

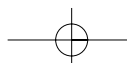
Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

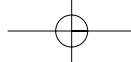
Brest et Nantes
Impact à long terme



MINISTÈRE
DE LA SANTÉ ET DE
LA PROTECTION
SOCIALE

Drass Pays-de-la-Loire
Drass Bretagne
Cire Ouest





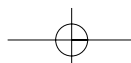
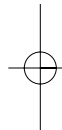
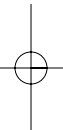
Ce document a été rédigé par Yvonnick Guillois-Bécel (Cellule interrégionale d'épidémiologie Ouest), avec la collaboration de Alain Meunier (Direction régionale des affaires sanitaires et sociales des Pays-de-la-Loire) et Béatrice Grall (Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Bretagne) pour le recueil et la mise en forme des données d'exposition fournies par les associations de suivi de la qualité de l'air.

L'étude a reçu la validation scientifique de l'Institut de veille sanitaire.

Ghislain Manet (Cellule interrégionale d'épidémiologie Ouest) a participé au déroulement de l'étude notamment par de nombreuses recherches bibliographiques.

Bertrand Gagnière (Cellule interrégionale d'épidémiologie Ouest) a facilité le calcul des probabilités de survie.

Bruno Hubert (Cellule interrégionale d'épidémiologie Ouest) et Sylvie Cassadou (Institut de veille sanitaire) ont enrichi la rédaction du rapport par une lecture attentive et des remarques pertinentes.



Sommaire

Glossaire	5
Introduction	7
1. Description des zones d'étude	9
1.1 Géographie des zones d'étude	9
1.2 Populations	9
1.3 Sources de pollution	10
1.4 Météorologie et topographie	10
1.5 Surveillance de la qualité de l'air	10
1.6 Qualité de l'air	10
2. Matériel et méthode	13
2.1 Identification des indicateurs sanitaires	13
2.2 Choix des relations exposition-risque	13
2.2.1 Relation utilisée par l'étude trinationale (1999)	13
2.2.2 Relations proposées par Pope C.A. III (2002)	14
2.3 Estimation des expositions	14
2.3.1 Période d'étude	14
2.3.2 Sélection des stations	15
2.3.3 Construction des indicateurs d'exposition	15
2.4 Caractérisation des risques	15
2.4.1 Principe	15
2.4.2 Données	19
3. Résultats	21
3.1 Résultats relatifs à la zone d'étude brestoise	21
3.1.1 Calcul du gain sanitaire potentiellement associé à une réduction de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10)	21
3.1.2 Calcul de l'impact sanitaire potentiellement associé à une augmentation de 15 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10)	21
3.2 Résultats relatifs à la zone d'étude nantaise	21
3.2.1 Calcul du gain sanitaire potentiellement associé à une réduction de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10 et PM2,5)	22
3.2.2 Calcul de l'impact sanitaire potentiellement associé à une augmentation de 15 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10 et PM2,5)	23

4. Discussion	25
4.1 Erreurs et incertitudes.....	25
4.1.1 Identification des indicateurs sanitaires.....	25
4.1.2 Relations exposition–risque.....	25
4.1.3 Estimation des expositions.....	26
4.1.4 Caractérisation des risques.....	27
4.2 Interprétation et formulation des résultats.....	29
4.2.1 Les résultats de l'EIS sur Brest.....	29
4.2.2 Les résultats de l'EIS sur Nantes.....	29
5. Conclusions	31
5.1 Intérêt des EIS long terme.....	31
5.2 Perspectives.....	31
6. Annexes	33
Annexe 1	
<i>Extraits des inventaires Citepa</i>	33
Annexe 2	
<i>Caractéristiques des réseaux de surveillance de la qualité de l'air</i>	34
Annexe 3	
<i>Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air</i>	37
Annexe 4	
<i>Données météorologiques</i>	38
Annexe 5	
<i>Construction des indicateurs d'exposition</i>	40
Annexe 6	
<i>Calcul des probabilités de survie</i>	44
Annexe 7	
<i>Nantes. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie.</i>	
<i>Utilisation des relations $RR-I_{v1}$ et $RR-I_{v3}$</i>	47
Annexe 8	
<i>Evolution des niveaux de pollution atmosphérique dans les villes américaines</i>	48
Annexe 9	
<i>Brest et Nantes. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie.</i>	
<i>Utilisation des probabilités de survie $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$</i>	49
Bibliographie	51

Glossaire

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : démarche qui consiste à quantifier par calcul l'impact sanitaire associé à une évolution des niveaux de pollution atmosphérique.

Exposition : désigne le contact entre la pollution atmosphérique urbaine et la population d'étude.

Gain sanitaire : nombre d'évènements sanitaires indésirables potentiellement évitables par une réduction de l'exposition à la pollution atmosphérique urbaine.

Impact sanitaire : nombre d'évènements sanitaires indésirables attribuables à une exposition ou à un accroissement de l'exposition à la pollution atmosphérique urbaine.

Impact sanitaire à court terme : impact sanitaire qui se manifeste sous un délai très court après la survenue de l'exposition.

Impact sanitaire à long terme : impact sanitaire qui se manifeste longtemps après la survenue de l'exposition. C'est l'impact sanitaire attribuable aux expositions chroniques à la pollution atmosphérique urbaine.

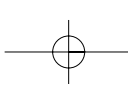
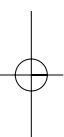
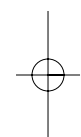
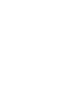
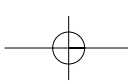
Indicateur d'exposition : variable dont la grandeur est fonction de l'intensité de l'exposition à la pollution atmosphérique. Pour ce travail, l'indicateur d'exposition est fourni par des concentrations moyennes sur la zone d'étude en PM10 et PM2,5.

Indicateur sanitaire : variable dont la grandeur fournit un nombre d'évènements sanitaires indésirables survenus dans la population. Par exemple, l'indicateur sanitaire mortalité totale fournit le nombre de décès toutes causes dans la population d'étude.

PM10 : particules en suspension de diamètre inférieur à 10 μm .

PM2,5 : particules en suspension de diamètre inférieur à 2,5 μm .

Relation exposition-risque : fonction qui relie un indicateur sanitaire à un indicateur d'exposition.



Introduction

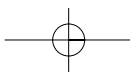
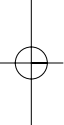
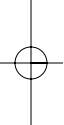
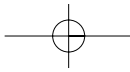
Trois évaluations de l'impact sanitaire (EIS) à court terme de la pollution atmosphérique ont été réalisées pour les agglomérations urbaines de Rennes, Nantes et Le Mans [1] [2] [3] dans le cadre de l'élaboration des Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA) des régions Bretagne et Pays-de-la-Loire. Sur la base notamment de ces études, les PRQA ont souligné la nécessité de poursuivre les travaux permettant d'améliorer la connaissance des effets sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique et de prendre en considération les effets sanitaires à long terme engendrés par des expositions chroniques à la pollution atmosphérique.

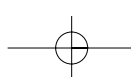
Les évaluations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à court terme reposaient sur l'utilisation de relations exposition-risque issues d'études épidémiologiques temporelles. Ces relations sont établies pour des fenêtres d'exposition de 0-1 jour. Elles permettent de quantifier un impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique en terme de décès anticipés et d'admissions hospitalières pour des motifs cardio-vasculaires et respiratoires. Toutefois cette démarche présente des limites puisqu'elle ne rend compte que d'une partie de l'impact sanitaire global attribuable à la pollution atmosphérique [4].

Quelques auteurs proposent pour le long terme des relations exposition-risque issues d'études de cohorte. La majorité de ces travaux évalue l'exposition chronique à la pollution atmosphérique, à partir des concentrations moyennes dans l'atmosphère en PM10 voire PM2,5 – particules de diamètre inférieur respectivement à 10 et 2,5 μm – mesurées sur plusieurs années. Une étude trinationale [4] [5] a notamment établi et exploité de telles relations pour évaluer l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique en France, en Suisse et en Autriche.

Les réseaux de mesure de la qualité de l'air implantés dans les agglomérations urbaines fournissent ou fourniront prochainement des concentrations en PM10 voire PM2,5 mesurées par des stations urbaines. De tels résultats sont déjà disponibles pour les agglomérations brestoise et nantaise. Les Directions régionales des affaires sanitaires et sociales (Drass) de Bretagne et des Pays-de-la-Loire ont donc sollicité la Cire Ouest car elles souhaitaient évaluer l'intérêt des relations exposition-risque disponibles pour le long terme et appliquer celles-ci à deux agglomérations différentes (effectifs des populations, nature des réseaux de mesure de la qualité de l'air...) de la façade atlantique où prédominent des conditions favorables de dispersion des polluants atmosphériques.

Après la description des zones d'étude, le rapport présente le matériel et la méthode pour évaluer l'impact sanitaire des expositions chroniques à la pollution atmosphérique. Il propose pour une période d'étude déterminée d'évaluer l'impact sanitaire sous la forme d'un nombre de décès attribuables. Parallèlement, une hypothèse sur l'évolution future des expositions à la pollution atmosphérique permet de caractériser l'impact sanitaire sous la forme d'une réduction de l'espérance de vie. L'impact sanitaire est calculé pour les communes de Brest et Nantes après avoir exploité l'ensemble des relations exposition-risque disponibles. La discussion met en évidence les erreurs et incertitudes et privilégie les hypothèses raisonnablement prudentes pour la formulation des résultats. Les conclusions décrivent l'intérêt des EIS court et long terme et soulignent la complémentarité des deux approches.





1. Description des zones d'étude

1.1 Géographie des zones d'étude

L'agglomération brestoise est le principal espace urbain du département du Finistère. Elle est située en partie nord du département sur les rives nord d'un vaste bassin (la rade) de 150 Km² ouvert à l'ouest sur la mer d'Iroise. Son poids démographique en fait le second pôle urbain de la région Bretagne.

L'espace nantais est situé en partie amont de l'estuaire de la Loire, à la confluence du fleuve avec l'Erdre. Il constitue d'un point de vue démographique l'agglomération majeure du département de la Loire-Atlantique voire de l'interrégion Bretagne - Pays-de-la-Loire.

Toutes les communes de ces deux pôles urbains ne sont pas retenues pour déterminer les zones d'étude. En effet certaines communes ne vérifient pas les critères de sélection [6] :

- les communes doivent être d'urbanisation et de densité comparables sur l'ensemble de leur territoire respectif, afin de respecter au mieux la condition de l'homogénéité de l'exposition sur la zone étudiée (construction d'un seul indicateur d'exposition pour toute la zone) ;
- seules les communes entières sont retenues car les données sanitaires ne sont pas accessibles à des échelles plus fines que le niveau communal ;
- la population de la zone 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 ;
- les mesures de pollution effectuées dans la zone d'étude doivent être «suffisantes» (nombre et position des capteurs, qualité des mesures, disponibilité des données) pour estimer l'exposition de la population.

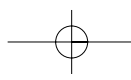
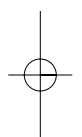
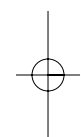
Ces critères de sélection limitent les zones d'étude brestoise et nantaise aux seules communes de Brest et Nantes. Les cartes 1 et 2 présentent les deux zones d'étude.

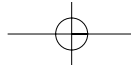
1.2 Populations

Les villes de Brest et Nantes regroupaient en 1999 respectivement 149 634 habitants et 270 251 habitants (population sans double compte - RGP 99 Insee). Les habitants séjournaient majoritairement à l'intérieur des zones d'étude : au sein des populations actives, 11 007 et 32 334 personnes avaient un lieu de travail extérieur à l'air d'étude, soit 7,36 % de la population totale brestoise et 11,96 % de la population totale nantaise.

Tableau 1. Distribution des populations par tranche d'âge

	Nantes	Brest
0 - 14 ans	15,65 %	16,41 %
15 - 64 ans	69,68 %	68,35 %
65 ans et +	14,67 %	15,23 %





1.3 Sources de pollution

Les tableaux A1 et A2 de l'annexe 1 présentent des extraits des inventaires Citepa [7] [8] des émissions atmosphériques établis pour l'année 1994 au niveau de l'unité urbaine de Brest et pour l'année 1999 à l'échelle de l'unité urbaine de Nantes. Les inventaires réalisés pour l'unité urbaine nantaise sont plus récents et complets.

L'unité urbaine de Brest est constituée de huit communes et représente une population de 210 055 habitants. Les transports routiers sont la source d'émission la plus importante d'oxydes d'azote (NO_x), de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), et de monoxyde de carbone (CO).

L'unité urbaine de Nantes est composée de 19 communes et représente une population de 544 932 habitants. Les transports routiers, l'industrie et le traitement des déchets constituent les principales sources d'émissions de polluants à l'atmosphère. L'industrie et le traitement des déchets sont la source la plus importante de rejets de méthane (CH_4), de particules de diamètre inférieur à $10 \mu\text{m}$ (PM10) et de métaux lourds (à l'exception du zinc, sélénium, nickel et cuivre). Les transports routiers sont la source d'émission la plus importante d'oxydes d'azote (NO_x), de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), de monoxyde et dioxyde de carbone (CO et CO_2), d'ammoniaque (NH_3), de benzène et de particules de diamètre inférieur à $2,5 \mu\text{m}$ (PM2,5).

1.4 Météorologie et topographie

Les deux villes sont soumises à un climat de type océanique avec des vents dominants orientés sud-ouest et nord-est. L'intensité des vents est propice à la dispersion des polluants.

La topographie n'est pas un obstacle à la dispersion des polluants.

1.5 Surveillance de la qualité de l'air

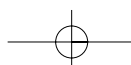
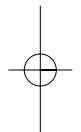
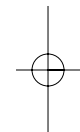
La surveillance de l'air est assurée par Air Breizh sur l'agglomération brestoise et par Air Pays-de-la-Loire sur l'agglomération nantaise. Les annexes 2 et 3 présentent la configuration des réseaux de surveillance.

Le réseau brestois est composé de deux stations urbaines et une station de proximité automobile. Les stations urbaines analysent les concentrations en PM10 depuis le 28/09/1999 pour l'une et le 06/11/2001 pour l'autre.

Le réseau de surveillance nantais est plus étendu et dispose d'un historique de données plus important. Il comprend au total 15 stations dont six implantées sur des sites urbains. Trois stations urbaines analysent les PM10 depuis le 20/05/1999, le 06/07/99 et le 05/07/2002. Parmi celles-ci, la station de Bellevue mesure parallèlement aux PM10, les concentrations en PM2,5 depuis le 09/04/2002.

