'évaluation d'impact sanitaire.

Les risques relatifs retenus sont exposés dans des tableaux fournis en annexe 1.

2.3.2 Fonctions exposition/risque long terme

Pour les indicateurs sanitaires mortalité totale et cardio-respiratoire, le guide méthodologique[14] préconise l'utilisation des fonctions exposition/risque de l'étude tri-nationale. En ce qui concerne la mortalité par cancer du poumon, seules deux études ont été réalisées et leur exploitation est trop entachée d'incertitudes pour être pratiquée dans l'évaluation d'impact sanitaire.

2.4 Caractérisation du risque

2.4.1 Principe

C'est l'étape de synthèse qui combine les données d'exposition et la relation exposition/risque. Par calcul, elle permet de quantifier l'impact sanitaire, en nombre de cas attendus, pour une exposition d'un polluant et un indicateur sanitaire donnés, sur une période donnée.

En pratique, la proportion de cas attribuables à un niveau de pollution donné se calcule de la manière suivante[13]:

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

Équation 1 : Proportion de cas attribuables à un niveau de pollution donné

où, Pa = proportion de cas attribuables à l'indicateur de pollution au cours de la période considérée,

RR = risque relatif (fourni par la courbe exposition/risque),

f = prévalence d'exposition (proportion de la population exposée au niveau considéré).

Dans le cas de la pollution atmosphérique urbaine, le plus souvent $f = 1$ (toute la population est exposée au niveau considéré).

Donc, le nombre de cas attribuables pour la période considérée est calculé par la formule :

$$Na = \left(\frac{RR - 1}{RR} \right) \times N$$

Équation 2 : Equation simplifiée pour le calcul de la proportion de cas attribuables à un niveau de pollution donné

où, Na = nombre de cas attribuables pour la période donnée,

N = nombre moyen (pour la période considérée) de cas du problème de santé considéré (e.g. hospitalisations ou décès pour une cause donnée).

2.4.2 Calcul pratique

En pratique, le nombre d'évènements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine doit être calculé pour chacun des indicateurs d'exposition (PM10, SO2, NO2 et O3) et pour chaque journée de la période d'étude considérée.

Ainsi, pour un indicateur de pollution et pour un jour « j » donné, le nombre d'évènements attribuables à un différentiel de pollution est calculé par la formule :

$$n_j = \frac{RR_{(E_j - E_r)} - 1}{RR_{(E_j - E_r)}} \times N_r$$

Équation 3 : Nombre d'évènements attribuables à un différentiel de pollution

où : n_j est le nombre journalier d'évènements attribuables au différentiel d'exposition ($E_j - E_r$),

$RR_{(E_j - E_r)}$ est le risque relatif associé à un différentiel ($E_j - E_r$) d'exposition donné,

E_r est l'indicateur 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'évènements correspondant au niveau d'exposition choisi comme référence,

Cette modalité de calcul constitue une approximation (recommandée par L'OMS). Une telle approximation est possible car le nombre d'évènements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique est faible par rapport au nombre total d'évènements sanitaires.

L'objectif de calcul étant de déterminer l'impact de la pollution atmosphérique, le niveau de base de pollution atmosphérique E_r est pris égal au percentile de l'indicateur journalier d'exposition à la pollution atmosphérique. N_r est approché par la formule :

$$N_r = \frac{N_m}{RR_{(E_m-E_r)}}$$

Équation 4 : Nombre d'évènements correspondant au niveau d'exposition choisi comme référence

où : N_m est le nombre moyen journalier d'évènements sanitaires sur la période d'étude,
 $RR_{(E_m-E_r)}$ est le risque relatif associé à un différentiel (E_m-E_r) d'exposition,
 E_m est le niveau moyen de l'indicateur d'exposition à la pollution atmosphérique.

Pour les calculs sur le long terme, la construction de l'indicateur d'exposition reste la même. En revanche, pour le calcul de l'impact sanitaire, les valeurs ne sont plus prises en compte sur un pas de temps journalier mais moyennées sur un an[14].

2.4.3 Recueil des données de mortalité

Les données correspondantes à la période d'étude n'étant disponibles que partiellement (98-99). Les données ayant été collectées pour la première étude ont été conservées. Toutefois, la population concernée n'étant pas la même qu'en 1997, une règle de proportionnalité a permis de déterminer la mortalité pour la période et la zone d'étude considérée. Les travaux de la CIRE Ouest permettent de justifier l'approximation faite car le nombre annuel de décès demeure relativement constant.

Données de mortalité pour 173 000 habitants	
Mortalité hivernale annuelle toutes causes sauf accidentelles	562
Mortalité estivale annuelle toutes causes sauf accidentelles	526

Tableau 28 : Données mortalité pour la zone d'étude par an pour la période avril 1998-avril 2002.

2.4.4 Recueil des données d'admissions hospitalières

Les données d'admissions hospitalières, pour la période retenue, ont été obtenues auprès du Département D'Information Médicale du Centre Hospitalier Universitaire de Caen. Le DIM regroupe sur la zone d'étude les admissions dans les services de soins de court séjour pour des motifs respiratoires ou cardio-vasculaires.

Le système d'information des établissements de santé ne permet pas d'accéder au diagnostic d'admission. On l'approche par le diagnostic principal de la première unité médicale fréquentée[13] – hors service d'urgences.

Le nombre d'admissions hospitalières enregistrées au cours de la période est reporté dans les tableaux suivants (hospitalisations de plus de 24h pour les patients en provenance de la zone d'étude).

	DP de I00 à I99		
	15-64 ans	65 ans et +	Total
Total période étude	2033	4841	6899
Moyenne annuelle	407	968	1380
Total période estivale	934	2381	3329
Moyenne estivale annuelle	187	476	666
Total période hivernale	1099	2460	3570
Moyenne hivernale annuelle	220	492	714

Tableau 29 : Nombre d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, CHU de Caen (Source : DIM – CHU)

	DP de J00 à J99		
	15-64 ans	65 ans et +	Total
Total période étude	1559	2218	5167
Moyenne annuelle	312	444	1033
Total période estivale	731	969	2161
Moyenne estivale annuelle	146	194	432
Total période hivernale	828	1249	3006
Moyenne hivernale annuelle	166	250	601

Tableau 30 : Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires, CHU de Caen (Source : DIM – CHU)

3 RESULTATS

3.1 Identification des dangers

Ont été retenus les effets à court terme et à long terme mis en évidence dans des études épidémiologiques en population générale à des niveaux d'exposition comparables et pour lesquels une quantification était possible soit : la mortalité toutes causes sauf accidentelles (CIM 10 = S00-X59), mortalité respiratoire (CIM 10 : J00-J99) et les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires.

3.2 Estimation de l'exposition

3.2.1 Population exposée

La zone d'étude regroupe une population de 173 000 habitants en 1999[6] :

COMMUNES DE LA ZONE D'ETUDE	POPULATION (HABITANTS)
Caen	113 987
Hérouville St Clair	24 025
Mondeville	10 428
Cormelles le royal	4 599
Ifs	9 208
Bretteville sur Odon	3 951
Fleury sur Orne	4 231
Saint Germain la Blanche Herbe	2 531

Tableau 31 : Population de la zone d'étude (source : INSEE)

Lors de la première étude, les informations obtenues concernant les déplacements domicile-travail de la population[6] montraient que 5% environ de la population totale quittaient la zone d'étude pour aller travailler à l'extérieur de celle-ci.

Cette proportion est faible, donc toute la population peut être considérée comme exposée toute la journée à la pollution atmosphérique de la zone d'étude.

3.2.2 Niveaux d'exposition

A. Sélection des stations

L'étude a porté sur toutes les stations de la zone d'étude mesurant les polluants retenus comme indicateurs c'est à dire : NO₂, O₃ et PM10 et a été réalisée sur la période définie précédemment. La distribution saisonnière des immissions de polluants sur la période d'étude, ainsi que les corrélations entre les stations sont présentées en annexe 2.

- Le dioxyde d'azote : NO₂

Les données collectées sont celles des stations Caen-Ouest (Chemin Vert) et Caen-Sud (Ifs), les stations Tour Leroy et Vaucelles étant écartées de part leur proximité du trafic automobile (fort émetteur de NO_x).

Toutefois, il est à noter que entre janvier 2000 et octobre 2001, le capteur d'ifs a présenté un dysfonctionnement. Pour cette période nous ne disposons donc que des valeurs de la station Chemin vert.

Hormis cette période, les stations présentent un coefficient de corrélation de 0.79 pour la période de l'étude. Pour le capteur du Chemin vert, les valeurs moyennes et médianes sur l'ensemble de la période d'étude sont respectivement 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 20.7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ contre 21.8 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour le capteur d'Ifs.

- L'ozone

Pour la période d'étude considérée, trois stations mesurent l'ozone : Chemin vert, Ifs, stations urbaines et Tour Leroy. Lors de la première étude la station Tour Leroy a été exclue car elle est directement influencée par le trafic automobile et que les incertitudes sur la distribution géographique de l'ozone sont trop importantes.

La station d'Ifs étant quasi périurbaine, nous retiendrons cette fois les trois stations, ce qui permet d'avoir une idée de la pollution sur la zone d'étude.

Les valeurs moyennes sur la période d'étude des capteurs des différentes stations sont les suivantes :

Station	Chemin vert	Ifs	Tour Leroy	Indicateur d'exposition
Moyenne journalière	45,43	57,72	39,62	47.75
Moyenne journalière ETE	54,57	70,03	51,97	58.75
Moyenne journalière HIVER	37,14	46,76	27,98	37.23

Tableau 32 : Moyenne journalière en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des différentes stations retenues pour l'ozone

Les coefficients de corrélation des trois stations sont respectivement 0.85 pour Chemin vert-Ifs, 0.80 pour Chemin vert-Tour Leroy et 0.89 pour Ifs-Tour Leroy.

- Particules en suspension : PM10

Les particules en suspension (PM10) sont surveillées au moyen de deux stations urbaines, Chemin vert et Ifs et d'une station de trafic, Tour Leroy. Les trois stations mesurent des niveaux moyens très proches mais le capteur de Tour Leroy présentent en général des valeurs supérieures de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Contrairement à la première étude le coefficient de corrélation entre les deux stations urbaines est bon avec une valeur de 0.72 pour la période de l'étude.

Les stations retenues sont donc les deux stations urbaines : Chemin vert et Ifs.

B. Indicateurs d'exposition

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

Les capteurs retenus sont bien corrélés et mesurent des niveaux proches de pollution. Le taux de valeurs manquantes est généralement faible (cf. annexe 2). Dans ce cas, le remplacement des valeurs manquantes n'est pas nécessaire. Les valeurs mesurées et validées par Air COM ont donc été utilisées sans transformation préalable.