1.6 Qualité de l'air

Le tableau 2 illustre les niveaux de pollution atmosphérique observés à Brest et Nantes en 2002. Pour les polluants NO_2 , SO_2 , PM10 et Benzène les concentrations moyennes annuelles observées par quatre stations urbaines sont comparées aux objectifs de qualité fixés par le décret N°2002-213 du 15 février 2002. Pour le polluant O_3 , l'objectif de qualité est déterminé pour une plage de 8 heures. La concentration en ozone affectée à chaque station correspond à la moyenne annuelle des moyennes journalières 9h-17h. Les niveaux observés sont nettement inférieurs aux objectifs réglementaires de qualité de l'air.



Par simplification, le tableau 2 présente pour le réseau nantais uniquement les résultats de deux stations urbaines bien équipées et représentatives des niveaux de pollution observés sur la commune de Nantes. Les résultats fournis par les autres stations urbaines ne conduiraient pas à une appréciation différente de la qualité de l'air.

Tableau 2. Concentrations moyennes annuelles – année 2002

Sources : Air Breizh et Air Pays-de-la-Loire

Zone d'étude	Stations	NO ₂ (µg/m ³)	SO ₂ (µg/m ³)	O ₃ (µg/m ³)	PM10 (µg/m ³)	Benzène (µg/m ³)
Nantes	Jardin	24	2	58	ND	ND
	Bellevue	22	ND	66	18	1
Brest	Ecole Nattier	15	1	58	16	ND
	Jean Macé	17	1	58	18	ND
Objectifs de qualité		40	50	110	30	2

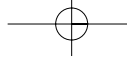
Les conditions habituellement favorables de dispersion des polluants, ne préservent pas totalement les villes de Brest et Nantes d'éventuels pics de pollution. Ainsi, à l'occasion de la canicule de l'été 2003, les concentrations en ozone ont augmenté sur les deux villes comme sur le reste du territoire national. La procédure d'information du public a été déclenchée à 6 reprises pour l'agglomération nantaise (aucun déclenchement les années précédentes).

A Brest, une telle procédure d'information n'a pas été mise en œuvre, toutefois une des deux stations urbaines a présenté sur une journée des concentrations en ozone supérieures à 180 µg/m³.

Carte 1. La zone d'étude brestoise

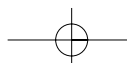
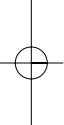
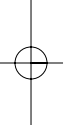
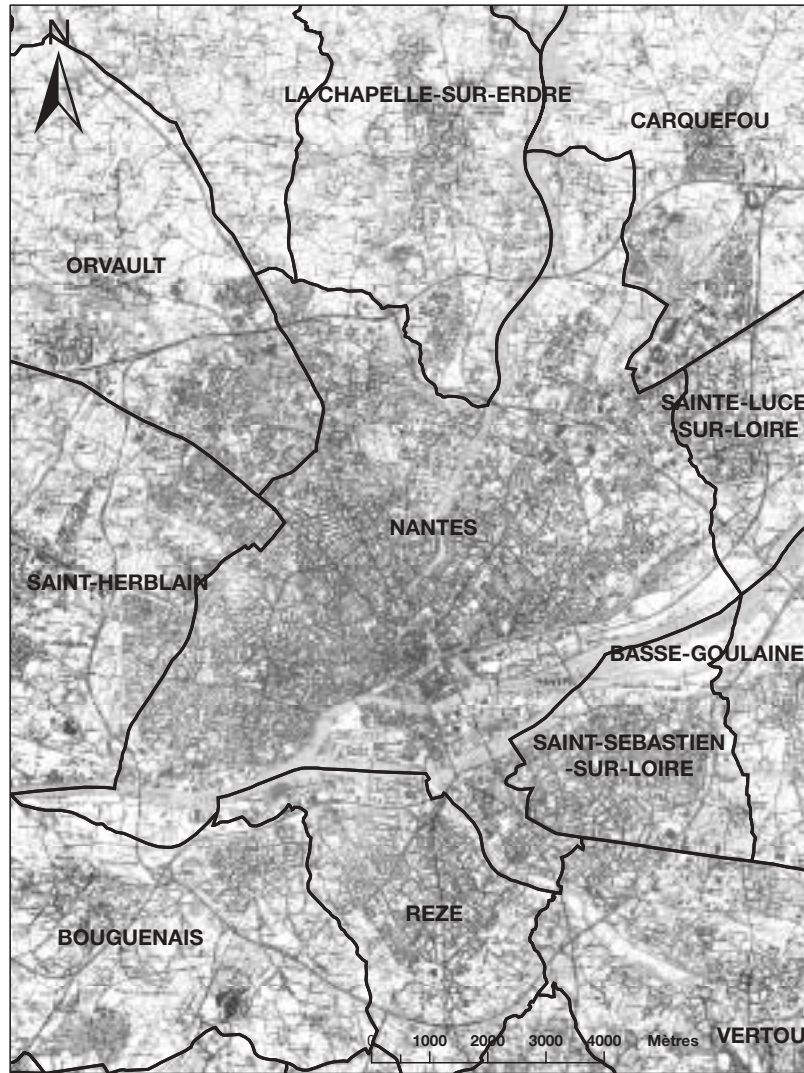
Fonds de carte : IGN scan 25@ et IGN BD Carto® - Cire Ouest





Carte 2. La zone d'étude nantaise

Fonds de carte : IGN scan 25® et IGN BD Carto® - Ddass de Loire Atlantique



2. Matériel et méthode

Après détermination des zones d'étude, la démarche d'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) repose sur 4 étapes distinctes : l'identification des indicateurs sanitaires, le choix des relations exposition-risque, l'estimation de l'exposition, et la caractérisation des risques.

2.1 Identification des indicateurs sanitaires

Il s'agit de déterminer des indicateurs sur lesquels on a pu mettre en évidence des effets sanitaires indésirables de la pollution atmosphérique en s'appuyant sur les résultats de l'observation médicale, des études épidémiologiques et toxicologiques. Plus précisément il convient de sélectionner les indicateurs à partir desquels il est possible de caractériser un impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique : une relation exposition chronique – risque à long terme doit être disponible, les valeurs de l'indicateur sanitaire doivent également être accessibles sur les zones d'études.

En pratique, sont retenus les indicateurs sanitaires proposés par l'InVS [9] : la mortalité totale, la mortalité cardiopulmonaire et la mortalité par cancer du poumon.

Pour Brest, où Air Breizh ne mesure pas les PM_{2,5}, l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique peut uniquement être exprimé sous la forme d'un nombre de décès (mortalité totale) parmi les adultes d'âge supérieur à trente ans. Pour Nantes, il est possible de caractériser l'impact sanitaire en distinguant parmi les décès évitables - adultes d'âge supérieur à trente ans - les décès d'origine cardiopulmonaire et ceux attribuables à un cancer du poumon.

2.2 Choix des relations exposition-risque

Les relations exposition-risque disponibles dans la littérature scientifique prennent la forme d'un risque relatif (RR_{10}) exprimé pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des concentrations en PM₁₀ ou en PM_{2,5}. Elles permettent de calculer le risque relatif RR_{Δ} associé à un différentiel Δ de pollution :

$$(1) RR_{\Delta} = \exp [0,1 * \Delta * \ln (RR_{10})]$$

Les relations exposition-risque disponibles sont celle utilisée dans l'étude trinationale et celles issues de travaux de Pope C.A. III [10]. Ces relations sont proposées pour des expositions chroniques sur des périodes dont l'étendue mal définie est a priori limitée à quelques années. Elles reposent sur trois études épidémiologiques pour lesquelles l'évaluation de l'exposition à la pollution atmosphérique est effectuée à partir de données environnementales collectées sur des périodes de 2 à 7 ans.

2.2.1 Relation utilisée par l'étude trinationale (1999)

Le risque relatif fourni par l'étude trinationale pour une augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM₁₀ résulte d'une méta-analyse menée à partir de deux études épidémiologiques.

- Etude six villes [11]

Cette étude porte sur la population de 6 villes américaines. Selon les villes, le suivi de la mortalité a débuté entre 1974 et 1977 et sa durée a varié de 14 à 16 ans. Des mesures de PM₁₀, PM_{2,5} et PM₁₅ réalisées de 1979 à 1985 sont utilisées pour évaluer l'exposition à la pollution atmosphérique.

- Suivi de la cohorte ACS [12]

Cette étude concerne la cohorte de l'American Cancer Society (ACS) répartie dans 151 villes américaines dont 50 villes pour lesquelles l'exposition à la pollution atmosphérique est évaluée à partir

des concentrations en PM_{2,5} mesurées de 1979 à 1983. La mortalité au sein de la cohorte est fournie pour la période 1983-1989. Cette seconde étude pèse de façon plus importante dans la construction du méta-risque.

Afin d'élaborer le méta-risque, l'exposition aux PM₁₀ de la cohorte ACS est obtenue en utilisant un facteur de conversion PM_{2,5}/PM₁₀ égal à 0,6.

2.2.2 Relations proposées par Pope C.A.III (2002)

Pope C.A.III a établi en 2002 des relations exposition-risque à partir d'un **suivi actualisé** de la cohorte de l'American Cancer Society sur la période 1983-1998. Le risque relatif est fourni pour une augmentation des PM_{2,5} de 10 µg/m³. L'exposition des populations à la pollution atmosphérique est évaluée à partir des concentrations en PM_{2,5} mesurées sur deux périodes : 1979-1983 et 1999-2000.

Trois indicateurs d'exposition différents sont utilisés :

- un indicateur I_{V1} construit à partir des concentrations en PM_{2,5} mesurées sur la période 1979 – 1983 ;
- un indicateur I_{V2} construit à partir des concentrations en PM_{2,5} mesurées sur la période 1999 – 2000 ;
- un indicateur I_{V3} construit à partir des concentrations en PM_{2,5} mesurées sur les deux périodes 1979 – 1983 et 1999 – 2000.

Pope C.A.III associe un risque relatif à chacun de ces indicateurs d'exposition.

Le tableau 3 présente l'ensemble des relations exposition-risque disponibles : celle utilisée par l'étude trinationale et celles proposées par Pope C.A.III. Les valeurs entre parenthèses correspondent aux bornes de l'intervalle de confiance à 95 % du risque relatif.

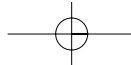
Tableau 3. Relations exposition-risque

Indicateur sanitaire	Risques relatifs (IC à 95 %)	Etude	Polluant indicateur d'exposition
Mortalité toutes causes (adultes d'âge supérieur à 30 ans)	1,043 (1,026 - 1,061)	Etude trinationale (1999)	PM ₁₀
Mortalité toutes causes (adultes d'âge supérieur à 30 ans)	1,04 (1,01 - 1,08) I_{V1} 1,06 (1,02 - 1,10) I_{V2} 1,06 (1,02 - 1,11) I_{V3}	Pope C.A.III (2002)	PM _{2,5}
Mortalité cardiopulmonaire (adultes d'âge supérieur à 30 ans)	1,06 (1,02 - 1,10) I_{V1} 1,08 (1,02 - 1,14) I_{V2} 1,09 (1,03 - 1,16) I_{V3}	Pope C.A.III (2002)	PM _{2,5}
Mortalité par cancer du poumon (adultes d'âge supérieur à 30 ans)	1,08 (1,01 - 1,16) I_{V1} 1,13 (1,04 - 1,22) I_{V2} 1,14 (1,04 - 1,23) I_{V3}	Pope C.A.III (2002)	PM _{2,5}

2.3 Estimation des expositions

2.3.1 Période d'étude

La période d'étude commune aux deux zones (Brest et Nantes) est définie en fonction de la date du dernier recensement général de la population ainsi que des disponibilités des données de mortalité et des mesures de PM. Ces critères justifient la sélection de l'année 1999.



2.3.2 Sélection des stations

Pour décrire l'exposition d'une population, 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 pour la sélection des stations sont les suivants :

- nature de la station : sont retenues, a priori, les stations urbaines ;
- nature des polluants mesurés et de la méthode de mesure : sont retenues, les stations qui mesurent les PM10 et/ou les PM2,5 par pesée gravimétrique avec microbalance ;
- comparaison des concentrations moyennes journalières : sont retenues, a priori, les stations pour lesquelles les moyennes journalières sont proches et corrélées dans le temps.

2.3.3 Construction des indicateurs d'exposition

Cette étape a pour objet la quantification des expositions auxquelles sont soumises les populations.

Les réseaux de suivi de la qualité de l'air disposent d'un historique limité de mesures des PM10 et PM2,5. L'exposition chronique à la pollution atmosphérique peut être approchée pour les zones brestoise et nantaise par les concentrations en PM10 fournies par les réseaux Air Breizh en 2002 et Air Pays-de-la-Loire sur la période 2000-2002. Air Pays-de-la-Loire dispose également de mesures des PM2,5 sur la période du 9 avril 2002 au 8 avril 2003. Les données rassemblées dans les tableaux A7, A8 et A9 de l'annexe 4 permettent à partir des observations réalisées par Météo France de s'assurer que les périodes de suivi de la qualité de l'air correspondent aux conditions météorologiques habituelles de dispersion des polluants atmosphériques.

Le principe est de construire un indicateur d'exposition de la population à la pollution atmosphérique à partir des concentrations en PM10 et PM2,5 mesurées par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Il s'agit donc d'établir sur la période P de disponibilité des mesures et pour chaque polluant considéré (PM10 et PM2,5) un indicateur I_p qui se rapproche le plus possible de la moyenne des expositions individuelles. L'obtention de l'indicateur I_p passe préalablement par la construction d'un indicateur journalier I_j d'exposition à la pollution atmosphérique.

L'indicateur I_j est construit conformément au guide méthodologique de l'InVS [6] [9] : après avoir sélectionné les stations représentatives de l'exposition de la population générale, I_j est obtenu en calculant pour chacun des polluants (PM10 et PM2,5), la moyenne arithmétique des moyennes journalières associées aux capteurs sélectionnés. I_p est alors la moyenne sur la période P de l'indicateur I_j .