Les statistiques descriptives de l'indicateur d'exposition et sa distribution par gamme de concentrations sont présentées dans les tableaux suivants :

Indicateur d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	O3	NO2			PM10		
	Saison	Eté	An	Eté	Hiver	An	Eté
Minimum	14	2	3	2	2	2	3
Percentile 5	31	7	7	8	7	8	7
Percentile 25	47	14	13	16	12	12	12
Médiane	58	20	18	25	17	17	17
Percentile 75	69	29	24	35	25	26	23
Percentile 95	88	46	39	48	42	43	39
Maximum	117	126	115	126	87	87	74
Moyenne journalière	58	23	19	26	19	20	19
Ecart-Type	17,3	12,4	10,4	13,4	11,4	12,1	10,6
% Valeurs manquantes	11%	5%	5%	4%	1%	3%	0%

Tableau 33 : Distribution des indicateurs d'exposition (Données sources Air COM)

Plage des concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nombre de jours contenus dans la plage des concentrations						
	O3	NO2			PM10		
	Eté	An	Eté	Hiver	An	Eté	Hiver
]0 à 10]	0	154	92	62	209	93	116
]10 à 20]	4	509	317	192	702	347	355
]20 à 30]	24	392	195	197	299	147	152
]30 à 40]	61	204	57	147	145	71	74
]40 à 50]	120	101	26	75	52	34	18
]50 à 60]	159	26	5	21	22	13	9
]60 à 70]	135	4	1	3	9	6	3
]70 à 80]	88	1	1	0	3	1	2
]80 à 90]	35	0	0	0	1	1	0
]90 à 100]	17	1	0	1	0	0	0
]100 à 110]	6	0	0	0	0	0	0
]110 à 120]	6	1	1	0	0	0	0
]120 à 130]	0	1	0	1	0	0	0
]130 à 140]	0	0	0	0	0	0	0
> 140	0	0	0	0	0	0	0
Total (nb de jours)	655	1394	695	699	1442	713	729

Tableau 34 : Distribution des indicateurs d'exposition par gamme d'exposition (Données sources Air COM)

3.3 Caractérisation du risque

Si les polluants étudiés peuvent, pour certains, avoir un effet direct sur la santé, ils sont avant tout les témoins d'une exposition à un mélange atmosphérique complexe, inaccessible directement à la mesure. De ce fait, 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[13]. Les impacts estimés pour chacun des indicateurs ne peuvent donc être sommés. En l'état actuel des connaissances, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique peut donc être estimé comme étant, au minimum égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudiés.

3.3.1 Impact sur le court terme

A. Impact sur la mortalité anticipée

L'impact annuel de la pollution atmosphérique par rapport à une situation théorique sans pollution (arbitrairement niveaux de pollution égaux au percentile 5) est de 16.61(11.6 – 21.65, IC 95 %) décès anticipés par an, soit un total de 66.44 (46.4 – 86.58, IC 95 %) sur la période d'étude. Nous retiendrons un impact sanitaire de **17 (12 – 22, IC 95 %) décès anticipés par an, soit 66 (46 – 87, IC 95 %) entre avril 1998 et avril 2002.**

De même, selon les calculs, une diminution de 25 % de la moyenne annuelle des indicateurs d'exposition engendrerait un gain sanitaire de 6 (4 – 8) par an et 23 (16 – 30) pour la période étudiée. Le nombre de décès anticipés évités représenterait donc 35 % des décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique.

Gain sanitaire associé à différents scénarii d'évolution du niveau de pollution

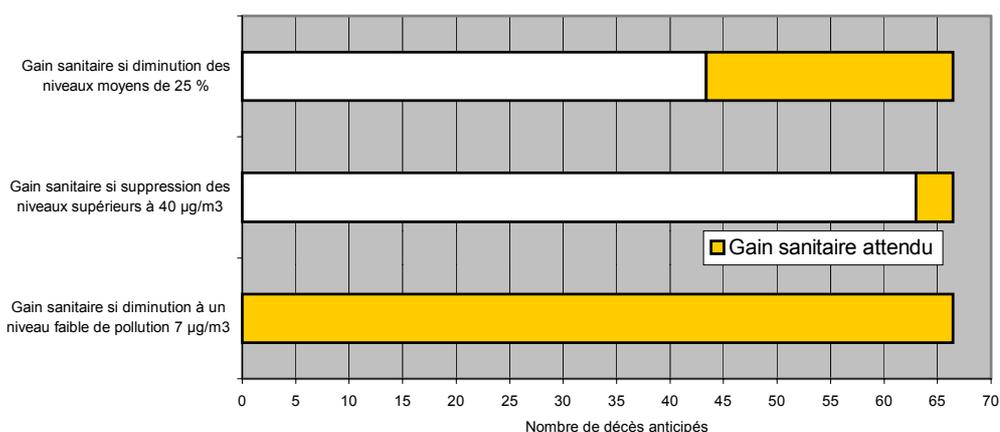


Figure 29 : Impact associé à différents scénarii d'évolution du niveau de pollution pour la période d'étude (indicateur retenu NO₂)

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 ; ceci est illustré par l'indicateur ozone et la mortalité anticipée estivale (cf figure 4).

Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés

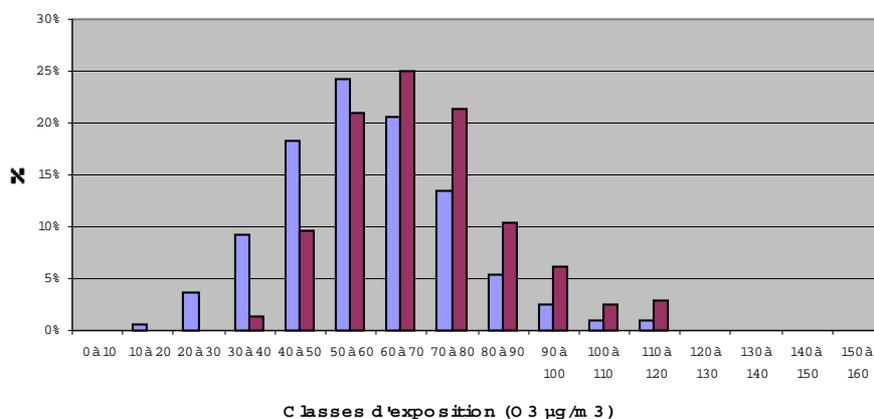


Figure 30 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés pour l'ozone

B. Impact sur la morbidité hospitalière

L'impact de la pollution atmosphérique mesurée pendant la période d'étude, par rapport à une situation sans pollution (niveaux de pollution égaux au percentile 5) est de **l'ordre de 26 (13 – 43, IC 95 %) hospitalisations par an et de 106 (54 – 175, IC 95 %) hospitalisations sur la période de l'étude.**

Une diminution des niveaux quotidiens de pollution de 25 % en période hivernale, entraînerait sur cette même période un gain sanitaire de 37 % des hospitalisations pour motif cardio-vasculaire engendrées par la pollution atmosphérique.

Une diminution des niveaux quotidiens de pollution de 25 % sur la totalité de la période étudiée, entraînerait alors un gain sanitaire représentant 35 % des hospitalisations de courte durée (affections respiratoires et cardio-vasculaires) engendrées par la pollution atmosphérique.

La contribution des pics de pollution à l'impact sur une saison est illustré figure 6 par l'exemple de l'indicateur NO₂ et des admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire (saison hivernale). En période hivernale, les niveaux de pollution respectant l'objectif de qualité (40 µg/m³) sont responsables de 68 % de l'impact sanitaire.

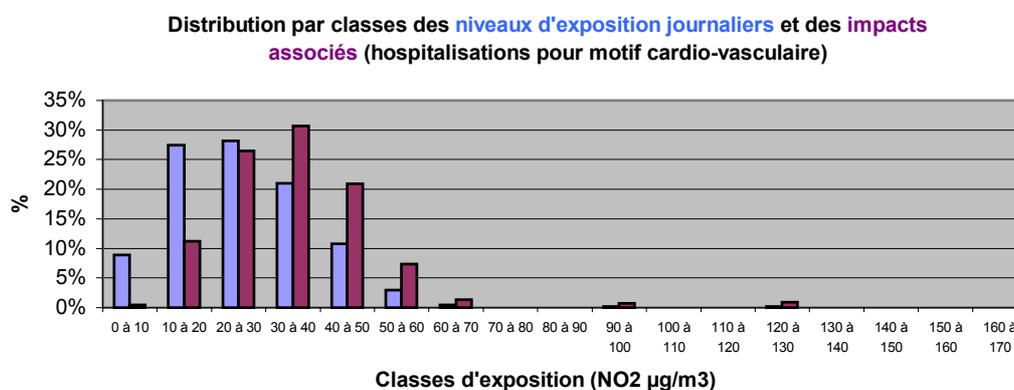


Figure 31 : Distribution par classes des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés pour le NO₂

3.3.2 Impact sur le long terme

L'impact sur le long terme est évalué en terme de mortalité totale. Par rapport à un niveau faible de pollution (percentile 5) **nous obtenons un nombre de décès de 55 (33 - 78) par an, et 220 (133 – 313) morts attribuables à la pollution atmosphérique** pour la période considérée.

L'impact sanitaire est donc non négligeable même si les valeurs seuils imposées par les normes européennes de 2005 et 2010 sont respectées.

D'autre part, une diminution du niveau **moyen de 25 %** permettrait d'obtenir un gain sanitaire de 21 (13 – 30) morts par an et de 84 (51 – 118) sur la période étudiée, soit une **diminution de 38 % de la mortalité attribuable.**

4 DISCUSSION

4.1 Les erreurs et incertitudes

4.1.1 Identification des dangers

Cette évaluation d'impact sanitaire a porté sur les effets à court terme et à long terme. Pour le court terme, elle a permis de calculer un nombre de décès attribuables à un différentiel de pollution donné, au cours d'une année. Du fait de l'incertitude concernant l'importance de ce déplacement de mortalité, ce calcul ne doit pas être interprété, à proprement parler, comme un excès absolu de mortalité. Cette anticipation peut être interprétée comme étant, en l'absence d'exposition à la pollution atmosphérique ambiante, le délai avec lequel la population sensible à la pollution aurait évolué vers le décès. De ce point de vue, le nombre de décès qui a été calculé pour les effets à court terme doit être interprété comme étant le nombre de personnes qui, au cours d'une année, ont vu leur espérance de vie diminuée d'une durée correspondant à cette anticipation[15]. Actuellement pour la mortalité cardio-vasculaire, elle est estimée par une étude égale au moins à 2 mois[16].

En ce qui concerne la morbidité, seuls ont été 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 à recours au système hospitalier[17]

En ce qui concerne le long terme, les récentes études épidémiologiques ont affirmé l'existence d'un lien entre le niveau d'exposition aux PM10 et la mortalité à long terme. Ces résultats permettent d'évaluer l'importance des conséquences à long terme comparées aux conséquences à court terme.

4.1.2 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 de la connaissance des budgets espace temps de la population (temps passé à tel endroit pour tant de personnes) ou des niveaux 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 quitte la zone d'étude pour une activité professionnelle ou pour une raison personnelle ; cela conduit à surestimer l'impact puisqu'une partie de la population considérée exposée ne l'est pas. A contrario, la zone d'étude attirant une population pour les mêmes raisons, cela conduit cette fois à sous-estimer l'impact puisque cette population ne réside pas dans la zone d'étude (et donc non comptabilisée dans les données de mortalité et d'activité hospitalière) et est exposée.

Les immissions extérieures sont estimées par des stations de mesure dont on « utilise » la moyenne des valeurs journalières pour caractériser le niveau moyen de pollution. Une

implantation différente de capteurs aurait-elle pu conduire à des valeurs différentes des indicateurs d'exposition ?

Une approche de la représentativité des stations a été entreprise à l'aide du calcul des coefficients de corrélations-interstations.

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

4.1.3 Relations exposition-risque

On dispose dans le domaine de la pollution atmosphérique urbaines de relations fondées sur des observations chez l'homme pour de faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme ni hautes doses/basses doses.

Par contre on utilise à un endroit donné des relations établies « ailleurs » sans pour autant être assuré de la validité de cette démarche, 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 cardiovasculaire pour laquelle il n'existe pas, pour l'instant, d'analyse combinée européenne. Les acquis récents[18] et les résultats de l'étude de neuf zones urbaines françaises[15] limitent également l'incertitude liée à l'extrapolation géographique des courbes doses-réponses. Ils ont en effet révélé la cohérence des relations polluants/effets de la pollution dans plusieurs villes d'Europe sur la mortalité et les admissions respiratoires[18] et en France[15] sur la mortalité, quelles que soient les caractéristiques locales.

4.1.4 Caractérisation du risque

Le concept de risque attribuable suppose d'admettre que la relation « pollution atmosphérique santé » est de nature causale. En effet, le calcul d'un risque attribuable (ou proportion de cas attribuable) à un facteur de risque doit être restreinte aux facteurs de risque pour lesquels il existe des arguments sérieux de causalité entre l'exposition et la maladie[19, 20]. Cette causalité est de mieux en mieux établie, du moins pour les particules [21].

En outre, pour la pollution atmosphérique, risque attribuable et évitable ne sont pas stricto-sensu équivalents dans la mesure où les immissions dépendent des émissions mais également des conditions de dispersion des polluants ; cependant une réduction des émissions d'une source donnée s'accompagnera d'une réduction des niveaux de polluants associés[22], du moins pour les polluants primaires.

Les impacts estimés par indicateur de pollution (les relations exposition-risque sont établies polluant par polluant) 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[13].

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 appliquée à une exposition à la pollution atmosphérique, facteur de risque supposé causal, approchée par des indicateurs de pollution. Une action visant à réduire le niveau d'un indicateur sans réduction de la

pollution globale ne produirait donc pas les effets positifs escomptés par la mesure de la proportion de cas attribuable[23].

On retient également l'absence de seuil selon laquelle en raison de la variabilité interindividuelle il existe toujours au sein d'une population une fraction de sujets très sensibles et donc pas de niveau de pollution en deçà duquel un effet sanitaire ne serait observable[12].

L'erreur sur le dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) est limitée par le recours à de grandes catégories de diagnostics (mortalité toutes causes sauf accidentelles, hospitalisations pour toutes causes respiratoires ou cardio-vasculaires). Par contre la non-prise en compte des admissions aux urgences tend à sous estimer l'impact sur la morbidité hospitalière.

4.2 Interprétation des résultats

Dans ces conditions, les résultats 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. Mais un résultat, même approximatif, 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[23, 24].

Il est important de garder à l'esprit que le présent travail ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a un effet sur la santé mais de quantifier cet impact au niveau local. En effet, les effets de la pollution atmosphérique font l'objet d'une abondante littérature scientifique publiée au cours des dix dernières années[25] qui a notamment conclu à l'existence d'un effet de la pollution, même aux faibles niveaux de pollution et l'inexistence apparente de seuil pour la manifestation de ces effets au niveau d'une population.

Les résultats de la présente évaluation de l'impact est une illustration de ces acquis scientifiques. Leur présentation peut contribuer à leur appropriation au niveau local.

5 CONCLUSIONS

5.1 Un impact collectif non négligeable

Sur une année, l'impact de la pollution atmosphérique sur le court terme a été estimé à 17 (12 - 22) décès anticipés et 26 (13 - 43) hospitalisations dont 4 (0 - 12) pour motifs respiratoires et 22 (13 - 32) pour motifs cardio-vasculaires pour une population de 173.000 habitants. En ce qui concerne le long terme, le nombre de morts attribuables à la pollution atmosphérique est de 55 (33 - 78) par an.

Il s'agit là d'ordres de grandeur mais ces chiffres illustrent le fait que la pollution atmosphérique exerce des effets sur la santé d'une population, même pour des niveaux modérés, situés en deçà des normes. Ce résultat traduit le fait que même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont modestes, la proportion importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif non négligeable.

On peut ainsi estimer qu'une réduction des niveaux de pollution de 25 % se serait accompagnée sur la période d'étude d'une réduction de 35 % de la mortalité anticipée et de 35 % des hospitalisations associées à la pollution atmosphérique.

5.2 Un impact dû aux niveaux habituels plutôt qu'aux pics de pollution

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 »[26]. En effet, si les jours de « forte » pollution sont ceux dont l'impact journalier est le plus important, leur faible fréquence leur fait jouer un rôle limité si l'on observe les conséquences d'une dégradation de la qualité de l'air sur une année entière.

Ainsi par exemple, en prenant comme indicateur de pollution le NO₂, on s'aperçoit que les niveaux inférieurs à 40 µg/m³ (recommandation OMS pour la valeur moyenne annuelle) sont associés à 68 % (soit la majeure partie) de l'impact sur les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires en hiver.

En prenant comme indicateur de pollution l'O₃, on s'aperçoit que les niveaux supérieurs (moyenne 8h) à 110 µg/m³ (objectif de qualité) ne sont associés qu'à 0.1 % de l'impact sur la mortalité qui est donc dû en quasi-totalité aux teneurs respectant l'objectif de qualité.

En pratique, cela signifie 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.

5.3 Des connaissances à améliorer

L'évaluation de l'impact sanitaire a permis de mesurer l'ampleur des progrès à accomplir pour estimer cet impact de façon plus précise et surtout plus complète.

Si certains aspects de recherche technologiques, méthodologiques ou scientifiques relèvent du niveau national ou supranational, d'autres relèvent du niveau local. C'est le cas pour les progrès à réaliser dans la connaissance des immissions urbaines en polluants dont il faut mieux connaître la distribution géographique, en particulier à Caen pour l'ozone.

Une autre limite importante pourrait être levée si l'on disposait d'indicateurs de santé recueillis en population générale, notamment la prévalence de l'asthme en fonction de sa sévérité. Cela permettrait de mesurer l'impact de la pollution atmosphérique sur l'incidence des crises d'asthme et de ne pas rester cantonné aux effets nécessitant une hospitalisation.

6 BIBLIOGRAPHIE

1. Pascal L and Cassadou S, *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : Actualisation du guide méthodologique*. 2003, InVS. p. 38.
2. McMichael AJ, Anderson HR, and B. B, *Inappropriate use of daily mortality analyses to estimate longer-term mortality effects of air pollution*. International Journal of Epidemiology, 1998. **27**: p. 450-453.
3. Quénel P, Zmirou D, and D. W, *Premature death and long-term mortality effects of air pollution*. International Journal of Epidemiology, 1999. **28**: p. 2.
4. *Quantification of the health effects of exposure to air pollution*. 2000, WHO Regional Office for Europe: The Netherlands. p. 29.
5. Glorennec P and Quénel P *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique*. 1999, Institut de Veille Sanitaire.
6. INSEE, *Recensement général de la population 1999*. 1999, Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques: Paris.
7. Fontenelle JP, et al., *Inventaires d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air*. 1997, CITEPA: Région Basse Normandie.
8. SIG, *Industries polluantes par des rejets dans l'air*, DRIRE Basse Normandie.
9. VIVACITES. *Pollution de l'air, Pollution de l'eau*. in *Journée du transport public*. 1997. Centre des congrès de Caen.
10. CG14, *Orthophotoplan département calvados*. 2001, Conseil Général du Calvados.
11. Deloraine A and Ségala C, *Quels sont les impacts de la pollution atmosphérique sur la santé*. 2001, Primequal-Predit 1995-2000. p. 87.
12. RNSP, *Evaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque à l'échelle locale pour les Plans Régionaux de la Qualité de l'Air*. 1998, Réseau National de Santé Publique: Saint Maurice. p. 16.
13. Glorennec Philippe and Philippe Quénel *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique*. 1999, Institut de Veille Sanitaire.
14. Pascal Laurence and S. Cassadou, *Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : Actualisation du guide méthodologique*. 2003, InVS. p. 38.
15. InVS, *Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain*. 1999, Institut de Veille Sanitaire: Saint Maurice. p. 148.
16. Schwartz, J., *Harvesting and long term exposure effects in relationship between air pollution and mortality*. American Journal of Epidemiology, 1999.
17. Zmirou, D., *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.
18. Quénel, P., *Synthèse des résultats de l'étude APHEA*. Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire, 1998: p. 2.
19. J Coste, A.S., *La proportion de cas attribuables en Santé Publique : définitions, estimations et interprétation*. Revue Epidémiologique et Santé Publique, 1991. **39**: p. 399-411.
20. J Bouyer, D.H., *Epidémiologie : principes et méthodes quantitatives*. 1995, Paris: Inserm.
21. Dab, W., et al., *Air pollution and Health : Correlation or Causality? The case of relationship between exposure to particules and cardiopulmonary mortality*, in *Journal Air Waste Manag. Assoc*. 2001. p. 220-235.
22. Quénel, P., *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**: p. 13.
23. Krzyzanowski, M., *Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution*. Occupational Environmental Medicine, 1997. **54**: p. 145-151.

24. Goldstein, B., *The need to restore the public health base for environmental control.* American Journal of Public Health, 1995. **85**: p. 481-483.
25. Schwartz, J., *Air pollution and daily mortality : a review and meta analysis.* Environmental Research, 1994. **64**: p. 36-52.
26. Dab, W., *Les effets sanitaires des pics de pollution hivernaux.* Revue Pollution Atmosphérique, 1998. **156**: p. 1-3.
27. Franke, F., *EIS-PA.* 2003, InVS - PSAS-9.

7 ANNEXE 1 : FONCTION EXPOSITION-RISQUE[27]

7.1 Calcul court terme

Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur	Etudes retenues pour les courbes exposition / risque
	Mortalité cardiovasculaire	1,004	1,011	1,018	PSAS-9
	Mortalité respiratoire	1,006	1,012	1,019	PSAS-9
	Morbidité respiratoire 15 - 64 ans	0,998	1,004	1,01	APHEA1
	Mortalité respiratoire > 65 ans	1,003	1,007	1,01	PSAS-9
		1,004	1,008	1,014	APHEA1

Tableau 35 : Risques Relatifs (RR) pour l'ozone pour une augmentation de 10 µg/m³ du niveau de l'indicateur de pollution

Tableau 36 : Risques Relatifs (RR) pour le dioxyde d'azote pour une augmentation de 10 µg/m³ du niveau de l'indicateur de pollution

Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur	Etudes retenues pour les courbes exposition / risque
NO₂	Mortalité totale	1,007	1,01	1,013	PSAS-9
	Mortalité cardiovasculaire	1,005	1,012	1,018	PSAS-9
	Mortalité respiratoire	1,005	1,013	1,021	PSAS-9
	Morbidité respiratoire 15 - 64 ans	0,997	1,002	1,007	APHEA1
	Morbidité respiratoire > 65 ans	0,996	1,004	1,012	APHEA1
	Morbidité cardiovasc. hiver	1,006	1,01	1,014	Guide 1999
	Morbidité cardiovasc. été	1,007	1,012	1,017	Guide 1999

Tableau 37 : Risques Relatifs (RR) pour les PM10 pour une augmentation de 10 µg/m³ du niveau de l'indicateur de pollution

Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur	Etudes retenues pour les courbes exposition / risque
	Morbidité respi > 65 ans	1,002	1,005	1,013	APHEA2
	Morbidité cardiaque > 65 ans	1,004	1,007	1,01	APHEA2
	Mortalité totale	1,004	1,006	1,008	APHEA2

7.2 Calcul long terme

Tableau 38 : Risques Relatifs (RR) pour les PM10 pour une augmentation de 10 µg/m³ du niveau de l'indicateur de pollution

Polluant	Indicateur	Inférieur	Central	Supérieur	Etudes retenues pour les courbes exposition / risque
PM10	Mortalité totale long terme	1,026	1,043	1,061	Etude Tri-Nationale

8 ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DES IMMISSIONS POLLUANTES URBAINES

Toutes les données sont exprimées en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ sauf les valeurs manquantes (en %). Les données ont été obtenues auprès du réseau de surveillance de la qualité de l'air.