A Brest, les expositions à la pollution atmosphérique sont uniquement évaluées à partir des mesures de PM10 enregistrées par les stations urbaines Nattier et Jean Macé. L'indicateur d'exposition I_{p10} a pour valeur 16,95 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

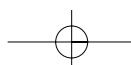
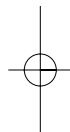
A Nantes, les expositions à la pollution atmosphérique sont évaluées à partir des mesures de PM10 enregistrées par les stations urbaines Chauvinière et Bellevue et des mesures de PM2,5 enregistrées par la station Bellevue. Les indicateurs d'exposition I_{p10} et $I_{p2,5}$ ont pour valeur respective 17,35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 10,92 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

L'annexe 5 présente la construction des indicateurs d'exposition à Brest et Nantes.

2.4 Caractérisation des risques

2.4.1 Principe

La caractérisation des risques est l'étape de synthèse qui permet de confronter les données d'exposition aux relations exposition-risque. Elle permet d'évaluer par calcul le gain ou l'impact sanitaire potentiel associé à des modifications des niveaux de pollution atmosphérique.



Calcul du gain sanitaire associé à une réduction des niveaux de pollution atmosphérique

La proportion PA des événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution donné E se calcule de la manière suivante :

$$(2) PA = f (RR-1) / (1 + f(RR-1))$$

où :

- RR est le risque relatif (fourni par la relation exposition-risque) ;
- f est la prévalence d'exposition (proportion de la population exposée au niveau considéré).

Dans le cas de la pollution atmosphérique urbaine, toute la population est considérée exposée : $f = 1$. Le nombre d'événements sanitaires attribuables est alors donné par la formule simplifiée :

$$(3) NA = ((RR-1)/RR)*N$$

où :

- NA est le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique pendant la période d'étude ;
- N est le nombre total d'événements sanitaires (décès toutes causes sauf accidentelles, décès d'origine cardiopulmonaire, décès par cancer des poumons) survenus pendant la période d'étude.

Dans les formules mathématiques (2) et (3), la proportion (PA) et le nombre d'événements (NA) attribuables sont calculés en référence à un niveau de pollution atmosphérique nul auquel est associé un risque relatif RR égal à 1. Toutefois, dans la réalité, le niveau de base de pollution atmosphérique à l'échelle urbaine n'est jamais nul (du fait notamment de la pollution interrégionale). La proportion ou le nombre d'événements sanitaires attribuables doit donc être calculé pour un différentiel Δ de pollution :

$$(4) NA = ((RR_{\Delta}-1)/RR_{\Delta})*N$$

où :

- NA exprime en nombre de décès le gain sanitaire attendu pour une réduction du niveau moyen de pollution du niveau E au niveau E_r ;
- RR_{Δ} est le risque relatif pour un différentiel Δ de pollution par rapport à un niveau de référence E_r ($\Delta = E - E_r$).

Expression du gain sanitaire sous forme d'un nombre de jours supplémentaires d'espérance de vie [13][14]

L'expression du gain sanitaire sous la forme d'un nombre de jours supplémentaires d'espérance de vie est une approche proposée par l'Organisation mondiale de la santé [13]. Elle repose sur une évaluation du nombre supplémentaire d'années vécues par la cohorte C_{1968} lorsque les niveaux de pollution atmosphérique diminuent.

Cette démarche nécessite d'émettre une hypothèse sur l'évolution future des expositions à la pollution atmosphérique : les expositions sont considérées identiques sur l'ensemble de la période 1999-2067 et sont évaluées à partir des indicateurs I_{p10} et $I_{p2,5}$.

Le nombre supplémentaire d'années vécues par la cohorte C_{1968} sur la période 1999-2067 est alors calculé pour un scénario où les expositions à la pollution atmosphérique sont également constantes mais inférieures de 25 %. Pour mener ce calcul, les conditions de mortalité de la cohorte C_{1968} sur la période 1999-2067 sont supposées identiques à celles des cohortes C_{1900} à C_{1968} en 1999.

- Calcul des probabilités de survie en 1999 (Cohortes C_{1900} à C_{1968})

Le recensement général de la population de 1999 fournit à la date du 7 mars 1999 la population répartie par sexe et par année de naissance. Pour un individu (en vie à la date du 01/01/1999) de la cohorte C_a regroupant les personnes nées l'année **a**, la probabilité de survie $s_{99,a}$ à la fin de l'année 1999 peut être approchée :

$$(5) s_{99,a} = (266\ 450 \cdot N_a - 128\ 869 \cdot D_{1999-a} - 89\ 401 \cdot D_{1998-a}) / (266\ 450 \cdot N_a + 4\ 356 \cdot D_{1999-a} + 43\ 824 \cdot D_{1998-a})$$

où :

- N_a correspond aux effectifs de la cohorte C_a au 7 mars 1999 ;
- D_{1999-a} et D_{1998-a} sont les nombres de décès en 1999 au sein des classes d'âge [1999-a, 2000-a[et [1998-a, 1999-a[. Par exemple, si a est l'année 1968, D_{1999-a} et D_{1998-a} correspondent aux décès en 1999 au sein des classes d'âge [31,32[et [30,31[.

Une démonstration de l'équation (5) est fournie en annexe 6. Cette équation repose sur les hypothèses suivantes :

- mortalité journalière uniforme sur l'année 1999 ;
- répartition uniforme des âges de décès dans les classes [1999-a, 2000-a[et [1998-a, 1999-a[;
- population fermée. Les mouvements migratoires sont nuls ou négligeables et affectent peu les données de mortalité en 1999.

Si la concentration moyenne en PM10 ou PM2,5 (polluants utilisés comme indicateurs d'exposition) avait été à un niveau E_r inférieur de 25 % au niveau E , le nombre de décès survenus en 1999 aurait été Dr_x pour la classe d'âge $[x, x+1[$ et la probabilité de survie de la cohorte C_a aurait été $sr_{99,a}$:

$$(6) Dr_x = D_x - (d_x \cdot (RR_\Delta - 1) / RR_\Delta)$$

$$(7) sr_{99,a} = (266\ 450 \cdot N_a - 128\ 869 \cdot Dr_{1999-a} - 89\ 401 \cdot Dr_{1998-a}) / (266\ 450 \cdot N_a + 4\ 356 \cdot Dr_{1999-a} + 43\ 824 \cdot Dr_{1998-a})$$

où :

- RR_Δ est le risque relatif pour un différentiel $\Delta = E - E_r$;
- d_x représente un nombre de décès toutes causes sauf accidentelles construit pour l'année 1999 et la classe d'âge $[x, x+1[$

La construction de d_x utilise la distribution par âge des décès d'origine cardiopulmonaire et décès par cancer du poumon – adultes d'âge supérieur à 30 ans, année 1999. Cette distribution appliquée alors au nombre total de décès non accidentels (adultes d'âge supérieur à 30 ans, année 1999) fournit d_x utilisé dans l'équation (6). Autrement dit, l'âge de survenue des décès par cancer du poumon ou décès d'origine cardiopulmonaire est utilisé comme âge de survenue des décès attribuables à la pollution atmosphérique.

La cohorte C_{1968} est la cohorte la plus jeune composée d'individus ayant 30 ans révolus au 31 décembre 1998. Les probabilités de survie $s_{99,a}$ et $sr_{99,a}$ peuvent donc être calculées pour les cohortes C_{1900} à C_{1968} .

- Calcul du nombre d'années potentielles de vie

Exprimer le gain sanitaire sous la forme d'un nombre d'années potentielles de vie consiste à évaluer le nombre d'années vécues par la cohorte C_{1968} lorsqu'on lui applique pour les années postérieures à 1999 les probabilités de survie $s_{99,a}$ (cohorte exposée au niveau de pollution E) et $sr_{99,a}$ (cohorte exposée au niveau de pollution E_r).

Les probabilités de survie $s_{99,a}$ et $sr_{99,a}$ obtenues à partir des équations (5) et (7) sont utilisées pour déterminer les effectifs (Ef_{99} à Ef_{67} et Efr_{99} à Efr_{67}) de la cohorte C_{1968} au 31 décembre des années 1999 à 2067 en fonction des effectifs Ef_{98} au 31 décembre 1998.

Le tableau 4 présente les calculs itératifs permettant d'évaluer les effectifs de la cohorte C_{1968} sur la période 1999-2067.

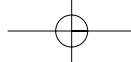


Tableau 4. Effectifs de la cohorte C_{1968} au 31 décembre
Années 1999 à 2067

	Cohorte C_{1968} exposée au niveau E	Cohorte C_{1968} exposée au niveau E_r
Année	Effectifs au 31 décembre	Effectifs au 31 décembre
1998	Ef_{98}	Ef_{98}
1999	$Ef_{99} = Ef_{98} * s_{99,1968}$	$Efr_{99} = Ef_{98} * sr_{99,1968}$
2000	$Ef_{00} = Ef_{98} * s_{99,1968} * s_{99,1967}$	$Efr_{00} = Ef_{98} * sr_{99,1968} * sr_{99,1967}$
2001	$Ef_{01} = Ef_{98} * s_{99,1968} * s_{99,1967} * s_{99,1966}$	$Efr_{01} = Ef_{98} * sr_{98,1968} * sr_{99,1967} * sr_{99,1966}$
...

Le tableau 5 fournit pour chaque année de la période 1999-2067 le nombre d'années vécues par la cohorte C_{1968} lorsqu'elle est exposée au niveau de pollution E ou E_r . Le nombre d'années vécues par la cohorte C_{1968} pendant l'année **A** est calculé à partir des effectifs issus du tableau 4 au 31 décembre des années **A** et **A-1**.

Tableau 5. Années vécues par la cohorte C_{1968} exposée aux niveaux de pollution E et E_r
Période 1999 – 2067

	Cohorte C_{1968} exposée au niveau E		Cohorte C_{1968} exposée au niveau E_r	
Année	Effectifs au 31 décembre	Années vécues	Effectifs au 31 décembre	Années vécues
1999	Ef_{99}	$Ef_{99} + ((Ef_{98} - Ef_{99})/2)$	Efr_{99}	$Efr_{99} + ((Ef_{98} - Efr_{99})/2)$
2000	Ef_{00}	$Ef_{00} + ((Ef_{99} - Ef_{00})/2)$	Efr_{00}	$Efr_{00} + ((Efr_{99} - Efr_{00})/2)$
2001	Ef_{01}	$Ef_{01} + ((Ef_{00} - Ef_{01})/2)$	Efr_{01}	$Efr_{01} + ((Efr_{00} - Efr_{01})/2)$
2002	Ef_{02}	$Ef_{02} + ((Ef_{01} - Ef_{02})/2)$	Efr_{02}	$Efr_{02} + ((Efr_{01} - Efr_{02})/2)$
...

L'exploitation du tableau 5 permet d'accéder :

- au nombre d'années NAE vécues par la cohorte C_{1968} exposée au niveau de pollution E sur la période 1999-2067 ;
- au nombre d'années NAE_r vécues par la cohorte C_{1968} exposée au niveau de pollution E_r sur la période 1999-2067.

La différence NAE_r – NAE correspond au gain sanitaire exprimé en années potentielles de vie pour la cohorte C_{1968} sur une période de 69 ans (1999-2067).

Le gain sanitaire exprimé en années potentielles de vie peut être rapporté aux effectifs Ef_{98} de la cohorte C_{1968} à la date du 31 décembre 1998. Le calcul fournit l'accroissement de l'espérance de vie associé à la diminution de la pollution atmosphérique du niveau E au niveau E_r . Le résultat est alors indépendant des effectifs de la cohorte C_{1968} au 31 décembre 1998.

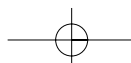
Calcul de l'impact sanitaire associé à une augmentation des niveaux de pollution atmosphérique

Le nombre d'événements sanitaires en excès NE associé à une augmentation des concentrations moyennes en PM10 ou PM2,5 du niveau E au niveau E_r est calculé à partir de la formule :

$$(8) \text{ NE} = (RR_{\Delta} - 1) * N$$

où :

- RR_{Δ} est le risque relatif pour un différentiel $\Delta = E_r - E$;
- N est le nombre total d'événements sanitaires (décès toutes causes sauf accidentelles, décès d'origine cardiopulmonaire, décès par cancer des poumons) survenus pendant la période d'étude.



2.4.2 Données

Les effectifs des populations d'étude réparties par année de naissance proviennent du recensement général de la population (RGP Insee 1999).

Les données de mortalité sont issues du Centre d'épidémiologie des causes médicales de décès (CepiDc). Les données recueillies concernent des adultes d'âge supérieur ou égal à 30 ans.

Année 1999

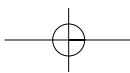
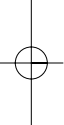
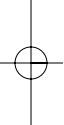
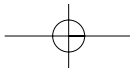
La mortalité cardiopulmonaire - Code CIM9 = 401 à 440 et 460 à 519 - et la mortalité par cancer du poumon - Code CIM9 = 162 - sont obtenues pour la ville de Nantes.

Années 1998 et 1999

Les nombres de décès toutes causes et toutes causes sauf accidentelles - Code CIM9<800 - sont obtenues pour Brest et Nantes. Les données sont réparties par âge.

Années 1997, 1998 et 1999

La mortalité cardiopulmonaire - Code CIM9 = 401 à 440 et 460 à 519 - et la mortalité par cancer du poumon - Code CIM9 = 162 - sont recueillies pour les départements du Finistère et de la Loire Atlantique. Les données sont réparties par âge.



3. Résultats

3.1 Résultats relatifs à la zone d'étude brestoise

Pour l'année 1999, les nombres de décès d'adultes d'âge supérieur ou égal à 30 ans sont 2 313 (mortalité totale) et 2 140 (CIM9 <800).

3.1.1 Calcul du gain sanitaire potentiellement associé à une réduction de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10)

Expression du gain sanitaire sous forme d'un nombre de décès

Pour l'année 1999, le gain sanitaire associé à une diminution de 25 % de l'indicateur d'exposition chronique I_{p10} est évalué à 37,83 (23,15 – 53,02) décès.

Le gain sanitaire représente 1,64 % (1,00 % – 2,29 %) de la mortalité totale.

Expression du gain sanitaire sous forme d'un nombre de jours supplémentaires d'espérance de vie

Le tableau 6 fournit le gain sanitaire calculé pour une réduction de 25 % des niveaux de l'indicateur d'exposition I_{p10} . La présentation des résultats pour différentes périodes de suivi de la cohorte C_{1968} permet d'évaluer la contribution des différents âges de la vie au calcul du gain sanitaire.