8.1 L'ozone

	O3 période estivale		
	Chemin vert	Ifs	Tour Leroy
Minimum	6	15,67	6,33
Percentile 5	26,37	37,33	23,09
Percentile 25	42,94	58,22	38,81
Médiane	53,72	69,44	50,56
Percentile 75	65,78	80,33	63,89
Percentile 95	84,07	103,56	83,97
Maximum	136,78	149,11	142,67
Moyenne journalière	54,68	70,13	52,07
Ecart-Type	18,45	19,94	19,57
% Valeurs manquantes	6,00	4,00	1,00

Tableau 39 : Distribution des niveaux journaliers d'exposition à l'O₃ sur les périodes estivales

Les coefficients de corrélation obtenus entre les stations pour la période de l'étude : avril 1998 – avril 2002 sont de :

Coefficients de corrélation	O3-Chemin vert	O3-ifs	O3-Tour Leroy
O3-Chemin vert	1		
O3-ifs	0,85	1,00	
O3-Tour Leroy	0,80	0,89	1

Tableau 40 : Coefficients de corrélation entre stations

8.2 Le dioxyde d'azote

Il est à noter que comme cela a été souligné dans l'étude, le pourcentage de valeurs manquantes pour le capteur d'ifs est très important, toutefois, ce capteur étant une station urbaine et le coefficient de corrélation avec le capteur de Chemin vert étant bon, les valeurs mesurées par le capteur sont validées.

		NO ₂	
		Chemin vert	Ifs
Période totale	Minimum	2	1
	Percentile 5	8	5
	Percentile 25	15	9
	Médiane	22	17
	Percentile 75	32	26
	Percentile 95	47	40,15
	Maximum	126	69
	Moyenne journalière	24,19	18,90
	Ecart-Type	12,82	11,79
	% Valeurs manquantes	9	54
	Été tropique	Minimum	3
Percentile 5		8	3
Percentile 25		13	7
Médiane		18,5	13
Percentile 75		25	19
Percentile 95		40,45	29,35
Maximum		115	48
Moyenne journalière		20,58	14,36
Ecart-Type		10,82	8,51
% Valeurs manquantes		11	63
Hiver tropique		Minimum	2
	Percentile 5	9	6
	Percentile 25	18	11
	Médiane	27	20,5
	Percentile 75	36	31
	Percentile 95	49	43,85
	Maximum	126	69
	Moyenne journalière	27,70	21,99
	Ecart-Type	13,63	12,68
	% Valeurs manquantes	8	44

Tableau 41 : Distribution des niveaux journaliers d'exposition aux NO₂ sur différentes périodes

Le coefficient de corrélation obtenu entre les deux stations pour la période d'étude est de :

Coefficients de corrélation	NO ₂ Chemin vert microg/m ³	NO ₂ IFS microg/m ³
NO ₂ Chemin vert microg/m ³	1	
NO ₂ IFS microg/m ³	0,79	1

Tableau 42 : Coefficients de corrélation entre stations

8.3 Les PM 10

Les niveaux mesurés pour les PM10 sont les suivants :

		PM10	
		Chemin vert	Ifs
Période totale	Minimum	0	2
	Percentile 5	7	7
	Percentile 25	12	11
	Médiane	17	16
	Percentile 75	24	24
	Percentile 95	40,45	42
	Maximum	143	102
	Moyenne journalière	19,36	19,60
	Ecart-Type	12,28	12,12
	% Valeurs manquantes	9	0
Eté tropique	Minimum	0	3
	Percentile 5	7	8
	Percentile 25	12	11,75
	Médiane	17	16
	Percentile 75	24	26
	Percentile 95	42	45
	Maximum	143	102
	Moyenne journalière	19,85	20,58
	Ecart-Type	13,93	12,89
	% Valeurs manquantes	13	4
Hiver tropique	Minimum	2	2
	Percentile 5	7	6
	Percentile 25	12	11
	Médiane	16	16
	Percentile 75	23	23
	Percentile 95	39,45	40
	Maximum	78	89
	Moyenne journalière	18,91	18,64
	Ecart-Type	10,51	11,24
	% Valeurs manquantes	5	2

Tableau 43 : : Distribution des niveaux journaliers d'exposition aux PM10 sur différentes périodes

Sur la période avril 1998 – avril 2002, le coefficient de corrélation entre les stations est de 0.72.

Coefficients de corrélation	PM10 Chemin vert	PM10 Ifs
PM10 Chemin vert	1	
PM10 Ifs	0,724	1

Tableau 44 : Coefficients de corrélation entre stations

9 ANNEXE 3 : CONFIGURATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

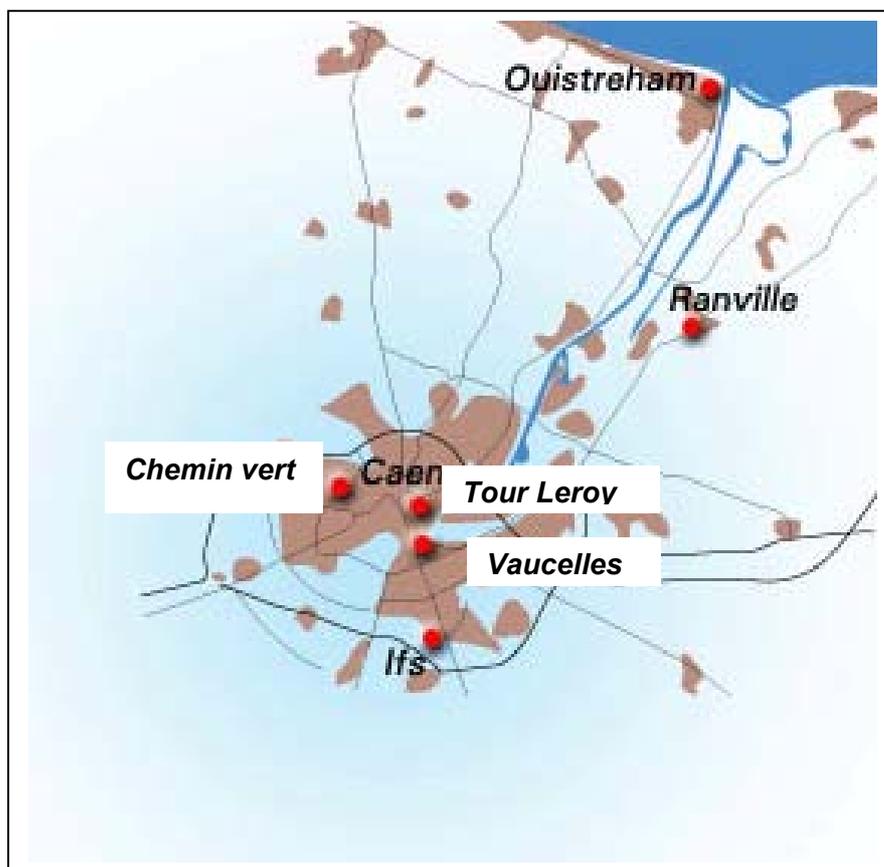
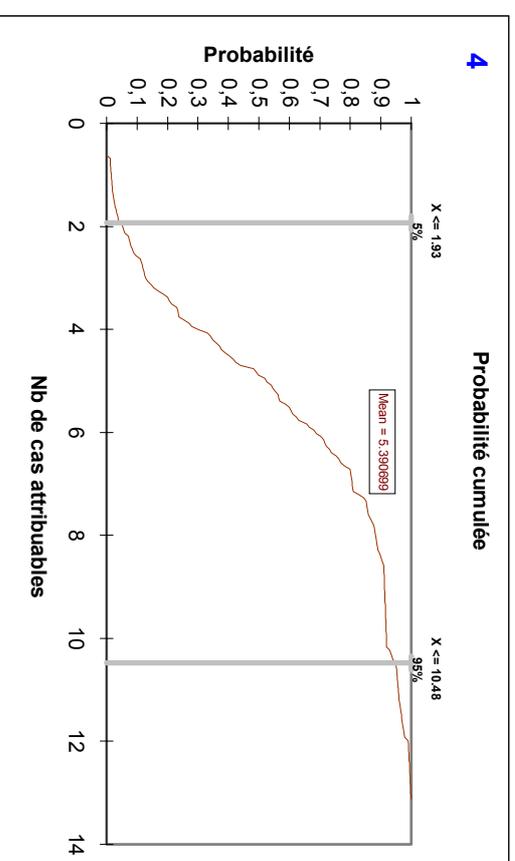
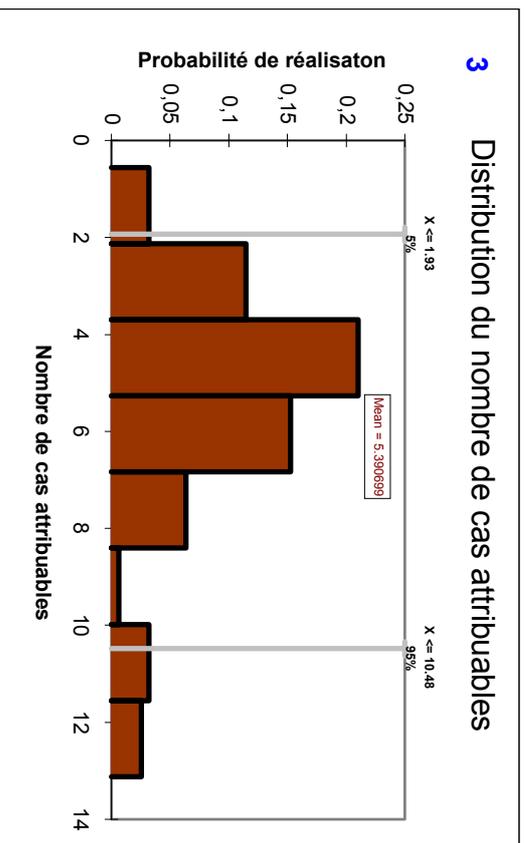
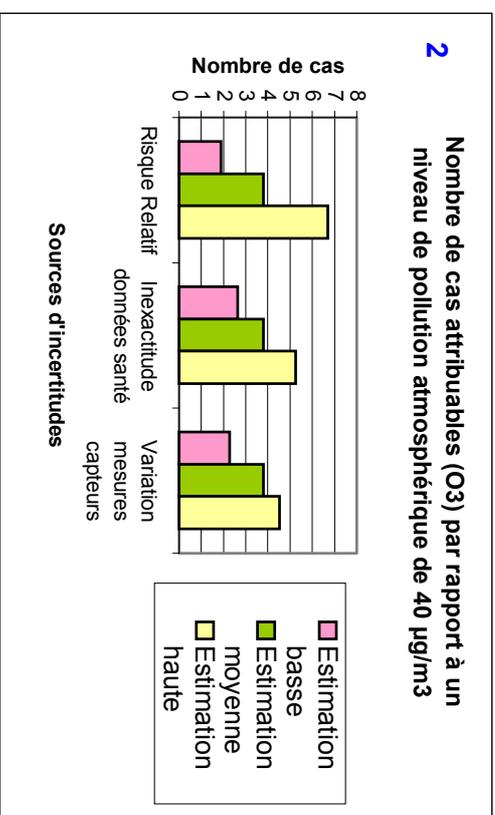
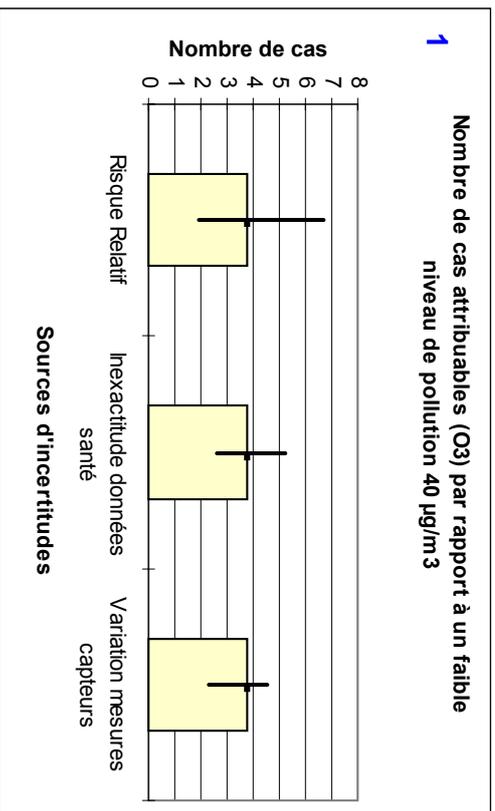


Figure 32 : Configuration du réseau de surveillance de la qualité de l'air (Source : Air Com)

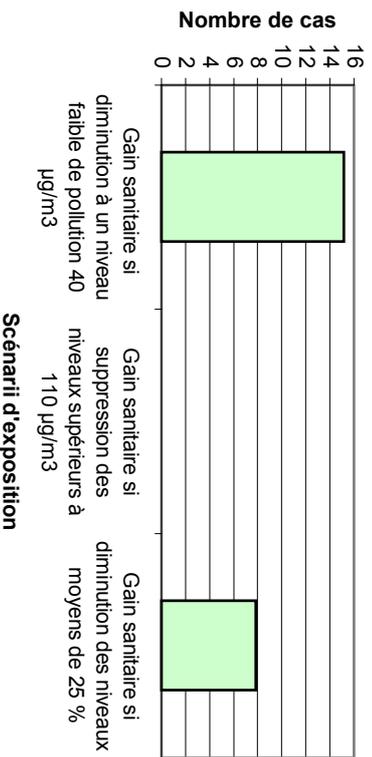
ANNEXE 2 : PLANCHES DE GRAPHIQUES UTILISEES COMME SUPPORT DE L'ENQUETE

PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES

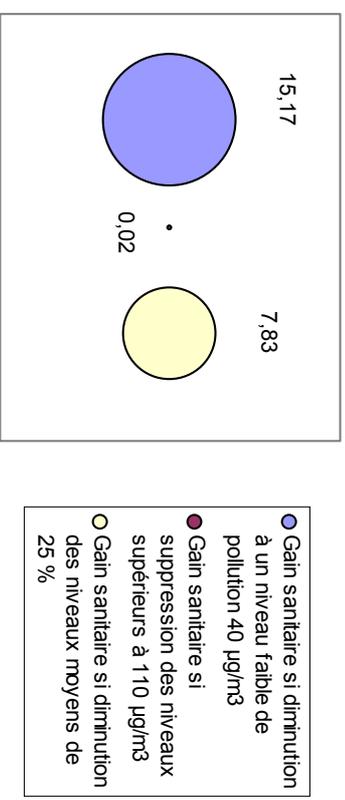


PRESENTATION DES DIFFERENTS SCENARIIS DE GESTION DES EXPOSITIONS

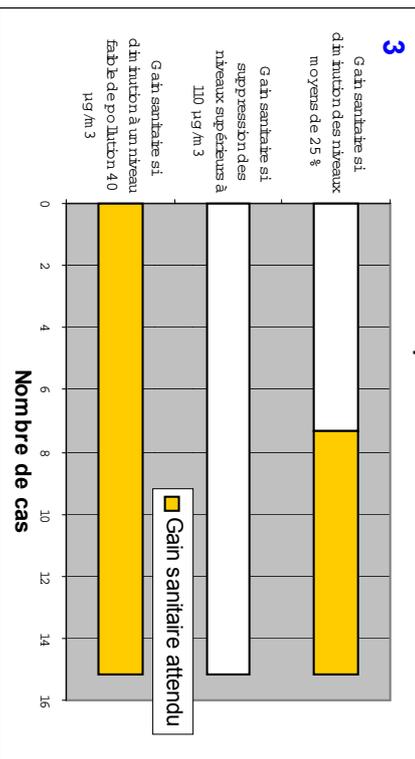
1 Conséquences sanitaires liées aux différentes expositions



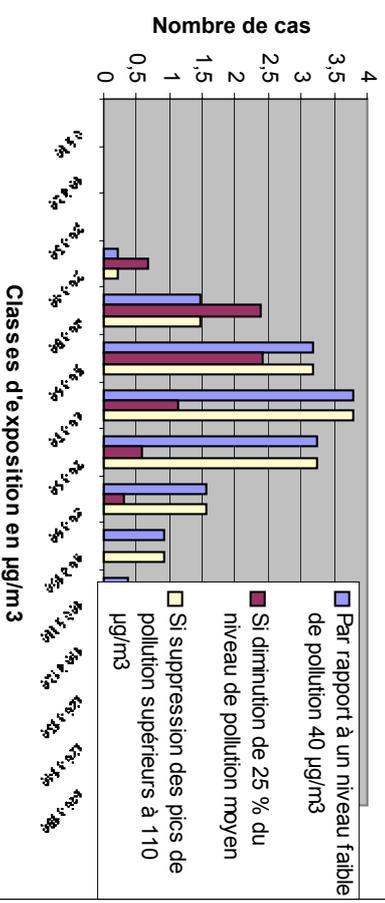
2 Conséquences sanitaires liées aux différentes expositions



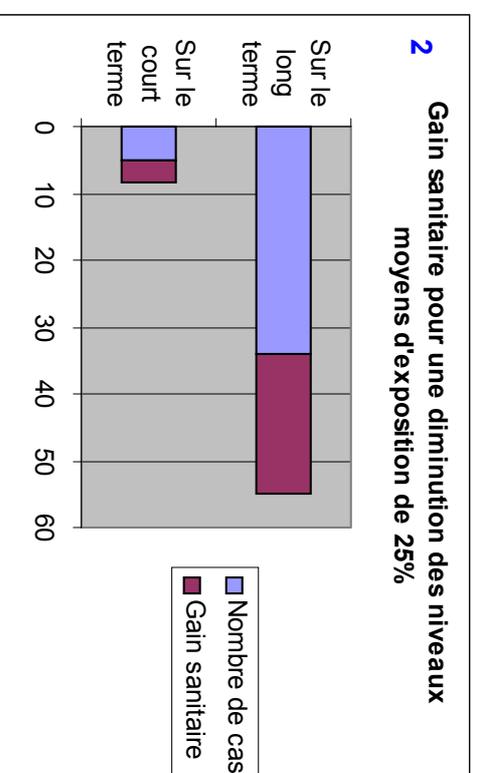
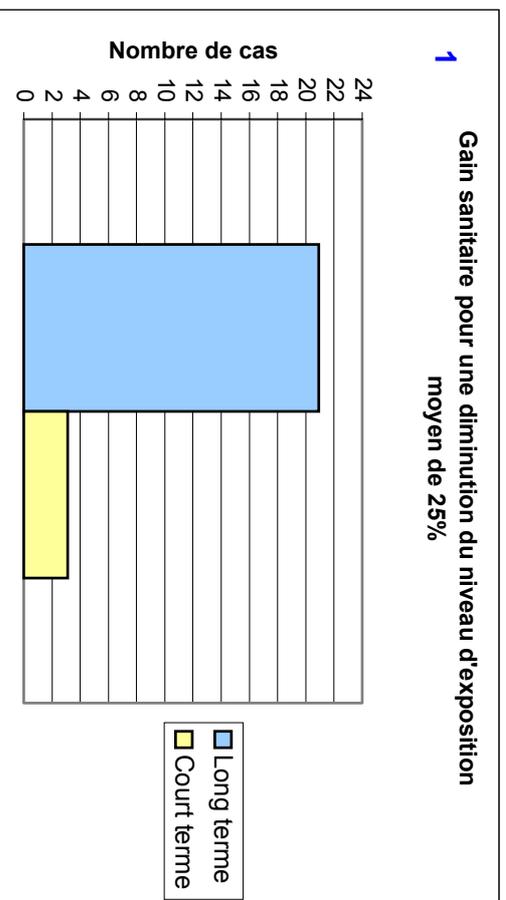
3 Conséquences sanitaires liées à différentes expositions



4 Nombre de cas attribuables suivant les classes d'exposition



CONSEQUENCES SANITAIRES POUR LE COURT TERME ET LE LONG TERME



ANNEXE 3 : LE QUESTIONNAIRE D'ENTRETIEN

Introduction étude

Je suis étudiante et je réalise mon mémoire sur la présentation des résultats des évaluations d'impact sanitaire lié à la pollution atmosphérique urbaine. Afin de pouvoir réaliser cette enquête, je vais succinctement vous présenter la méthode d'évaluation d'impact sanitaire.

Les polluants présents dans l'air sont des substances qui peuvent augmenter le risque de survenue de problèmes de santé. L'évaluation d'impact sanitaire consiste à estimer le nombre de cas de certaines maladies qui peuvent être attribuables à la pollution atmosphérique. Pour cela, la méthode prend en compte trois éléments :

- *la concentration dans l'air des polluants atmosphériques auxquels est exposée la population,*
- *le nombre de cas de la maladie étudiée observé dans la population,*
- *un paramètre appelé risque relatif qui quantifie la relation entre l'exposition à la pollution et le risque de survenue de la maladie. Plus le risque relatif est élevé et plus la relation est forte.*

Le risque relatif est estimé par des études épidémiologiques qui fournissent trois valeurs pour ce paramètre : une estimation basse, une estimation centrale et une estimation haute. Cette fourchette constitue l'incertitude attachée au risque relatif.

De la même façon, les valeurs mesurées en ce qui concerne les concentrations de polluants varient en fonction de la position géographique de la station de mesure. Cette variation constitue également une source d'incertitude. Enfin, le nombre de maladie est obtenu grâce aux informations transmises par les centres hospitaliers. Ces informations sont issues de saisies informatiques qui peuvent également comporter des erreurs. Ce fait constitue une troisième source d'incertitude.

Les résultats d'une évaluation de l'impact sanitaire sont généralement présentés, entre autre, sous forme de graphiques qui peuvent rendre compte de ces incertitudes . L'objectif de cette enquête est d'identifier les graphiques qui transmettent le mieux l'information

Catégorie socio-professionnelle :

Elu	<input type="checkbox"/>
Ingénieur administration déconcentrée	<input type="checkbox"/>
Journaliste	<input type="checkbox"/>
Association de protection de l'environnement	<input type="checkbox"/>
Expert scientifique	<input type="checkbox"/>
Grand Public	<input type="checkbox"/>

Niveau de formation :

CEP	<input type="checkbox"/>
BEPC	<input type="checkbox"/>
CAP-BEP	<input type="checkbox"/>
BAC et brevets professionnels	<input type="checkbox"/>
BAC +2	<input type="checkbox"/>
Diplômes supérieurs	<input type="checkbox"/>
Aucun diplôme	<input type="checkbox"/>

Type de formation :

Scientifique <input type="checkbox"/>	Littéraire <input type="checkbox"/>	Juridique <input type="checkbox"/>
Technique <input type="checkbox"/>	Autre <input type="checkbox"/>	

I PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES

Dans ces quatre graphiques, il s'agit de présenter les variations possibles du résultat obtenu en fonction des différentes sources d'incertitudes.

Les graphiques 1 et 2, montrent les estimations hautes, moyennes et basses pour chaque source d'incertitudes, du nombre de cas attribuables. Ainsi, on peut voir que le nombre de cas se situe entre 3 et 10.