Tableau 6. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (relation issue de l'étude trinationale)

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999, 2033]	De 30 à 65 ans	7,75 (4,74 – 10,87)
[1999, 2043]	De 30 à 75 ans	18,43 (11,27 – 25,85)
[1999, 2053]	De 30 à 85 ans	33,95 (20,73 – 47,67)
[1999, 2063]	De 30 à 95 ans	46,72 (28,46 – 65,76)
[1999, 2067]	De 30 à 99 ans	48,35 (29,43 – 68,10)

3.1.2 Calcul de l'impact sanitaire potentiellement associé à une augmentation de 15 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10)

Une augmentation de 15 % de l'indicateur d'exposition chronique I_{p10} est associée à 23,03 (14,01 – 32,45) décès supplémentaires en 1999.

3.2 Résultats relatifs à la zone d'étude nantaise

Pour l'année 1999, les nombres de décès d'adultes d'âge supérieur ou égal à 30 ans sont 2 786 (mortalité totale) et 2 551 (CIM9 <800). 167 personnes sont décédées par cancer du poumon et la mortalité cardiopulmonaire représente 841 décès.

3.2.1 Calcul du gain sanitaire potentiellement associé à une réduction de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10 et PM2,5)

Expression du gain sanitaire sous forme d'un nombre de décès

- Utilisation de la relation issue de l'étude trinationale

Pour l'année 1999, le gain sanitaire associé à une diminution de 25 % de l'indicateur d'exposition chronique I_{p10} est évalué à 46,16 (28,24 – 64,68) décès.

Le gain sanitaire représente 1,66 % (1,01 % - 2,32 %) de la mortalité totale.

- Utilisation des relations (RR- I_{V1} / RR- I_{V2} / RR- I_{V3}) proposées par Pope C.A.III

Le tableau 7 présente le gain sanitaire associé à une diminution de l'indicateur d'exposition $I_{p2,5}$ de 25 % en nombre de décès évitables.

Les gains sanitaires calculés à partir des relations RR- I_{V1} sont nettement plus faibles que ceux obtenus à partir des autres relations exposition-risque.

Pour la mortalité totale, l'exploitation des relations RR- I_{V2} et RR- I_{V3} aboutit à des gains sanitaires très proches. Le gain sanitaire calculé à partir de la relation RR- I_{V2} représente 1,44 % (0,49 % - 2,35 %) de la mortalité totale.

Tableau 7. Gain sanitaire associé à une diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique
Exploitation des relations proposées par Pope C.A.III

Relations exposition-risque	Indicateur sanitaire	Nombre de décès
1,06 (1,02 – 1,10) RR- I_{V1}	Mortalité cardiopulmonaire	13,27 (4,53 – 21,59)
1,08 (1,01 – 1,16) RR- I_{V1}	Mortalité par cancer du poumon	3,47 (0,45 – 6,63)
1,04 (1,01 – 1,08) RR- I_{V1}	Mortalité toutes causes	27,16 (6,92 – 53,02)
1,08 (1,02 – 1,14) RR- I_{V2}	Mortalité cardiopulmonaire	17,48 (4,53 – 29,54)
1,13 (1,04 – 1,22) RR- I_{V2}	Mortalité par cancer du poumon	5,48 (1,78 – 8,82)
1,06 (1,02 – 1,10) RR- I_{V2}	Mortalité toutes causes	40,24 (13,75 – 65,50)
1,09 (1,03 – 1,16) RR- I_{V3}	Mortalité cardiopulmonaire	19,55 (6,76 – 33,38)
1,14 (1,04 – 1,23) RR- I_{V3}	Mortalité par cancer du poumon	5,87 (1,78 – 9,17)
1,06 (1,02 – 1,11) RR- I_{V3}	Mortalité toutes causes	40,24 (13,75 – 71,63)

L'estimation centrale du nombre de décès évitables à partir de la relation issue de l'étude trinationale est supérieure de 14,7 % à l'estimation obtenue à partir des relations RR- I_{V2} et RR- I_{V3} .

Expression du gain sanitaire sous forme d'un nombre de jours supplémentaires d'espérance de vie

Les tableaux 8, 9 ainsi que A15 et A16 en annexe 7 fournissent le gain sanitaire calculé pour une réduction de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique.

La présentation des résultats pour différentes périodes de suivi de la cohorte C₁₉₆₈ permet d'évaluer la contribution des différents âges de la vie au calcul du gain sanitaire.

Le tableau 8 exploite la relation exposition-risque issue de l'étude trinationale tandis que le tableau 9 utilise la relation RR- I_{V2} proposée par Pope C.A.III. Les tableaux A15 et A16 exploitent les relations exposition-risque RR- I_{V1} et RR- I_{V3} .

Tableau 8. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (relation issue de l'étude trinationale)

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999, 2033]	De 30 à 65 ans	7,20 (4,40 – 10,09)
[1999, 2043]	De 30 à 75 ans	17,82 (10,90 – 24,99)
[1999, 2053]	De 30 à 85 ans	35,41 (21,63 – 49,69)
[1999, 2063]	De 30 à 95 ans	55,06 (33,57 – 77,43)
[1999, 2067]	De 30 à 99 ans	58,67 (35,75 – 82,57)

Tableau 9. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique (relation RR- I_{V2})

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999, 2033]	De 30 à 65 ans	6,28 (2,14 – 10,22)
[1999, 2043]	De 30 à 75 ans	15,53 (5,30 – 25,30)
[1999, 2053]	De 30 à 85 ans	30,85 (10,52 – 50,32)
[1999, 2063]	De 30 à 95 ans	47,95 (16,30 – 78,42)
[1999, 2067]	De 30 à 99 ans	51,08 (17,34 – 83,62)

La comparaison des tableaux 8 et 9 montre que l'estimation centrale du nombre de jours supplémentaires d'espérance de vie sur la période 1999-2067 est supérieur de 14,86 % lorsque les calculs sont réalisés à partir de la relation exposition-risque issue de l'étude trinationale.

3.2.2 Calcul de l'impact sanitaire potentiellement associé à une augmentation de 15 % des niveaux de pollution atmosphérique (PM10 et PM2,5)

- Utilisation de la relation issue de l'étude trinationale.

Une augmentation de 15 % de l'indicateur d'exposition chronique I_{p10} est associée à 28,10 (17,10 – 39,62) décès supplémentaires en 1999.

- Utilisation des relations (RR- I_{V1} / RR- I_{V2} / RR- I_{V3}) proposées par Pope C.A.III.

Le tableau 10 présente l'impact sanitaire correspondant à une augmentation de 15 % de l'indicateur d'exposition $I_{p2,5}$.

Tableau 10. Impact sanitaire associé à une augmentation de 15 % des niveaux de pollution atmosphérique
Exploitation des relations proposées par Pope C.A.III

Relations exposition-risque	Indicateur sanitaire	Nombre de décès
1,06 (1,02 – 1,10) RR-I_{V1}	Mortalité cardiopulmonaire	8,06 (2,73 – 13,23)
1,08 (1,01 – 1,16) RR-I_{V1}	Mortalité par cancer du poumon	2,12 (0,27 – 4,11)
1,04 (1,01 – 1,08) RR-I_{V1}	Mortalité toutes causes	16,44 (4,16 – 32,35)
1,08 (1,02 – 1,14) RR-I_{V2}	Mortalité cardiopulmonaire	10,67 (2,73 – 18,24)
1,13 (1,04 – 1,22) RR-I_{V2}	Mortalité par cancer du poumon	3,38 (1,08 – 5,53)
1,06 (1,02 – 1,10) RR-I_{V2}	Mortalité toutes causes	24,46 (8,29 – 40,12)
1,09 (1,03 – 1,16) RR-I_{V3}	Mortalité cardiopulmonaire	11,95 (4,08 – 20,69)
1,14 (1,04 – 1,23) RR-I_{V3}	Mortalité par cancer du poumon	3,62 (1,08 – 5,76)
1,06 (1,02 – 1,11) RR-I_{V3}	Mortalité toutes causes	24,46 (8,29 – 43,97)

Brest et Nantes. Impact à long terme

4. Discussion

Avant d'interpréter les résultats obtenus, il convient de rappeler et de préciser les erreurs et incertitudes associées à chacune des quatre étapes de l'évaluation de l'impact sanitaire.

4.1 Erreurs et incertitudes

4.1.1 Identification des indicateurs sanitaires

Les indicateurs sélectionnés sont la mortalité totale, la mortalité cardiopulmonaire et la mortalité par cancer du poumon. La mortalité prise en compte ne concerne que les adultes d'âge supérieur à 30 ans. De même, l'absence de prise en compte de la morbidité associée à la pollution atmosphérique contribue à sous-évaluer l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique.

4.1.2 Relations exposition-risque

Les relations exposition-risque disponibles proviennent de trois études de cohorte pour lesquelles les expositions à la pollution atmosphérique sont évaluées à l'échelle de la population et non au niveau individuel. De plus, les trois études associent chaque décès survenant au sein de la ville X pendant la période de suivi de la cohorte au même indicateur d'exposition I_x quelle que soit la date de survenue du décès. Cette approche des expositions peut engendrer des erreurs qui majorent ou minorent le risque relatif.

Cette évaluation des expositions ne permet pas de définir précisément la fenêtre d'exposition prise en compte pour le calcul du risque relatif. Il faut toutefois noter que l'indicateur d'exposition est pour chacune de ces trois études construit à partir de données environnementales collectées sur des durées limitées à quelques années : de 2 à 7 ans. Existe-t-il alors des relations entre les expositions sur de **très longues périodes** et la survenue des événements sanitaires ? Quelle est l'intensité de ces relations ? Sont-elles négligeables par rapport aux relations exposition-risque utilisées pour l'EIS long terme ?

Relation issue de l'étude trinationale (1999)

Afin d'élaborer le méta-risque, l'exposition aux PM10 de la cohorte ACS a été évaluée en utilisant un facteur de conversion PM2,5/PM10 égal à 0,6. La justification [15] de ce facteur est fragile. De plus, la validité de la relation exposition-risque est a priori limitée aux villes pour lesquelles le rapport PM2,5/PM10 est égal à 0,6. A Nantes, sur la période avril 2002-avril 2003, le rapport PM2,5/PM10 est très proche de 0,6. Par contre, Air Breizh ne mesure pas à Brest les PM2,5 : il n'est donc pas possible d'évaluer le rapport PM2,5/PM10.

Relations proposées par Pope C.A.III (2002)

Les relations exposition-risque proposées reposent sur un suivi actualisé de la cohorte de l'American Cancer Society sur la période 1983-1998 c'est à dire sur une durée de 16 ans. L'exposition des populations à la pollution atmosphérique a été évaluée à partir des concentrations en PM2,5 mesurées sur deux périodes : 1979-1983 et 1999-2000.

D'une façon générale, le risque d'erreur dans l'évaluation des expositions augmente lorsque la période de suivi de la cohorte devient beaucoup plus longue que la période à partir de laquelle est construit l'indicateur d'exposition.

Pour faire face à ces difficultés, Pope C.A.III a construit trois indicateurs d'exposition différents et proposé des risques relatifs associés à chacun de ces trois indicateurs d'exposition pour la mortalité totale, la mortalité cardiopulmonaire et la mortalité par cancer du poumon.

Pope C.A.III a noté que les concentrations moyennes en PM_{2,5} sur la période 1999-2000 sont plus faibles que sur la période 1979-1983. La diminution des concentrations est plus importante dans les villes les plus polluées. La hiérarchisation des villes en fonction du niveau de pollution atmosphérique n'est toutefois globalement pas modifiée. La figure FA7 en annexe 8 présente les différences de concentrations en PM_{2,5} observées entre les deux périodes. Ces informations n'ont pas permis à Pope C.A.III d'identifier un indicateur d'exposition de meilleure qualité que les deux autres.

L'US Environmental Protection Agency [16] retrace l'évolution aux Etats-Unis des émissions atmosphériques d'origine humaine sur la période 1970-2000. Les émissions prises en compte intègrent les rejets de 6 principaux polluants : CO, Pb, NO₂, O₃, PM et SO₂. La figure FA8 en annexe 8 présente cette évolution. Les émissions diminuent fortement sur la période 1970-1990 puis se stabilisent.

Il est raisonnable de penser que les concentrations en PM_{2,5} ont évolué de la même façon depuis 1970. Par ailleurs, le suivi de la mortalité au sein de la cohorte ACS porte sur la période 1983-1998. Dans ces conditions, la proximité temporelle de la période d'étude (année 1999) et de la période de disponibilité des PM_{2,5} à Nantes amène à considérer la relation RR-Iv₁ moins pertinente que les deux autres fonctions exposition-risque pour la réalisation de l'EIS long terme.

4.1.3 Estimation des expositions

Les expositions sont estimées à l'échelle de la population et non au niveau individuel. Cette approche collective des expositions est notamment imposée par les fonctions exposition-risque disponibles. Les budgets espace-temps des populations d'étude et la répartition géographique des niveaux de pollution ne sont pas pris en compte. Une même exposition est attribuée à l'ensemble des personnes résidant au sein de la zone d'étude.

Ainsi, l'estimation des expositions ne prend pas en considération de façon différenciée les personnes qui s'absentent régulièrement de la zone d'étude ou qui y résident depuis peu. L'évaluation des expositions n'intègre pas les personnes qui ont quitté depuis peu la zone d'étude ou qui résident à l'extérieur mais fréquentent régulièrement la zone d'étude.

Les expositions sont évaluées à partir d'un nombre limité de stations de mesure. Une implantation ou un nombre différent de capteurs conduirait-il à des impacts ou gains sanitaires différents ? Ainsi à Nantes, l'indicateur d'exposition $I_{p_{2,5}}$ est construit à partir des seuls résultats fournis par la station Bellevue. Par ailleurs, sur la période 2000-2002 les deux stations urbaines mesurant les PM₁₀ sont situées au nord et à l'ouest de la ville. La nature et l'implantation du réseau nantais sur cette période ne permettent pas d'intégrer les communes urbaines de Rezé et Saint-Sébastien-sur-Loire à la zone d'étude : l'impact sanitaire est alors sous évalué. Il faut toutefois noter que des études et campagnes de mesures sont effectuées avant l'implantation de nouveaux équipements de mesure. Ces démarches permettent de limiter les erreurs associées à une mauvaise implantation des stations.

L'évaluation des expositions à la pollution atmosphérique repose sur le suivi des PM₁₀ ou PM_{2,5} alors que l'atmosphère ambiante est un mélange de nombreux composés toxiques. Autrement dit, les concentrations en PM₁₀ et PM_{2,5} sont considérées comme des indicateurs du potentiel dangereux de l'air, milieu complexe dont la composition est inaccessible à la mesure. Cette approche a des limites : les concentrations moyennes en PM₁₀ et PM_{2,5} ne sont pas corrélées avec la pollution photo-oxydante à l'ozone de la période estivale.

Les expositions à la pollution atmosphérique sont évaluées à partir de mesures des PM réalisées en 2000, 2001, 2002 et 2003 - 1^{er} trimestre - c'est à dire plusieurs mois voire années après 1999. Ces données sont-elles représentatives des expositions long terme lorsque la période d'étude sélectionnée est l'année 1999 et que les niveaux de pollution peuvent avoir évolué ? De plus l'évaluation des expositions est réalisée à partir des données fournies par les réseaux de mesure sur des périodes de un ou trois ans. Ainsi l'historique des PM₁₀ à Brest et des PM_{2,5} à Nantes est limité à une seule année. Des mesures plus anciennes de la qualité de l'air disponibles sur quelques années ou quelques mois supplémentaires aboutiraient-elles à des indicateurs d'exposition plus pertinents ? Ces deux questions soulignent la nécessité de préciser l'étendue de la fenêtre d'exposition prise en compte par les études de cohorte.

4.1.4 Caractérisation des risques

Calcul d'un risque attribuable

Le calcul d'un risque attribuable à un facteur (ici la pollution atmosphérique) nécessite que la relation entre l'exposition au facteur et la maladie soit de nature causale. En l'occurrence, la confrontation des résultats épidémiologiques aux critères de causalité habituellement retenus permet raisonnablement de conclure que la pollution atmosphérique constitue bien un facteur de risque pour la santé de nature causale.

Scénario de réduction des niveaux polluants

Un seul scénario de réduction (-25 %) des concentrations en PM est utilisé. Le gain sanitaire potentiel associé à ce scénario offre une évaluation minimale de l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique. En effet, diminuer les concentrations en PM10 et PM2,5 jusqu'aux niveaux de fond - absence de pollution atmosphérique urbaine - nécessiterait de simuler des réductions plus importantes des niveaux de pollution. Les percentiles 5 des distributions des indicateurs journaliers d'exposition sont des indications des niveaux de fond : à Brest 8,10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10, à Nantes 9,50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM10 et 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM2,5.

Utilisation de relations exposition-risque issues d'études épidémiologiques américaines

L'étape de caractérisation des risques utilise pour Brest et Nantes des relations exposition-risque établies à partir d'études épidémiologiques américaines. Pour autant la pollution atmosphérique urbaine peut ne pas être de même nature (influence du parc automobile) de part et d'autre de l'Atlantique.

Les caractéristiques des populations d'étude américaines et celles des populations brestoise et nantaise peuvent également être très différentes : budget espace-temps, distribution des âges, causes de mortalité. Celles-ci peuvent d'ailleurs être évolutives : il n'y a aucune raison pour que les caractéristiques de la cohorte de l'American Cancer Society (ACS) restent identiques sur l'ensemble de la période 1983-1998.

Les études de cohorte offrent des relations entre la mortalité totale (toutes causes) et les expositions chroniques à la pollution atmosphérique. Pour les EIS, ces relations sont appliquées uniquement à la mortalité toutes causes sauf accidentelles. Cette approche est prudente : elle minore l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique et contribue à limiter les erreurs dues à des causes de mortalité différentes entre les populations américaines et celles des villes de Brest et Nantes.

De plus les cohortes américaines sont plus âgées que les populations d'étude des EIS long terme. Ainsi la cohorte ACS est composée d'individus ayant au moins 30 ans à la fin de l'année 1982 tandis que les populations d'étude brestoise et nantaise ont 30 ans révolus en 1999. Les expositions chroniques à la pollution atmosphérique sur de très longues périodes peuvent être de nature et de niveau très différents pour les deux populations.

Une première étude de cohorte européenne [17] a mis en évidence une association entre les expositions chroniques à la pollution atmosphérique urbaine et la mortalité. Malgré un manque de puissance statistique, Peters A. et Pope C.A. III [18] estiment que les résultats obtenus sont « raisonnablement cohérents » avec ceux des études de cohorte américaines. En l'absence d'études européennes exploitables pour des EIS long terme, l'Organisation mondiale de la santé [13] recommande donc d'utiliser les relations exposition-risque issues des études américaines. L'exploitation de ces études américaines pour évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à Nantes et Brest constitue cependant une des principales sources d'incertitudes.

Expression du gain sanitaire en jours supplémentaires d'espérance de vie

Le gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie est un calcul théorique qui repose sur trois hypothèses fortes :

- H1 L'exposition à la pollution atmosphérique de la cohorte C₁₉₆₈ sur la période 1999-2067 est caractérisée à partir d'une seule valeur de l'indicateur d'exposition. Cette hypothèse ne prend pas en compte les évolutions possibles des niveaux de pollution voire du budget espace-temps des populations. Une partie des populations quittera d'ailleurs les zones d'étude. Il est impossible de savoir a priori si cette hypothèse minore ou majore le gain sanitaire.

- H2 Le calcul mis en œuvre nécessite de construire des tables de survie pour la cohorte C_{1968} . Ces tables calculées à partir des données de mortalité de l'année 1999 sont supposées représentatives des conditions de mortalité sur l'ensemble de la période 1999-2067. Cette hypothèse ne permet pas d'intégrer l'accroissement régulier de l'espérance de vie et contribue ainsi à majorer le gain sanitaire. L'allongement de l'espérance de vie peut d'ailleurs correspondre au sein des populations brestoises et nantaises à une modification des causes de mortalité qui en 2067 pourraient être très différentes de celles observées pour les populations américaines des études de cohorte. L'utilisation des relations exposition-risque disponibles pourrait ne pas être valide dans ces conditions.
- H3 Les décès attribuables à la pollution atmosphérique sont supposés survenir au même âge que les décès par cancer du poumon ou décès d'origine cardiopulmonaire. Cette approche pourrait minorer le gain sanitaire : les décès attribuables à la pollution atmosphérique sont majoritairement, mais pas uniquement, constitués de décès par cancer du poumon et d'origine cardiopulmonaire. Ces formes de décès surviennent en moyenne à des âges plus avancés que les autres décès non accidentels. A ce sujet, il faut noter que les âges de survenue des décès ont été déterminés à partir d'effectifs importants. Ils proviennent des données de mortalité recueillies aux échelles départementales - Finistère, Loire-Atlantique - pour les années 1997, 1998 et 1999.

Ces trois hypothèses fortes aboutissent à des résultats dont l'incertitude est difficile à évaluer. Les hypothèses H1, H2 et H3 ont des effets contradictoires (augmentation, diminution) sur le gain sanitaire. Toutefois dès lors que ces hypothèses sont explicites, claires et transparentes, le calcul peut être utilisé comme un élément pédagogique : il met en évidence les natures différentes des décès anticipés calculés par les EIS court et long terme.

Au-delà des hypothèses fortes utilisées dans le calcul du gain sanitaire, quatre sources d'erreurs et d'incertitudes peuvent être évoquées.

Le calcul des probabilités de survie puis du gain sanitaire exprimé en années potentielles de vie nécessiterait un calcul mathématique plus complexe pour prendre en compte les années bissextiles. Les erreurs commises sont toutefois négligeables.

Les équations (5) et (7), à partir desquelles sont calculées les probabilités de survie, assimilent les populations de Brest et Nantes en 1999 à des populations fermées. A défaut de connaître, la date et l'âge de survenue des décès en 1999, plusieurs hypothèses sont également émises pour permettre le calcul des probabilités de survie. La mortalité journalière est considérée uniforme sur l'année 1999. De même, la répartition des âges de décès est supposée uniforme au sein de chaque classe d'âge $[x, x+1[$. D'autres hypothèses auraient pu être retenues notamment considérer que tout décès au sein de la classe $[x, x+1[$ survient à l'âge de $x+0,5$ ans. Une telle hypothèse a été testée. Elle conduit à une formulation différente des équations (5) et (7) mais la modification du gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie est négligeable.

Le gain sanitaire est minimalisé puisqu'il est obtenu pour la cohorte C_{1968} uniquement sur la période 1999-2067 : il n'est pas calculé vie entière.

L'accroissement calculé de l'espérance de vie repose sur les probabilités $s_{99,a}$ et $sr_{99,a}$, probabilités de survie en 1999 des cohortes nées l'année a lorsqu'elles sont exposées aux niveaux de pollution E et E_r . Les probabilités utilisées pourraient donc ne refléter que les conditions particulières de mortalité de l'année 1999. Plusieurs éléments montrent que l'accroissement calculé de l'espérance de vie resterait inchangé avec des données de mortalité différentes issues d'une année proche :

- les probabilités de survie évaluées pour les très grands âges ($>$ ou $=$ à 85 ans) sont plus incertaines car déterminées à partir d'effectifs restreints. Toutefois leur contribution dans le calcul du gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie demeure minoritaire : de l'ordre de 30 % à Brest et 40 % à Nantes.
- la mortalité totale et la mortalité toutes causes sauf accidentelles restent, en règle générale, relativement stables. Les données de mortalité de 1999 sont proches de celles des années voisines.
- l'annexe 9 vérifie que les ordres de grandeur du gain sanitaire restent identiques lorsque le gain sanitaire est calculé à partir des probabilités de survie $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$.

4.2 Interprétation et formulation des résultats

Il est important de garder à l'esprit que le présent travail ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets sur la santé mais à quantifier cet impact au niveau local. En effet, une abondante littérature scientifique décrit les effets néfastes sur la santé et l'absence de seuil pour la manifestation de ces effets au sein d'une population.

La précision des calculs ne doit pas faire illusion. Les résultats doivent être interprétés comme des ordres de grandeur. En effet il s'agit d'une estimation réalisée sur la base des acquis scientifiques actuels et des données disponibles. Mais un résultat même approximatif, obtenu à partir des meilleures connaissances disponibles est plus reproductible et transparent qu'un jugement subjectif fondé sur des émotions ou des suppositions arbitraires.

L'impact sanitaire à long terme obtenu en exploitant les résultats d'études de cohorte est plus complet que l'impact quantifié pour le court terme en utilisant les résultats d'études épidémiologiques temporelles [13]. Toutefois, le nombre calculé de décès attribuables ne recouvre que partiellement [19] l'impact à court terme. Il est donc par définition une estimation minimale du réel impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique.

Le gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie est un calcul théorique dont le résultat est indissociable des hypothèses utilisées. Toutefois, l'ordre de grandeur obtenu montre que les délais d'anticipation des décès attribuables à la pollution atmosphérique sont suffisamment importants pour réduire de plusieurs semaines l'espérance de vie individuelle au sein de la population d'étude.

Dans le déroulement des EIS, les hypothèses raisonnablement prudentes sont privilégiées de façon à calculer un impact ou un gain sanitaire minimal attribuable à une modification des niveaux de pollution atmosphérique. Cette approche prudente vaut évidemment pour la formulation des résultats.

Ainsi à Nantes, l'évaluation de l'impact sanitaire privilégie la relation RR- I_{V_2} après comparaison des résultats obtenus par l'exploitation des différentes relations exposition-risque disponibles. La même évaluation du gain sanitaire à Brest est moins prudente : elle repose sur la seule relation exposition-risque issue de l'étude trinationale. Les résultats des EIS de Brest et Nantes ne peuvent donc pas être comparés.

4.2.1 Les résultats de l'EIS sur Brest

Le gain sanitaire associé à une diminution de 25 % des niveaux chroniques de pollution atmosphérique est évalué pour l'année 1999 à 38 (23-53) décès. Il représente de l'ordre de 1 à 2 % de la mortalité totale.

Ce gain sanitaire correspond pour la population âgée de 30 ans révolus en 1999 à une espérance de vie supplémentaire de l'ordre de 48 (29-68) jours.

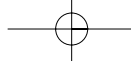
Une augmentation de 15 % des niveaux chroniques de PM10 est associée pour l'année 1999 à 23 (14-32) décès supplémentaires.

4.2.2 Les résultats de l'EIS sur Nantes

Le gain sanitaire associé à une diminution de 25 % des niveaux chroniques de pollution atmosphérique est évalué pour l'année 1999 à 40 (14-65) décès. Il représente de l'ordre de 1 à 2 % de la mortalité totale.

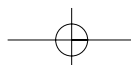
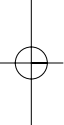
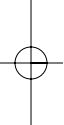
Les décès attribuables à la pollution atmosphérique sont constitués pour une part importante :

- de décès d'origine cardiopulmonaire : 17 (5-30) ;
- de décès par cancer du poumon : 5 (2-9).



Ce gain sanitaire correspond pour la population âgée de 30 ans révolus en 1999 à une espérance de vie supplémentaire de l'ordre de 51 (17-84) jours.

Une augmentation de 15 % des niveaux chroniques de pollution est associée pour l'année 1999 à 24 (8-40) décès supplémentaires. Ceux-ci comprennent 11 (3-18) décès d'origine cardiopulmonaire et 3 (1-6) décès par cancer du poumon.



5. Conclusions

5.1. Intérêt des EIS long terme

Les agglomérations urbaines bretonnes et ligériennes (Nantes, Brest, Rennes...) bénéficient de conditions favorables de dispersion des polluants atmosphériques : les niveaux de pollution y sont modérés. Dans ce contexte particulier, les Drass de Bretagne et des Pays-de-la-Loire avaient pour objectif d'évaluer l'intérêt des EIS long terme pour les agglomérations de la façade atlantique.

Malgré les niveaux modérés de pollution, la réalisation des EIS court terme demeure intéressante : elle met bien en évidence l'absence de niveau seuil au-dessous duquel l'exposition à la pollution atmosphérique serait sans effet. Les EIS court terme illustrent également la faible importance de l'impact sanitaire associé aux pics de pollution. Elles démontrent donc que l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique n'est pas nul dans les agglomérations bretonnes et ligériennes de la façade atlantique.