Les graphiques 3 et 4 sont issus d'un logiciel permettant la prise en compte de toutes les sources d'incertitudes. Le graphique 3 présente ainsi la probabilité que le nombre de cas soit entre 5 et 6 par exemple. Alors que le graphique 4 montre que le résultat est compris entre 3 et 10 cas avec 90% de certitude.

1 Dans la présentation des résultats d'une EIS, Trouvez-vous utile de présenter les incertitudes attachées aux résultats ?

oui	<input type="checkbox"/>	non	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	-----	--------------------------

Les deux premiers graphiques (type 1) présentent l'estimation centrale, identique quelle que soit la source d'incertitude que l'on prend en compte, et les bornes de cette estimation selon que l'une ou l'autre des sources d'incertitude est prise en compte. Les deux graphiques suivants (type 2) présentent l'ensemble des estimations possibles du résultat et leur probabilité en intégrant l'ensemble des incertitudes.

2 Quel type de graphique vous paraît le plus intéressant à communiquer ?

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	aucun	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	-------	--------------------------

2-bis : pourquoi ?

3 Dans le type de graphique choisi, quel est celui qui vous paraît le plus clair ?

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	aucun	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------	-------	--------------------------

3 bis : pourquoi ?

II PRESENTATION DES DIFFERENTS SCENARII DE GESTION DES EXPOSITIONS

Le 2^{ème} groupe de graphiques permet de mettre en évidence le nombre de cas évitables selon le type de politique de lutte contre la pollution engagé. Cette politique peut être une réduction des pics de pollution ou bien une réduction des niveaux moyens d'exposition.

5 Trouvez-vous utile de présenter les résultats de différentes stratégies de lutte contre la pollution atmosphérique ?

oui	<input type="checkbox"/>	non	<input type="checkbox"/>
-----	--------------------------	-----	--------------------------

6 Quel graphique vous paraît le plus clair ?

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	aucun	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------	-------	--------------------------

6 bis : pourquoi ?

7 Quel graphique vous paraît le moins clair ?

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	3	<input type="checkbox"/>	4	<input type="checkbox"/>	aucun	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------	---	--------------------------	-------	--------------------------

7 bis : pourquoi ?

8 D'après ces graphiques, pensez-vous qu'il soit plus efficace pour la santé publique de réduire les pics de pollution ou de réduire le niveau de pollution moyen ?

pics	<input type="checkbox"/>	moyen	<input type="checkbox"/>
------	--------------------------	-------	--------------------------

III CONSEQUENCES SANITAIRES POUR LE COURT TERME ET LE LONG TERME

Le 3^{ème} groupe de graphiques permet de souligner le nombre de cas évités grâce à une action à court terme ou à long terme. La réduction du niveau moyen d'exposition sur le court terme consiste par exemple à une campagne « journée sans voiture » alors que le long terme est marqué par une diminution définitive du niveau de pollution moyen.

9 Quel graphique vous paraît le plus clair ?

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	aucun	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	-------	--------------------------

10 Quel graphique vous paraît le moins clair ?

1	<input type="checkbox"/>	2	<input type="checkbox"/>	aucun	<input type="checkbox"/>
---	--------------------------	---	--------------------------	-------	--------------------------

10 bis : pourquoi ?

11 D'après ces graphiques, le gain sanitaire sera-t-il plus important par une action sur le court terme ou le long terme ?

CT	<input type="checkbox"/>	LT	<input type="checkbox"/>
----	--------------------------	----	--------------------------

12 Finalement, pour vous, la présentation des incertitudes doit-elle se faire à travers une communication visuelle telle que les graphiques ou par une autre voie ?

13 Selon vous, la présentation des résultats des différentes politiques de gestion doit-elle se faire à travers une communication visuelle telle que les graphiques ou par une autre voie ?

14 Enfin, en ce qui concerne l'influence d'une action à court terme ou à long terme, selon vous, quelle est le mode de communication le plus adapté ?

ANNEXE 4 : LISTING DES REPONSES AUX QUESTIONS OUVERTES

Listes des questions ouvertes

Question 2 bis : Quel type de graphique vous paraît le plus intéressant à communiquer et pourquoi ?.....

Question 3 bis : Dans le type de graphique choisi, quel est celui qui vous paraît le plus clair et pourquoi ?.....

Question 6 bis : Quel graphique vous paraît le plus clair, pourquoi ?.....

Question 7 bis : Quel graphique vous paraît le moins clair, pourquoi ?.....

Question 10 bis : Quel graphique vous paraît le plus clair, pourquoi ?.....

Question 12 : Finalement, pour vous, la présentation des incertitudes doit-elle se faire à travers une communication visuelle telle que les graphiques ou par une autre voie ?.....

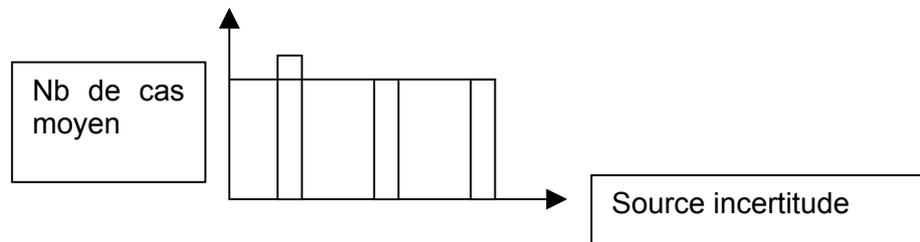
Question 13 : Selon vous, la présentation des résultats des différentes politiques de gestion doit-elle se faire à travers une communication visuelle telle que les graphiques ou par une autre voie ?.....

Question 14 : Enfin, en ce qui concerne l'influence d'une action à court terme ou à long terme, selon vous, quelle est le mode de communication le plus adapté ?.....

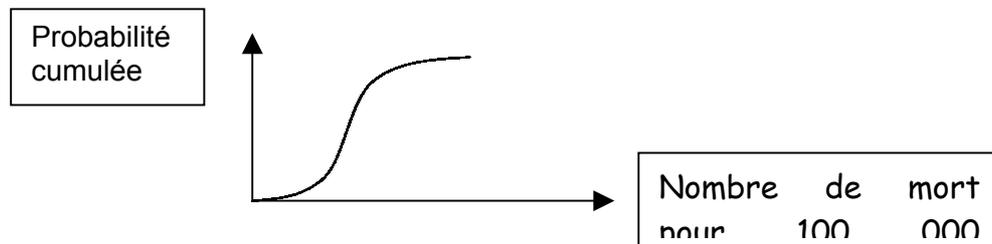
Les listes de remarques citées ci-après sont des remarques qui semblaient intéressantes et qui diffèrent de la réponse traditionnelle « parce qu'il est plus clair, plus lisible ».

Question 2 bis : Quel type de graphique vous paraît le plus intéressant à communiquer et pourquoi ?

- « Pour réutiliser les informations pour un autre public, je serais plus à l'aise avec les histogrammes »
- Graphique 1 : problème de la disparité entre barre histogramme et trait incertitudes : pourquoi ne pas utiliser les histogrammes avec plusieurs couleurs pour montrer les incertitudes :



- On peut penser à utiliser les probabilités mais en parlant non pas d'un nombre de cas mais de X mort pour 100 000 habitant par exemple :



- Un graphique ne simplifie pas un message trop complexe et trop riche
- Il est intéressant de voir les 3 sources principales d'incertitudes et leur importance respective
- Les couleurs de graphiques probabilistes sont trop sombres,
- Les graphiques type 1 fournissent trop de données à lire (lire ce que représente la couleur et le comprendre)
- Type 1 : il manque le niveau d'exposition moyen intéressant si on utilise une référence pour le faible niveau de pollution, éviter le terme nombre de cas mais nombre d'hospitalisation pour motif respiratoire, la notion de risque relatif est un peu complexe
- Type 1 : le problème de développer chaque source d'incertitude est que l'on peut croire qu'à chacune des variables un modèle différent est associé ce qui est faux
- Probabilité trop d'explication

Question 3 bis : Dans le type de graphique choisi, quel est celui qui vous paraît le plus clair et pourquoi ?

- Graphique 2 : avantage des différentes couleurs demande très peu de réflexion,
- Graphique 1 : le principe de la barre pour montrer la variation est intéressant mais il serait peut être plus clair si la barre était remplacée par la continuité de l'histogramme avec un dégradé de couleur,
- « Je préfère l'allure d'une courbe »
- Graphique 3 : plus concis, résumé de l'information
- Graphique 4 : incompréhensible, trop complexe

Question 6 bis : Quel graphique vous paraît le plus clair, pourquoi ?

- Graphique 4 : permet de montrer la distribution de l'impact en fonction de la pollution et de conforter le message du problème de santé
- Graphique 2 : la différence de proportion se lit clairement en comparant les surfaces
- Graphique 3 : très lisible et clair mais en vertical ou bien en horizontal de gauche à droite
- Graphique 1 : on voit le résultat d'un simple coup d'œil
- Graphique 4 : la distribution fournie plus d'information
- Graphique 3 : l'ordre des scénarios devrait plutôt être ce que l'on fait actuellement « lutte contre les pics », si on réduisait de 25 % le niveau moyen et idéalement si on abaisse le niveau de pollution à un niveau faible

Question 7 bis : Quel graphique vous paraît le moins clair, pourquoi ?

- Graphique 2 : les bulles peuvent être remplacées par trois camemberts
- Graphique 3 : graphique vertical préférable difficulté de lecture à cause de l'horizontalité
- Graphique 4 : graphique intéressant mais un peu trop chargé, on peut envisager de parler en gain sanitaire et non pas en nombre de cas en prenant le principe du graphique 3 avec en orange le gain sanitaire et de conserver le principe de la distribution en fonction des classes d'exposition
- Graphique 4 : remplacer les histogrammes par une courbe linéaire ce qui permet une meilleure comparaison et permet de mieux observer une tendance que les histogrammes
- Graphique 1 amélioration possible en parlant du nombre de mort suivant les scénarios et non pas du gain sanitaire qui est un terme trop complexe
- Graphique 3 : mettre le graphique en vertical et non pas horizontal
- Graphique 2, mettre « morts » à côté du chiffre afin de savoir de quoi l'on parle
- Graphique 2 : problème de spatialisation liés au rond, présentation SIG
- Graphique 4 : beaucoup trop chargé, trop de barres, de classes et de légende

Question 10 bis : Quel graphique vous paraît le plus clair, pourquoi ?

- Graphique 2 : modifier nombre de cas par « nombre de cas résiduel »,
- Conserver homogénéité couleur pour le gain sanitaire entre la planche 2 et la planche 3 (orange),
- Préciser explication long terme et court terme pour information, toutefois, pertinence d'une telle communication pour le grand public ?
- Existe un intérêt de présenter des informations aussi complètes sur le court terme et long terme ?
- Définitions court terme et long terme
- Possibilité de présenter le graphique 2 avec trois histogrammes : nombre de cas à ce jour, nombre de cas si suppression des pics à 110 µg/m³, diminution de 25% des niveaux moyens
- Il serait peut être plus intéressant de communiquer des résultats sur les effets sur la santé pour différentes classes d'âges
- Graphique 2 : couleur sont trop sombres
- Les deux graphiques sont trop simples : peut être que de développer les deux scénarios comme pour la planche 2 avec pics et niveau moyen pour le long et le court terme serait intéressant
- Graphique 1 : résultat visible rapidement

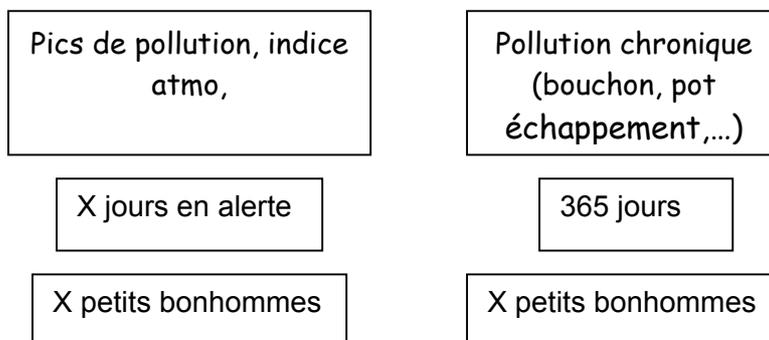
Question 12 : Finalement, pour vous, la présentation des incertitudes doit-elle se faire à travers une communication visuelle telle que les graphiques ou par une autre voie ?