Cependant les nombres de décès anticipés calculés par les EIS court terme restent modestes, tout particulièrement lorsque les niveaux de pollution atmosphérique sont modérés. Les EIS long terme offrent alors une approche complémentaire intéressante.

Les EIS long terme illustrent mal le faible impact sanitaire des pics de pollution. Comme les EIS court terme, elles mettent en évidence l'existence d'un impact sanitaire non nul dans les villes de l'ouest où la pollution atmosphérique est modérée. Ainsi pour Brest et Nantes, l'impact sanitaire évalué représente au moins 1 à 2 % de la mortalité totale et réduit l'espérance de vie individuelle de plusieurs semaines. Cette expression de l'impact sanitaire en jours d'espérance de vie illustre de façon intéressante les délais d'anticipation des décès associés à la pollution atmosphérique. Même si le résultat obtenu est indissociable des hypothèses fortes utilisées pour le calcul, il montre que les délais d'anticipation des décès attribuables à la pollution atmosphérique sont suffisamment importants pour réduire de plusieurs semaines l'espérance de vie individuelle au sein de la population d'étude. Jusqu'alors les EIS court terme ne permettaient pas d'approcher ces délais. Des éléments bibliographiques étaient utilisés afin d'évoquer des délais d'anticipation supérieurs à 2 mois pour le cas particulier de la mortalité cardiovasculaire.

De plus les EIS long terme offrent une évaluation plus complète du nombre de décès associé à des évolutions (scénarii de réduction ou d'augmentation) des niveaux de pollution atmosphérique. Ainsi à Nantes, l'EIS court terme [2] évaluait l'impact de la pollution atmosphérique à 43 (21-66) décès anticipés sur une année. Une diminution de seulement 40 % de cette mortalité anticipée était attendue pour une réduction des niveaux de pollution de 25 %. Une même diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique fournit selon l'EIS long terme un gain sanitaire de 40 (14-65) décès. Il faut toutefois noter que les EIS court terme reposent sur des relations exposition-risque de meilleure qualité et permettent l'utilisation de scénarii de réduction plus importante des niveaux de pollution.

5.2. Perspectives

L'impact sanitaire quantifié en nombre de décès par une EIS court ou long terme ne peut que sous estimer l'impact global de la pollution atmosphérique. Une approche plus complète nécessiterait de travailler également à partir d'autres indicateurs sanitaires : consommations de médicaments, consultations médicales... Les futures EIS devront à terme pouvoir prendre en compte de tels

indicateurs sanitaires. En effet, une EIS doit toujours être la plus complète possible. Elle exploite les connaissances scientifiques disponibles pour « traduire » en impact ou gain sanitaire des scénarii d'évolution des niveaux de pollution atmosphérique.

Les EIS court et long terme correspondent à deux approches complémentaires. Il est donc souhaitable que les futures EIS intègrent à la fois le court et le long terme.

Les risques d'erreurs étant beaucoup plus importants lors de la réalisation d'une EIS long terme, il conviendrait que les réseaux de suivi de la qualité de l'air, associés aux PM10 des mesures des PM2,5. De telles données sont en effet indispensables pour :

- exploiter toutes les relations exposition-risque actuellement disponibles ;
- accéder au rapport des concentrations PM2,5/PM10 et valider l'utilisation de la relation issue de l'étude trinationale.

Pour améliorer la qualité des EIS long terme, les Drass devront également être attentives à la parution d'études européennes dont le format permettrait de limiter les erreurs d'évaluation des expositions et de mieux approcher l'âge de survenue des décès associés à la pollution atmosphérique. Ces améliorations sont attendues pour mettre en œuvre des scénarii de réduction plus importante des niveaux de pollution et ainsi mieux approcher l'impact sanitaire attribuable à la pollution atmosphérique.

6. Annexes

Annexe 1

Extraits des inventaires Citepa

Tableau A1. Extrait inventaire Citepa 1994 - Unité urbaine de Brest

	Extract et Transf. d'En		Rés. tert. com. et inst		Indst. et Tr. Déch.		Agri. Et Sylv.		Transp. Rout.		Transp. Non Rout.		Autres sect.	
	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%
SO ₂	11	1	540	92,9	117	11,4	0	0	347	34	7	0,7	0	0
Nox	2	0,1	320	15,5	148	7	0	0	1561	75,4	40	1,9	0	0
COVNM	512	8,9	1258	21,8	1109	19,2	4	0,1	2733	47,3	162	2,8	0	0
CO	1	0	5533	21,6	175	0,7	0	0	19609	76,5	313	1,2	0	0
CO ₂	1	0,2	447	94,2	89	10,8	0	0	274	33,2	13	1,6	0	0
NH ₃	0	0	0	0	170	97,5	0	0	4	2,5	0	0	0	0

Extract et Transf. d'En : Extraction et transformation d'énergie
 Rés. tert. com. et inst. : Résidentiel / Tertiaire / Commercial / Institutionnel
 Indst. et Tr. Déch. : Industrie et traitement des déchets
 Agri. Et Sylv. : Transports routiers
 Transp. Rout. : Transports non routiers
 Transp. Non Rout. : Autres secteurs, nature comprise.

Tableau A2. Extrait inventaire Citepa 1999 - Unité urbaine de Nantes

	Extract et Transf. d'En		Rés. tert. com. et inst.		Indst. et Tr. Déch.		Agri. Et Sylv.		Transp. Rout.		Transp. Non Rout.		Autres sect.	
	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%	tonnes	%
SO ₂	284	18,1	315	20,1	353	22,4	0	0	222	14,1	398	25,3	0	0
Nox	81	0,9	738	8,1	1315	14,8	0	0	6041	67,9	739	8,3	0,1	0
COVNM	3088	22,4	1911	13,9	3697	26,1	15	0,1	4746	34,5	405	2,9	1	0
CH ₄	615	9,5	179	2,8	8622	85,8	0	0	137	2,1	6,7	0,1	0	0
CO	26	0,1	2322	6,7	638	1,8	0	0	31537	90,8	207	0,6	0	0
CO ₂	51	2,2	798	33,2	305	16,7	0	0	1034	44,8	69	3	0	0
NH ₃	0	0	0	0	39	36,8	0	0	66	63,2	0	0	0	0
PM 10	10	0,6	167	9,7	1033	60,4	0	0	405	26,8	8,3	0,5	0	0
PM 2,5	3	0,3	80	7,4	288	35,5	0	0	452,2	56,8	7,4	0,9	0	0
Benzène	4,8	2,2	34	15,3	13	5,7	0	0	182	75,2	6,1	3,7	0	0
As	0,001	19,2	0	0	0,004	80,8	0	0	0	0	0	0	0	0
Cd	0,0003	1,6	0,0019	8,1	0,018	88,3	0	0	0	0	0	0	0	0
Cr	0,003	16,1	0,0002	0,1	0,013	83,8	0	0	0	0	0	0	0	0
Cu	0,002	0,7	0,0027	0,9	0,031	11,2	0	0	0	0	0,244	87,1	0	0
Hg	0,001	2,5	0,0019	3,9	0,048	93,6	0	0	0	0	0	0	0	0
Ni	0,18	88,3	0,00003	0	0,091	33,7	0	0	0	0	0,0001	0	0	0
Pb	0,003	0,1	0,018	0,4	0,103	2,2	0	0	4,626	97,4	0,006	0	0	0
Se	0,0011	61,2	0	0	0,001	48,8	0	0	0	0	0	0	0	0
Zn	0,006	0,2	0,038	1,1	3,82	86,7	0	0	0	0	0	0	0	0
HAP	0,0001	0	1,862	65,5	0,043	1,5	0	0	0,935	32,9	0	0	0	0

Extract et Transf. d'En : Extraction et transformation d'énergie
 Rés. tert. com. et inst. : Résidentiel / Tertiaire / Commercial / Institutionnel
 Indst. et Tr. Déch. : Industrie et traitement des déchets
 Agri. Et Sylv. : Transports routiers
 Transp. Rout. : Transports non routiers
 Transp. Non Rout. : Autres secteurs, nature comprise.

Annexe 2

Caractéristiques des réseaux de surveillance de la qualité de l'air

Tableau A3. Le réseau brestois - Les stations de mesure

Classe de la station	Libellé station (commune)	Environnement immédiat	Sources de pollution	Hauteur (prélèvement)	Polluants mesurés (début de mesure)
Site urbain	Ecole Nattier (Brest)	Cour d'école / pelouse	Urbaines	3 m sauf PM10 : 5 m	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , NO, PM10 (28/09/1999)
	Jean Macé (Brest)	Cour d'école	Urbaines	5 m sauf PM10 : 10 m	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , NO (15/07/1999) PM10 (06/11/2001)
Site proximité automobile	Camille Desmoulins (Brest)	Route (carrefour)	Circulation automobile	2 m sauf PM10 : 3 m	SO ₂ , NO ₂ , NO, CO (13/10/1998) PM10 (29/03/2001)

34

Brest et Nantes. Impact à long terme

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Tableau A4. Le réseau brestois - Les méthodes de mesure

Polluants	Stations de mesure	Méthodes de mesure
NO	Ecole Nattier, Jean Macé, Camille Desmoulins	Chimiluminescence (mesures 1/4 horaires)
NO₂	Ecole Nattier, Jean Macé, Camille Desmoulins	Chimiluminescence (mesures 1/4 horaires)
O₃	Ecole Nattier, Jean Macé	Absorption UV (mesures 1/4 horaires)
PM10	Ecole Nattier, Jean Macé, Camille Desmoulins	Ecole Nattier et Jean Macé : pesée gravimétrique avec microbalance (mesures 1/4 horaire) Camille Desmoulins : jauge β (mesures 1/4 horaire)
SO₂	Ecole Nattier, Jean Macé, Camille Desmoulins	fluorescence uv
CO	Camille Desmoulins	corrélacion infrarouge (mesures 1/4 horaires)

Tableau A5. Le réseau nantais - Les stations de mesure

Classe de la station	Libellé station (commune)	Environnement immédiat	Sources de pollution	Hauteur (prélèvement)	Polluants mesurés (début de mesure)
Site urbain	Chauvinière (Nantes)	Cour d'école	Urbaines	3 m	O ₃ , NO ₂ , NO, PM10 (20/05/1999)
	Bellevue (Saint Herblain)	Square	Urbaines	3 m	O ₃ , NO ₂ , NO, PM10 (06/07/1999) PM2,5 (09/04/2002) Benzène, Ethylbenzène, m,p-xylènes, o-xylène, toluène (06/03/2000)
	Jardin (Nantes)	Jardin des plantes	Urbaines	5 m	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , NO (21/07/1995)
	Eaux (Nantes)	Usine de production d'eau potable	Urbaines + Industrielles	6 m	NO ₂ , NO (17/01/2001)
	Rezé (Rezé)	Cour de lycée	Urbaines	3 m	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , NO (18/12/2001) PM10 (05/07/2002)
	Bouaye (Bouaye)	Place-Parking	Urbaines	6 m	O ₃ , NO ₂ , NO (02/07/2001)
Site périurbain	Ste-Luce (Ste Luce-sur-Loire)	Boulevard	Urbaines	10 m	O ₃ (10/11/1993), NO ₂ , NO (15/04/1994)
	Strasbourg (Nantes)	Boulevard	Circulation automobile	4 m	CO (21/04/1989) NO ₂ , NO (01/11/1987)
Site proximité automobile	Crébillon (Nantes)	Rue	Circulation automobile	2 m	Benzène, Ethylbenzène, m,p-xylènes, o-xylène, toluène (06/03/2000)
	Victor Hugo (Nantes)	Boulevard	Circulation automobile	3 m	CO, NO ₂ , NO, (23/11/2000)
	Porte de Carquefou (Nantes)	Rue	Circulation automobile	3 m	CO, NO ₂ , NO, PM10 (27/05/1999)
	Couëron (Couëron)	Vélodrome	Industrielles	3 m sauf NO ₂ , NO : 4m	FN, SO ₂ (10/01/92) NO ₂ , NO (10/07/2001)
Site industriel	Sautron (Sautron)	Industriel	Industrielles	3 m	FN, SO ₂ (29/08/1992)
Site d'observation	Chantrerie (Nantes)	Pépinières entreprises tertiaires	-	20 m	Radon, gamma, bêta,alpha (18/06/1997)
	CHU (Nantes)	CHU	Urbaines	40 m	SO ₂ , O ₃ , NO ₂ , (28/09/1999)

Tableau A6. Le réseau nantais - Les méthodes de mesure

Polluants	Stations de mesure	Méthodes de mesure
NO	Chauvinière, Bellevue, Jardin, Eaux, Rezé, Bouaye, Ste-Luce, Strasbourg, Victor Hugo, Porte de Carquefou, Couëron	Chimiluminescence (mesures 1/4 horaires)
NO₂	Chauvinière, Bellevue, Jardin, Eaux, Rezé, Bouaye, Ste-Luce, Strasbourg, Victor Hugo, Porte de Carquefou, Couëron, CHU	Chimiluminescence (mesures 1/4 horaires)
O₃	Chauvinière, Bellevue, Jardin, Rezé, Bouaye, Ste-Luce, CHU	Absorption UV (mesures 1/4 horaires)
PM₁₀	Chauvinière, Bellevue, Rezé, Porte de Carquefou	Pesée gravimétrique avec microbalance (mesures 1/4 horaires)
PM_{2,5}	Bellevue	Pesée gravimétrique avec microbalance (mesures 1/4 horaires)
FN	Couëron, Sautron	Réflectométrie (mesures 1/4 horaires)
Radon et rayonnements α et β	Chantrerie	Scintillation (mesures horaires)
Rayonnements γ	Chantrerie	Compteur proportionnel (mesures horaires)
SO₂	Jardin, Rezé, Couëron, Sautron	Fluorescence UV (mesures 1/4 horaires)
Benzène, Ethylbenzène, m,p-xylènes, o-xylène, toluène	Bellevue, Crébillon	Désorption thermique, spectrophotométrie de masse, chromatographie en phase gazeuse (mesures moyennes sur deux semaines)
CO	Strasbourg, Victor Hugo, Porte de carquefou	Corrélation infrarouge (mesures 1/4 horaires)