- Besoin d'un texte explicatif avec les graphiques
- Présentation graphique attractive et accrocheuse
- Importance de l'image et du visuel ; association photo et chiffres, pas forcément graphique une image peut également parler
- Graphique 1 : éventuellement rajouter les chiffres aux extrémités de chaque barre
- Un graphique est plus pédagogique mais n'est pas indispensable à la compréhension et la complique peut être. Un texte serait suffisant
- Le type 1 peut être complété par une phrase telles que on a 90 % de certitude que le nombre de cas soit compris entre 3 et 10,
- Graphique + légende dans un encadré pour ne pas noyer la légende dans une masse de texte
- Communiquer sur les incertitudes est intéressant mais plutôt avec une phrase résumé : « nombre de cas compris entre 3 et 10 avec 90% de certitude »
- De préférence des graphiques sous la forme histogramme ou camembert
- Les incertitudes peuvent être présentées par la voie écrite (texte),
- En ce qui concerne les incertitudes du modèle, quelques phrases explicatives du modèle et donc des sources d'incertitudes dues aux hypothèses seraient préférables. Ces phrases peuvent s'inspirer des graphiques probabilistes
- Schéma important pour la planche 2 mais pour les incertitudes cela montre « un peu trop la cuisine interne », si le but est de communiquer sur des résultats et de faire passer un message alors un texte suffit : « 7 cas avec 10 de chances de se tromper » ou « 90% de certitudes que le nombre de mort est compris entre 3 et 10 »,
- Les chiffres ne sont intéressants que dans la mesure où l'on peut les comparer à d'autres
- Définition du risque relatif, légende pour les graphiques, expliquer pourquoi 40 µg/m³ comme niveau de référence
- Explication claire et succincte du principe, quelques lignes
- Communication graphique préférable aux tableaux et textes bruts à condition de mettre une légende et de donner des définitions à moins d'utiliser un vocabulaire plus accessible
- Graphique + texte avec une phrase claire telle que 5% de chances que le nombre de cas soit inférieur à 3 cas par exemple
- La communication visuelle ne paraît pas suffisante à elle seule
- Nécessité d'un texte explicatif en + des graphiques
- Les graphiques appuient le texte,
- Légende : « texte synthétique pour que les gens ne loupent pas le message »,
- Modifier le titre variation des mesures et le remplacer par « variation due à la dispersion des mesures sur la zone d'étude », même principe pour les autres titres
- La communication orale paraît plus adaptée que la communication visuelle car pour la communication visuelle le fait de détailler des données complexes rend les informations plus difficiles à comprendre
- Communication plus claire avec des chiffres et un tableau

Question 13 : Selon vous, la présentation des résultats des différentes politiques de gestion doit-elle se faire à travers une communication visuelle telle que les graphiques ou par une autre voie ?

- Graphique + parlant qu'un texte, plus facile à expliquer
- Possibilité de mettre les tableaux de valeurs en annexe pour pouvoir reprendre l'information dans une autre présentation
- Communication graphique très pédagogique, meilleure information

- Ne pas omettre une légende pour expliquer les graphiques et conforter le message
- Pour les scénarios d'exposition montrer que les médias parlent beaucoup des pics de pollution mais le danger est ailleurs
- Préférer le principe de l'infographie à des graphiques de type histogramme ou camembert qui peuvent être utilisés pour des présentations budgétaires ou d'autres choses : associer une image (pot d'échappement, pic de pollution, nombre de mort, indicateur de couleur danger :



- Graphiques globalement très pédagogiques pour montrer qu'il n'y a pas d'effet de seuil
- Le graphique vient en support du texte (expliquant les niveaux de pollution rencontrés dans l'agglomération concernée),
- Graphiques sont plus faciles à mémoriser
- Les tableaux sont en général imbuables
- Ce message est le plus intéressant à communiquer, le graphique met bien en valeur la différence entre pic et niveau moyen

Question 14 : Enfin, en ce qui concerne l'influence d'une action à court terme ou à long terme, selon vous , quelle est le mode de communication le plus adapté ?

- Graphique important pour montrer le gain,
- Graphique devant être sobre et pédagogique ; code de couleur, homogénéité,
- Graphiquement intéressant pour mesurer l'impact de l'action
- Les graphiques sont nécessaires pour transmettre les tendances, les évolutions mais pour la communication d'un ou deux chiffres, le texte est un meilleur outil de communication
- Graphique inutile plutôt du texte deux phrases par exemple
- Pour le court terme et le long terme, besoin de multiplier les support de communication pour faire passer le message
- La présentation graphique n'apporte pas grand chose : trop peu de chiffres

9.1.1 Commentaires généraux

- Pourquoi parler du niveau de pic à 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ alors que le seuil d'information et de recommandations est aujourd'hui de 180 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Pertinence de communiquer sur le long terme et le court terme, pas trop complexe ?
- Pour le grand public peut être + du texte que des graphiques
- Communication des incertitudes indispensable car il est important de savoir quelles sont les limites des outils qu'on utilise et de prendre du recul par rapport aux résultats obtenus
- Le titre du graphique ou du texte doit faire passer 50 % de l'information
- Graphiques légendés avec phrases explicatives pour confirmer et éventuellement compléter le graphique

- Fixer comme objectif : un message = un graphique
- Utiliser un langage plus abordable, non réducteur mais plus clair comme « nombre de mort au lieu de nombre de cas attribuables »
- Le graphique doit être complété d'une légende apportant un degré supérieur d'information, puis le texte qui développe et complète encore la légende
- Les graphiques présentés contiennent trop d'information, croisement de données : trop complexes
- Communication sur l'impact pour les tranches d'âge (personnes âgées, enfants,...), pour ne pas noyer l'information importante dans la moyenne
- Besoin de communication sur les indicateurs et les évaluations car à ce jour on suit beaucoup de chose mais l'on communique trop peu
- La communication des incertitudes est certes intéressante mais doit être maniée avec beaucoup de précaution car risque désintérêt des gens
- Ce type de communication est intéressant toutefois afin de motiver le public, il faut informer sur les pratiques permettant de réduire le niveau moyen de pollution en comparant la réduction de la pollution obtenue si X % de la population utilisaient les transports en commun par exemple

ANNEXE 5 : BASE DE DONNEES PRESENTANT LES RESULTATS DE L'ENQUETE

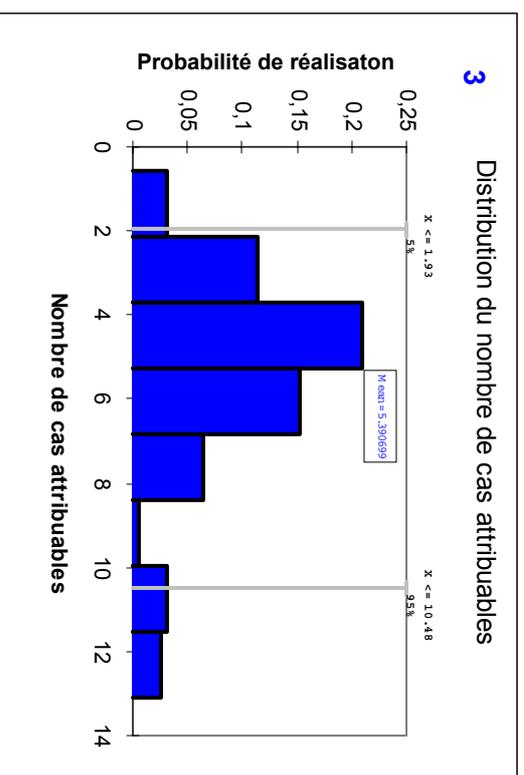
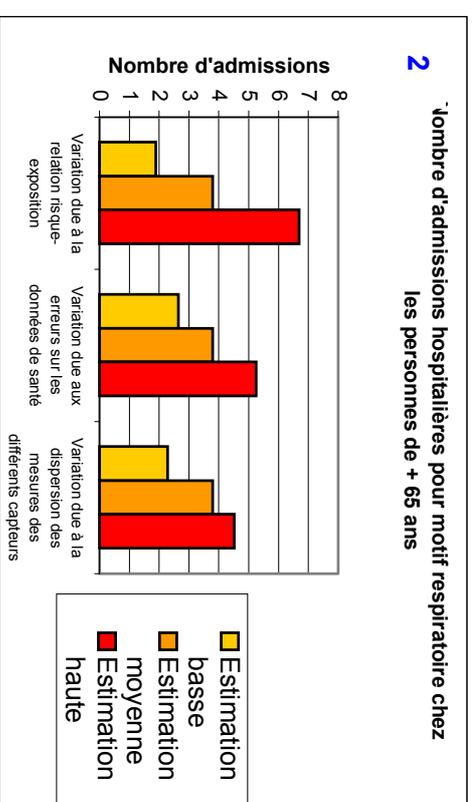
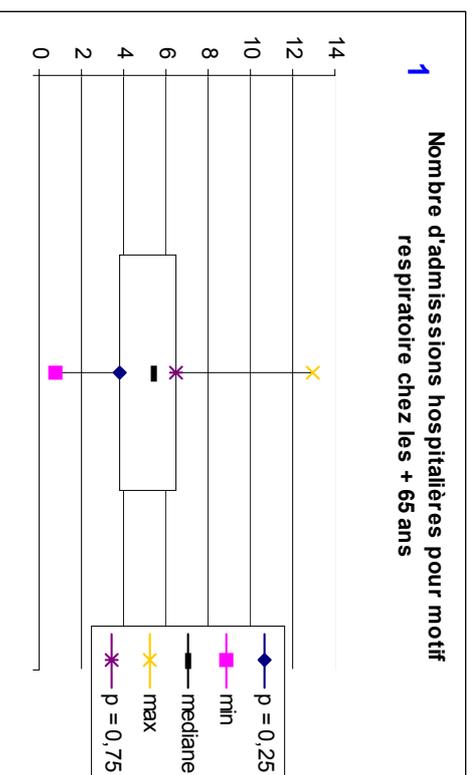
Métier	N. Formation	T. formation	Q.1	Q.2	Q.3	Q.5	Q.6	Q.7	Q.8	Q.9	Q.10	Q.11	Type public
Association protection environnement	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	1	oui	3	4	moyen	1	2	LT	Averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	2	oui	4	2	moyen	2	1	LT	Averti
Grand public	4-BAC et brevets professionnels	Technique	oui	Excel	2	oui	1	3	moyen	2	1	LT	Non averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	1	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Averti
Grand public	4-BAC et brevets professionnels	Technique	oui	Excel	2	oui	3	1	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand public	4-BAC et brevets professionnels	Technique	oui	Excel	2	oui	4	2	moyen	2	1	LT	Non averti
Expert scientifique	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	@Risk	3	oui	4	2	moyen	aucun	aucun	LT	Averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	2	oui	1	4	moyen	2	1	LT	Averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	2	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	@Risk	3	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Averti
Grand Public	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	@Risk	4	oui	2	3	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand Public	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	@Risk	3	oui	4	2	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand Public	6-Diplômes supérieurs	Juridique	oui	@Risk	4	oui	1	4	moyen	2	1	LT	Non averti
Association protection environnement	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	@Risk	3	oui	4	2	moyen	2	1	LT	Averti
Association protection environnement	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	1	oui	1	4	moyen	2	1	LT	Averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	1	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Averti
Ingénieur administration déconcentrée	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	1	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Averti
Collectivité territoriale	5-BAC+2	Technique	oui	Excel	2	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Averti
Association protection environnement	6-Diplômes supérieurs	Autre	oui	Excel	2	oui	3	1	moyen	1	2	LT	Averti
Journaliste	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	@Risk	4	oui	2	4	moyen	1	2	LT	Non averti