Annexe 3

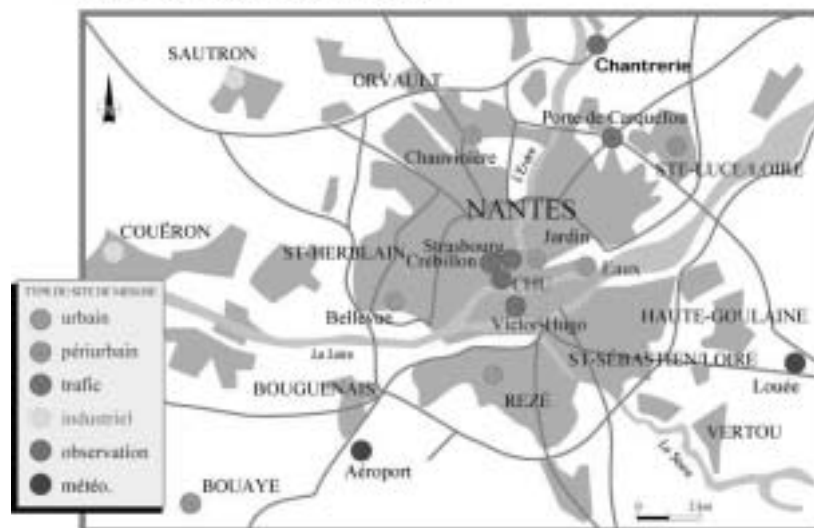
Localisation des stations de mesure de la qualité de l'air

Figure FA1. Réseau permanent Air Breizh de surveillance de la qualité de l'air dans l'agglomération brestoise



Source : Air Breizh

Figure FA2. Réseau permanent de surveillance de la qualité de l'air d'Air Pays-de-la-Loire dans l'agglomération nantaise au 18/11/2002



Air Pays-de-la-Loire ECB - 021089 CB 18/11/2002

Annexe 4

Données météorologiques

Tableau A7. Données Météo France : Brest - Guipavas 2002

	2002				1971 - 2000			
	Pluie >1mm (jours)	Vent moyen (m/s)	Température moyenne (°C)	Insolation (h mn)	Pluie >1mm (jours)	Vent moyen (m/s)	Température moyenne (°C)	Insolation (h mn)
Janvier	18,0	5,6	8,1	60h47	17,6	5,1	6,7	63h08
Février	21,0	6,8	8,9	57h51	14,6	4,9	6,8	83h18
Mars	8,0	4,3	9,6	123h36	14,6	4,9	8,1	121h10
Avril	10,0	4,4	10,1	177h33	11,9	5,0	9,2	168h00
Mai	14,0	4,9	12,3	176h18	11,3	4,6	12,1	203h53
Juin	11,0	3,9	13,8	130h40	8,9	4,2	14,5	204h19
Juillet	12,0	3,6	15,9	136h06	8,8	4,0	16,6	212h37
Août	9,0	3,0	16,6	164h50	9,3	3,8	16,8	203h06
Septembre	2,0	3,0	15,9	220h18	10,9	4,0	15,1	164h05
Octobre	21,0	4,0	12,9	104h59	14,5	4,3	12,3	116h14
Novembre	25,0	5,2	10,9	62h47	16,2	4,5	9,2	80h14
Décembre	18,0	4,6	8,4	31h22	17,3	4,9	7,6	61h14

Tableau A8. Données Météo France : Nantes - Bouguenais 2000-2002

	2002				1971 - 2000			
	Pluie >1mm (jours)	Vent moyen (m/s)	Température moyenne (°C)	Insolation (h mn)	Pluie >1mm (jours)	Vent moyen (m/s)	Température moyenne (°C)	Insolation (h mn)
Janvier	12,3	4,2	6,5	63h32	12,4	4,4	5,8	72h53
Février	12,3	4,4	7,8	74h43	11,2	4,2	6,5	97h25
Mars	11,0	4,1	9,2	124h39	10,4	4,1	8,5	145h20
Avril	13,0	4,3	10,3	139h15	9,6	4,2	10,4	176h53
Mai	10,0	3,6	14,5	166h17	11,1	3,8	14,1	197h59
Juin	5,0	3,3	17,2	199h50	7,7	3,5	17,0	220h42
Juillet	9,0	3,6	18,3	201h23	6,8	3,5	19,4	244h37
Août	8,0	3,0	19,0	218h13	6,4	3,2	19,4	240h00
Septembre	6,0	3,2	16,1	206h00	8,5	3,4	16,8	190h40
Octobre	15,3	3,6	13,6	94h50	11,3	3,5	13,0	128h21
Novembre	18,3	3,9	9,00	85h26	11,5	3,7	8,7	91h33
Décembre	15,3	4,5	7,1	66h49	12,8	4,3	6,6	67h44

Tableau A9. Données Météo France : Nantes - Bouguenais Avril 2002-Mars 2003

Avril 2002 – Mars 2003				
	Pluie >1mm (jours)	Vent moyen (m/s)	Température moyenne (°C)	Insolation (h mn)
Avril	7,0	3,7	10,9	179h48
Mai	14,0	4,1	13,5	169h16
Juin	4,0	3,4	16,8	177h10
Juillet	8,0	3,7	18,0	213h26
Août	7,0	3,0	18,1	197h02
Septembre	3,0	3,5	16,4	247h43
Octobre	14,0	3,7	13,4	115h31
Novembre	23,0	4,2	10,4	71h20
Décembre	20,0	4,7	8,7	37h45
Janvier	10,0	4,3	4,3	101h01
Février	10,0	3,8	5,7	103h07
Mars	4,0	4,0	11,1	194h11

Annexe 5

Construction des indicateurs d'exposition

BREST - Estimation de l'exposition à la pollution atmosphérique

L'exposition des populations à la pollution atmosphérique est estimée à partir des concentrations en PM10 mesurées pendant l'année 2002 par les stations « Ecole Nattier » et « Jean Macé ». Le tableau A10 caractérise la distribution des moyennes journalières associées aux deux stations.

Tableau A10. Distribution des moyennes journalières

	Ecole Nattier	Jean Macé
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,69	18,20
Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,00	17,50
Ecart – type ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,33	6,53
Centile 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,00	9,00
Centile 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	11,00	14,00
Centile 75 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,00	21,00
Centile 90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23,00	27,00
Centile 95 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	27,00	30,00
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	0,00	5,00
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	46,00	48,00
Nombre de valeurs manquantes	1,00	1,00
% de valeurs manquantes	0,27	0,27

Les moyennes journalières sont très bien corrélées. Le coefficient de corrélation linéaire s'élève à 0,93. Les valeurs restent proches même si les niveaux observés pour la station « Jean Macé » sont régulièrement plus élevés que ceux de la station « Ecole Nattier ».

L'indicateur journalier d'exposition I_{j10} est construit pour chaque journée de l'année 2002 à partir des moyennes journalières fournies par les deux stations. Le tableau A11 caractérise la distribution de l'indicateur journalier d'exposition.

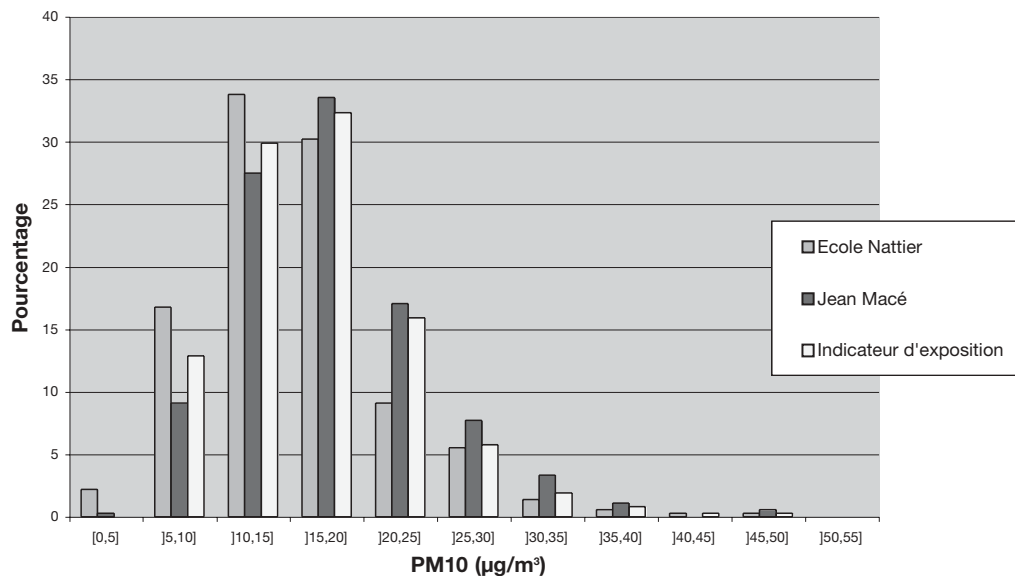
Tableau A11. Distribution de l'indicateur journalier d'exposition

	Indicateur journalier d'exposition
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16,95
Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16,50
Ecart – type ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,32
Centile 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	8,10
Centile 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	12,50
Centile 75 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,00
Centile 90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	24,80
Centile 95 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28,50
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,00
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	47,00
Nombre de valeurs manquantes	0,00

L'indicateur I_{p10} d'exposition chronique à la pollution atmosphérique est la valeur moyenne de l'indicateur journalier d'exposition I_{j10} soit $16,95 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figure FA3 illustre la distribution des moyennes journalières et de l'indicateur journalier d'exposition.

Figure FA3. PM10 - Distribution des moyennes journalières et de l'indicateur journalier d'exposition



NANTES - Estimation de l'exposition à la pollution atmosphérique

L'exposition des populations à la pollution atmosphérique peut être estimée à partir des concentrations en PM10 et PM2,5 fournies par Air Pays-de-la-Loire.

Estimation de l'exposition à partir des mesures de PM10 sur la période 2000-2002

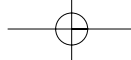
Le tableau A12 caractérise la distribution des moyennes journalières d'exposition aux PM10 pour les stations «Porte de Carquefou», «Chauvinière» et «Bellevue» pendant la période 2000-2002.

Tableau A12. Distribution des moyennes journalières

Classe de la station	Porte de Carquefou	Chauvinière	Bellevue
	Proximité automobile	Site urbain	Site urbain
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	15,89	16,72	18,01
Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	14,00	16,00	17,00
Ecart - type ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,16	6,18	6,46
Centile 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,00	9,00	10,00
Centile 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,00	12,00	14,00
Centile 75 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,00	20,00	21,00
Centile 90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28,00	24,00	26,00
Centile 95 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	33,00	28,00	30,00
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	3,00	5,00	6,00
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	82,00	62,00	67,00
Nombre de valeurs manquantes	123,00	18,00	17,00
% de valeurs manquantes	11,22	1,64	1,55

Les moyennes journalières des stations « Chauvinière » et « Bellevue » sont très bien corrélées. Le coefficient de corrélation linéaire est égal à 0,95. Les valeurs restent proches même si les niveaux observés pour la station « Bellevue » sont régulièrement plus élevés que ceux de la station « Chauvinière ».

La station « Porte de Carquefou » est une station de proximité automobile. Les coefficients de corrélation avec les stations « Chauvinière » et « Bellevue » sont respectivement 0,68 et 0,71. Le pourcentage de valeurs manquantes y est relativement élevé : 11,22 %.



L'indicateur journalier d'exposition I_{j10} est donc construit pour chaque journée de la période 2000-2002 à partir des moyennes journalières fournies par les stations « Chauvinière » et « Bellevue ».

Le tableau A13 caractérise la distribution de l'indicateur journalier d'exposition.

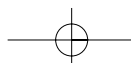
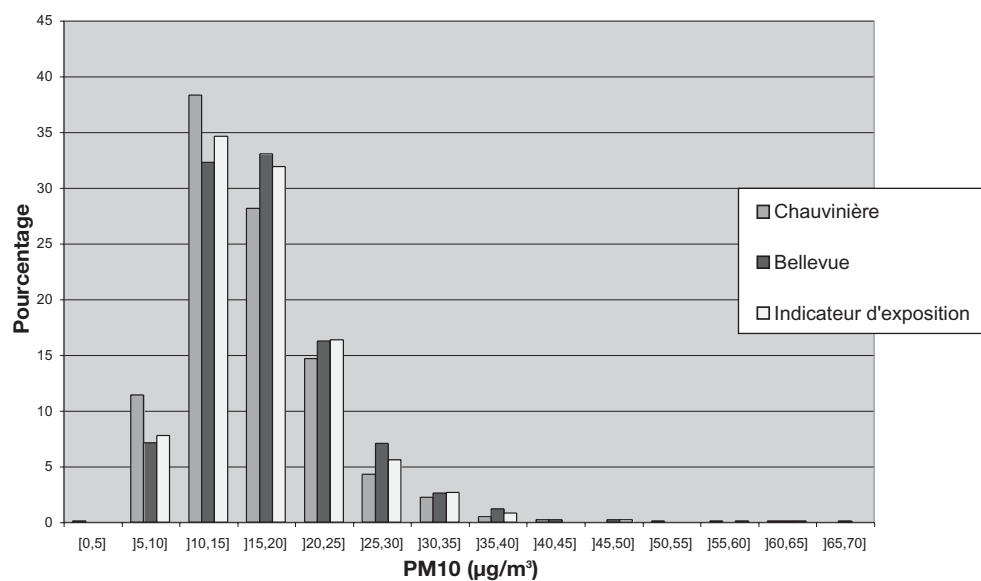
Tableau A13. Distribution de l'indicateur journalier d'exposition

Indicateur journalier d'exposition	
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	17,35
Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	16,50
Ecart - type ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	6,26
Centile 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,50
Centile 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,00
Centile 75 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	20,50
Centile 90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	25,00
Centile 95 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	28,65
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,50
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	64,50
Nombre de valeurs manquantes	1,00

L'indicateur I_{p10} d'exposition long terme à la pollution atmosphérique est la valeur moyenne de l'indicateur journalier d'exposition I_{j10} soit $17,35 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figure FA4 illustre la distribution des moyennes journalières et de l'indicateur journalier d'exposition.