Métier	N. Formation	T. formation	Q.1	Q.2	Q.3	Q.5	Q.6	Q.7	Q.8	Q.9	Q.10	Q.11	Type public
Elu	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	Excel	2	oui	2	4	moyen	2	1	LT	Non averti
Journaliste	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	Excel	1	oui	1	2	moyen	2	1	LT	Non averti
Journaliste	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	@Risk	3	oui	1	2	moyen	2	1	LT	Non averti
Journaliste	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	aucun	aucun	oui	aucun	aucun	moyen	1	2	LT	Non averti
Grand Public	3-CAP-BEP	Technique	oui	@Risk	4	oui	1	3	moyen	1	2	LT	Non averti
Grand Public	4-BAC et brevets professionnels	Autre	oui	aucun	aucun	oui	3	4	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand Public	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	@Risk	3	oui	2	4	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand Public	4-BAC et brevets professionnels	Technique	oui	Excel	1	oui	4	2	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand Public	4-BAC et brevets professionnels	Autre	oui	Excel	2	oui	1	4	moyen	2	1	LT	Non averti
Grand Public	5-BAC+2	Littéraire	oui	Excel	2	oui	4	2	moyen	aucun	aucun	LT	Non averti
Grand Public	3-CAP-BEP	Technique	oui	Excel	2	oui	3	2	moyen	2	1	LT	Non averti
Association protection environnement	6-Diplômes supérieurs	Scientifique	oui	@Risk	3	oui	3	4	moyen	2	1	LT	Averti
Expert scientifique	6-Diplômes supérieurs	scientifique	oui	@Risk	4	oui	aucun	4	moyen	2	1	LT	Averti
Expert scientifique	6-Diplômes supérieurs	Scientifique	non	@Risk	3	oui	1	4	moyen	1	2	LT	Averti
Association protection environnement	6-Diplômes supérieurs	Scientifique	oui	@Risk	3	oui	4	2	moyen	aucun	aucun	LT	Averti
Grand Public	3-CAP-BEP	Autre	oui	@Risk	4	oui	3	2	moyen	aucun	aucun	LT	Non averti
Grand Public	3-CAP-BEP	Autre	oui	@Risk	4	oui	3	1	moyen	aucun	aucun	LT	Non averti
Grand Public	4-BAC et brevets professionnels	Technique	oui	Excel	1	oui	2	4	moyen	aucun	aucun	LT	Non averti
Grand Public	3-CAP-BEP	Autre	oui	@Risk	3	oui	4	1	moyen	aucun	aucun	LT	Non averti
Elu	6-Diplômes supérieurs	Littéraire	oui	@Risk	3	oui	4	1	moyen	1	2	LT	Non averti
Collectivité territoriale	6-Diplômes supérieurs	Technique	oui	Excel	1	oui	3	2	moyen	aucun	aucun	LT	Non averti

ANNEXE 6 : PLANCHES DE GRAPHIQUES PROPOSEES A L'ISSUE DE L'ENQUETE

PRISE EN COMPTE DES INCERTITUDES

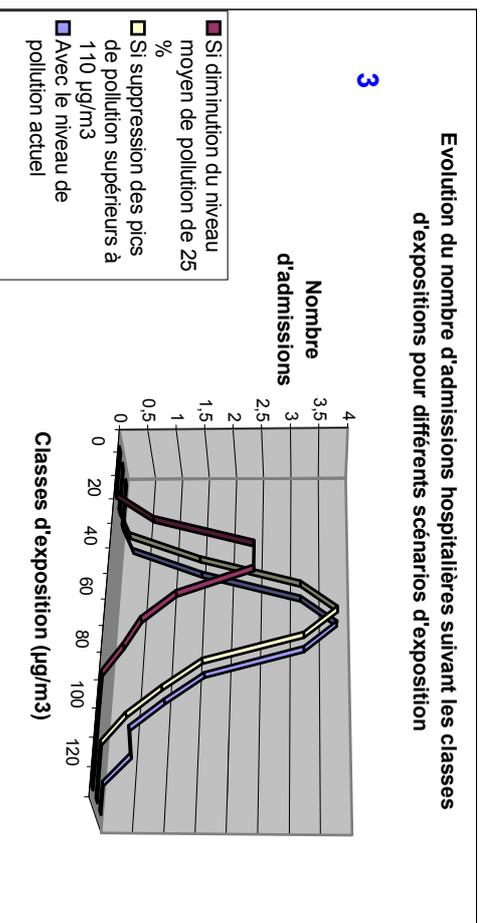
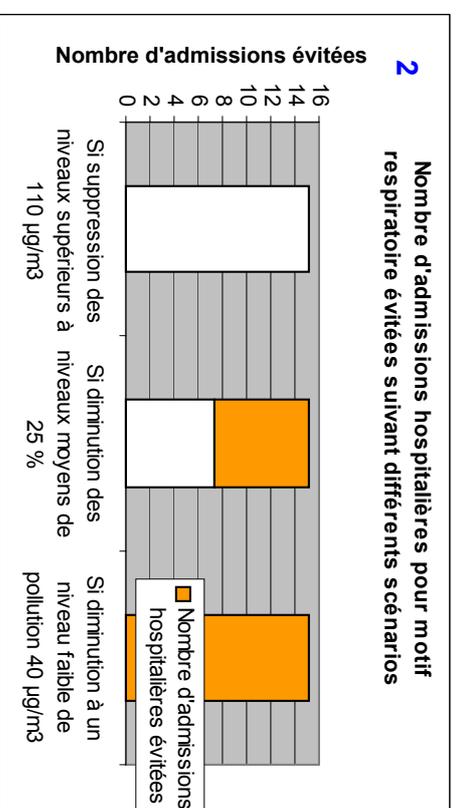
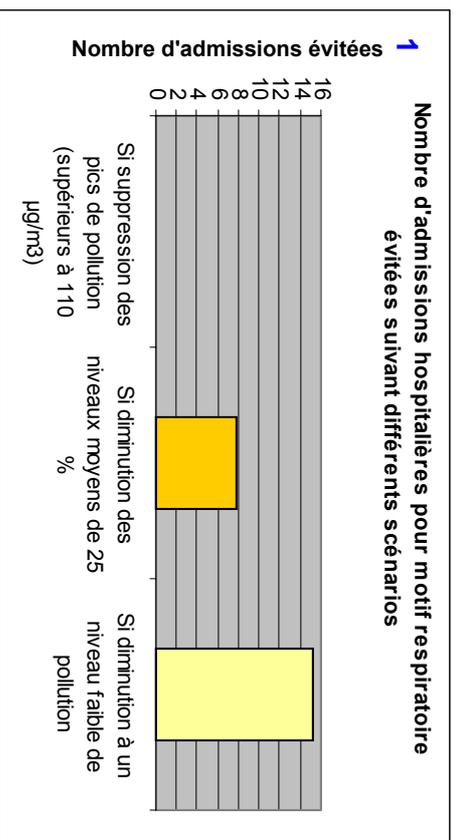
(NOMBRE D'ADMISSIONS HOSPITALIERES ANNUELLES SELON L'INDICATEUR OZONE POUR LA VILLE DE CAEN)



4 La méthode d'évaluation d'impact sanitaire repose sur trois éléments fondamentaux : la relation risque-niveau d'exposition, les données de santé (nombre d'admissions hospitalières, mortalité) et les données d'exposition fournies par les mesures des différents capteurs. Ces éléments ne sont pas des données absolues et il existe des incertitudes. Ainsi, à titre d'exemple, le nombre d'admissions hospitalières pour motif respiratoire chez les personnes de + 65 ans varie entre 2 et 10 cas avec 90 % de certitudes.

Légende des graphiques : La prise en compte de trois sources d'incertitudes liées à la méthode d'évaluation d'impact sanitaire révèle que le nombre d'admissions hospitalières pour motif respiratoire chez les personnes de + de 65 ans est compris entre 2 et 10 cas avec 90 % de certitudes.

PRESENTATION DES DIFFERENTS SCENARIU DE GESTION DES EXPOSITIONS
 (NOMBRE D'ADMISSIONS HOSPITALIERES POUR MOTIF RESPIRATOIRE CHEZ LES PERSONNES DE + 65 ANS PENDANT LA PERIODE AVRIL 1998 – AVRIL 2002
 SELON L'INDICATEUR OZONE SUR LA VILLE DE CAEN)

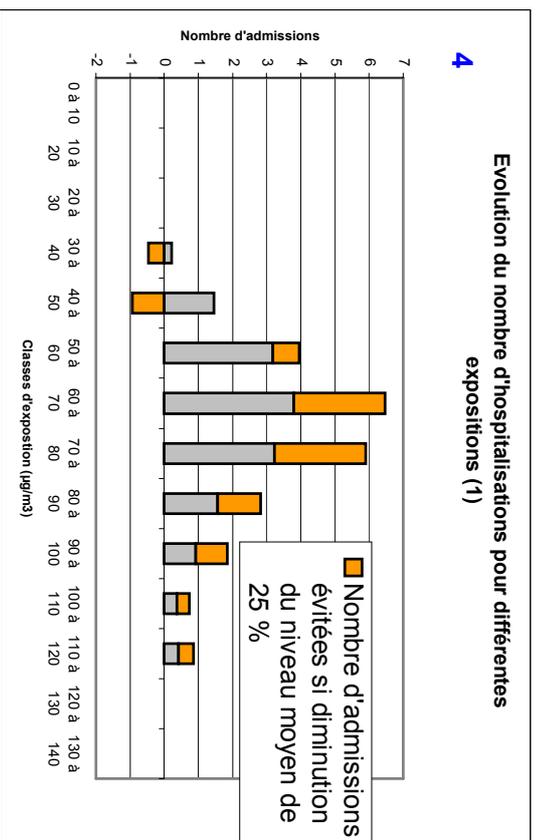


Légende des graphiques : La comparaison de trois scénarios d'exposition différents indique qu'une politique de lutte contre les pics de pollution à l'ozone n'éviterait aucune hospitalisation. A contrario, la diminution des niveaux moyens de pollution de 25 % éviterait environ 50 % des admissions hospitalières pour motif respiratoire attribuables à la pollution atmosphérique.

PRESENTATION DES DIFFERENTS SCENARI DE GESTION DES EXPOSITIONS (BIS)
 (NOMBRE D'ADMISSIONS HOSPITALIERES POUR MOTIF RESPIRATOIRE CHEZ LES PERSONNES DE + 65 ANS PENDANT LA PERIODE AVRIL 1998 – AVRIL 2002
 SELON L'INDICATEUR OZONE SUR LA VILLE DE CAEN)

4

4



5

Evolution du nombre d'hospitalisations pour différentes expositions (2)