Figure FA4. PM10 - Distribution des moyennes journalières et de l'indicateur journalier d'exposition



Estimation de l'exposition à partir des mesures de PM_{2,5} sur la période avril 2002-avril 2003

Seule la station Bellevue fournit des concentrations en PM_{2,5}. Le tableau A14 caractérise la distribution de l'indicateur journalier d'exposition $I_{j2,5}$ sur la période du 9 avril 2002 au 8 avril 2003. Il présente également la distribution des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ fournies par la station Bellevue.

Tableau A14. Distribution de l'indicateur journalier d'exposition

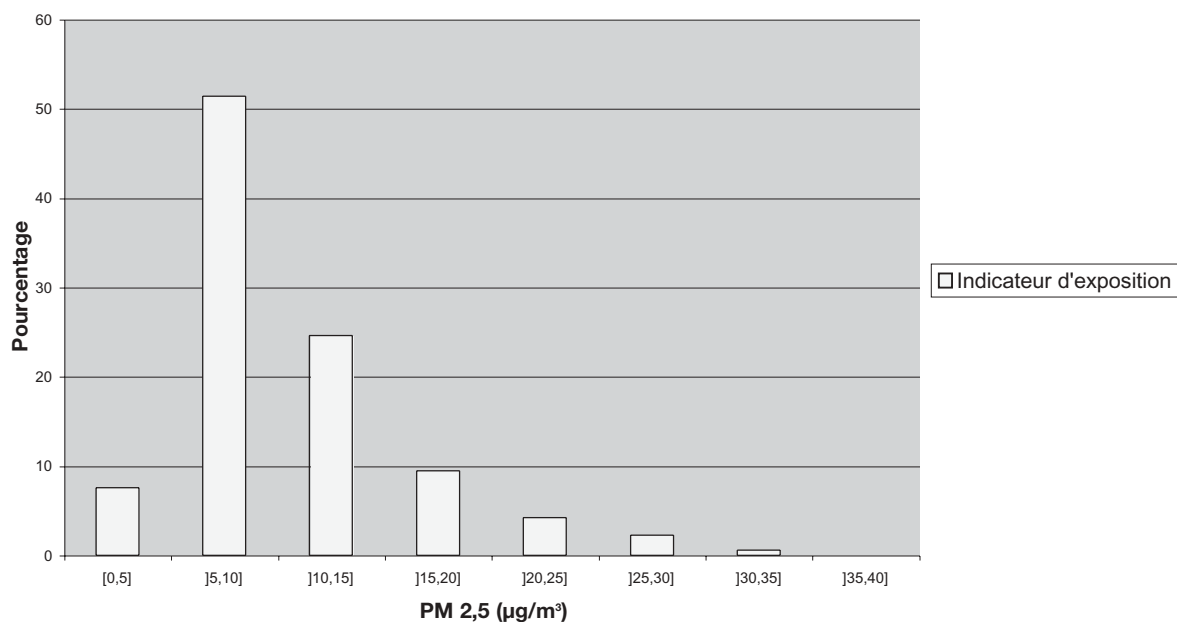
	Indicateur journalier d'exposition PM _{2,5}	Concentration moyenne journalière PM ₁₀
Moyenne ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	10,92	18,12
Médiane ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	9,00	17,00
Ecart-type($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,52	6,59
Centile 5 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	5,00	10,00
Centile 25 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	7,00	14,00
Centile 75 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	13,00	21,00
Centile 90 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	19,00	27,00
Centile 95 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	23,00	33,00
Minimum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	4,00	7,00
Maximum ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	34,00	42,00
Nombre de valeurs manquantes	7,00	4,00
% de valeurs manquantes	1,92	1,10

La distribution des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ observées à la station Bellevue est proche de celle obtenue pour la période 2000-2002.

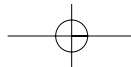
L'indicateur $I_{p2,5}$ d'exposition long terme à la pollution atmosphérique est la valeur moyenne de l'indicateur journalier d'exposition $I_{j2,5}$ soit $10,92 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

La figure FA5 illustre la distribution de l'indicateur journalier d'exposition construit à partir des concentrations en PM_{2,5}.

Figure FA5. PM_{2,5} - Distribution de l'indicateur journalier d'exposition



Par ailleurs les concentrations journalières en PM₁₀ et PM_{2,5} sont très bien corrélées puisque le coefficient de corrélation linéaire est de 0,88. En moyenne, le rapport des concentrations PM_{2,5} / PM₁₀ est égal à 0,59 sur la période avril 2002 – avril 2003.



Annexe 6

Calcul des probabilités de survie

L'objectif est de déterminer $s_{99,a}$, la probabilité de survie en 1999 pour une personne appartenant à la cohorte C_a composée des individus nés l'année a .

Données

Les données connues sont :

- les données du recensement, c'est à dire les effectifs N_a de la cohorte C_a à la date du 7 mars 1999 ;
- la distribution par âge des décès survenus en 1999. On notera D_x le nombre de décès survenus en 1999 au sein de la classe d'âge $[x, x+1[$.

Hypothèses

A défaut de connaître la date et l'âge de survenue des décès en 1999, le calcul des probabilités de survie nécessite d'émettre plusieurs hypothèses :

- hypothèses sur la date de survenue des décès : la mortalité journalière est considérée uniforme sur l'année 1999. De plus, les décès sont supposés survenir en milieu de journée.
- hypothèse sur l'âge de survenue des décès : à tout moment de l'année 1999, la répartition des âges est supposée uniforme au sein des classes d'âge $[1999-a, 2000-a[$ et $[1998-a, 1999-a[$.

Par ailleurs, la population d'étude est considérée fermée : les mouvements migratoires sur l'année 1999 sont nuls ou négligeables.

Méthode

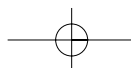
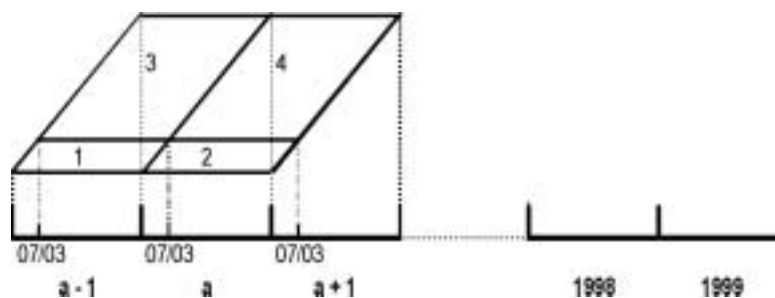
Déterminer $s_{99,a}$ consiste à calculer les effectifs N_{98} et N_{99} de la cohorte C_a au 31 décembre des années 1998 et 1999. La probabilité de survie est fournie par le rapport N_{99}/N_{98} .

Calcul des effectifs de la cohorte C_a au 31 décembre 1998

Les effectifs de la cohorte C_a au 31 décembre 1998 correspondent aux effectifs recensés à la date du 7 mars auxquels doivent être additionnés les décès survenant au sein de la cohorte C_a entre le 1^{er} janvier et le 7 mars 1999. Ces décès surviennent parmi les deux classes d'âge $[1999-a, 2000-a[$ et $[1998-a, 1999-a[$.

Calcul du nombre N_1 de décès survenus au sein de la classe d'âge $[1999-a, 2000-a[$ entre le 1^{er} janvier et le 7 mars 1999

Figure FA6. Date de naissance - classes d'âge $[1999-a, 2000-a[$ et $[1998-a, 1999-a[$



Le parallélogramme 1 de la figure FA6 regroupe, pour chaque journée de la période du 1^{er} janvier au 7 mars 1999, les dates de naissance des personnes qui appartiennent à la classe d'âge [1999-a , 2000-a[. Ainsi la base inférieure du parallélogramme 1 s'étend du 1^{er} janvier de l'année **a-1** au 1^{er} janvier de l'année **a**. Les individus nés entre ces deux dates appartiennent à la date du 1^{er} janvier 1999 à la classe d'âge [1999-a , 2000-a[. La base supérieure du parallélogramme 1 s'étend du 7 mars de l'année a-1 au 7 mars de l'année a. Les individus nés entre ces deux dates appartiennent à la date du 7 mars 1999 à la classe d'âge [1999-a , 2000-a[.

$D_{1999-a}/365$ décès surviennent le 7 mars 1999 au sein de la classe d'âge [1999-a , 2000-a[. Uniquement une partie de ces décès correspond à des personnes nées l'année a : la base supérieure du parallélogramme 1 s'étend sur les années **a-1** et **a**.

Le nombre $N1_{07-03}$ de décès, survenant le 7 mars 1999, parmi les personnes appartenant à la cohorte C_a et la classe d'âge [1999-a , 2000-a[est alors fourni par l'équation :

$$(6-1) \quad N1_{07-03} = (65,5/365) * (D_{1999-a} / 365)$$

Le nombre 65,5 provient du fait que le 7 mars est le 66^{ème} jour de l'année 1999.

De même, le nombre $N1_{06-03}$ de décès survenant le 6 mars 1999 parmi les personnes appartenant à la cohorte C_a et la classe d'âge [1999-a , 2000-a[est fourni par l'équation :

$$(6-2) \quad N1_{06-03} = (64,5/365) * (D_{1999-a} / 365)$$

Le calcul peut être reproduit selon un raisonnement identique pour chaque journée de la période du 1^{er} janvier au 7 mars 1999.

Donc entre le 1^{er} janvier et le 7 mars 1999, le nombre $N1$ de décès correspondant à des personnes appartenant à la classe d'âge [1999-a , 2000-a[est établi par l'équation :

$$(6-3) \quad N1 = (D_{1999-a} / (365 * 365)) * (0,5 + 1,5 + 2,5 + \dots + 65,5)$$

L'équation (6-3) peut être simplifiée après avoir identifié dans l'expression mathématique la somme des 66 premiers termes d'une suite arithmétique de raison 1 et de premier terme 0,5 :

$$(6-4) \quad N1 = (D_{1999-a} / (365 * 365)) * (66 * 66 / 2)$$

Calcul du nombre N2 de décès survenus au sein de la classe d'âge [1998-a , 1999-a[entre le 1^{er} janvier et le 7 mars 1999

Le nombre N2 est obtenu en menant le même raisonnement à partir du parallélogramme 2 de la figure FA6 qui regroupe, pour chaque journée de la période du 1^{er} janvier au 7 mars 1999, les dates de naissance des personnes appartenant à la classe d'âge [1998-a , 1999-a[:

$$(6-5) \quad N2 = (D_{1998-a} / (365 * 365)) * (299,5 + 300,5 + \dots + 364,5)$$

Après simplification l'équation s'écrit :

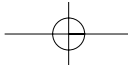
$$(6-6) \quad N2 = (D_{1998-a} / (365 * 365)) * (664 * 66 / 2)$$

Les effectifs N_{98} de la cohorte C_a au 31 décembre 1998 sont alors fournis par l'équation :

$$(6-7) \quad N_{98} = N_a + N1 + N2 = N_a + ((4 \ 356 * D_{1999-a} + 43 \ 824 * D_{1998-a}) / 266 \ 450)$$

Calcul des effectifs de la cohorte C_a au 31 décembre 1999

Les effectifs de la cohorte C_a au 31 décembre 1999 correspondent aux effectifs recensés à la date du 7 mars 1999 auxquels doivent être soustraits les décès survenant au sein de la cohorte C_a entre le 8 mars et le 31 décembre 1999. Ces décès surviennent parmi les deux classes d'âge [1999-a , 2000-a[et [1998-a , 1999-a[.



Calcul du nombre N3 de décès survenus au sein de la classe d'âge [1999-a , 2000-a[entre le 8 mars et le 31 décembre 1999

Le nombre N3 est obtenu en menant le même raisonnement à partir du parallélogramme 3 de la figure FA6 qui regroupe, pour chaque journée de la période du 8 mars au 31 décembre 1999, les dates de naissance des personnes appartenant à la classe d'âge [1999-a , 2000-a[:

$$(6-8) \quad N3 = (D_{1999-a} / (365 \cdot 365)) \cdot (66,5 + 67,5 + 68,5 + \dots + 364,5)$$

Après simplification l'équation s'écrit :

$$(6-9) \quad N3 = (D_{1999-a} / (365 \cdot 365)) \cdot (431 \cdot 299 / 2)$$

Calcul du nombre N4 de décès survenus au sein de la classe d'âge [1998-a , 1999-a[entre le 8 mars et le 31 décembre 1999

Le nombre N4 est obtenu en menant le même raisonnement à partir du parallélogramme 4 de la figure FA6 qui regroupe, pour chaque journée de la période du 8 mars au 31 décembre 1999, les dates de naissance des personnes appartenant à la classe d'âge [1998-a , 1999-a[:

$$(6-10) \quad N4 = (D_{1998-a} / (365 \cdot 365)) \cdot (0,5 + 1,5 + \dots + 298,5)$$

Après simplification l'équation s'écrit :

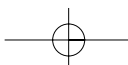
$$(6-11) \quad N4 = (D_{1998-a} / (365 \cdot 365)) \cdot (299 \cdot 299 / 2)$$

Les effectifs N₉₉ de la cohorte C_a au 31 décembre 1999 sont alors fournis par l'équation :

$$(6-12) \quad N_{99} = N_a - N3 - N4 = N_a - (128\,869 \cdot D_{1999-a} + 89\,401 \cdot D_{1998-a}) / 266\,450$$

La probabilité de survie s_{99,a} est donc fournie par l'équation :

$$(6-13) \quad s_{99,a} = (266\,450 \cdot N_a - 128\,869 \cdot D_{1999-a} - 89\,401 \cdot D_{1998-a}) / (266\,450 \cdot N_a + 4\,356 \cdot D_{1999-a} + 43\,824 \cdot D_{1998-a})$$



Annexe 7

Nantes. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie.

Utilisation des relations RR-I_{v1} et RR-I_{v3}

Tableau A15. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique
(Relation RR-I_{v1})

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999,2033]	De 30 à 65 ans	4,23 (1,08 – 8,27)
[1999,2043]	De 30 à 75 ans	10,48 (2,67 – 20,47)
[1999,2053]	De 30 à 85 ans	20,80 (5,29 – 40,69)
[1999,2063]	De 30 à 95 ans	32,28 (8,19 – 63,33)
[1999,2067]	De 30 à 99 ans	34,37 (8,71 – 67,49)

Tableau A16. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique
(Relation RR-I_{v3})

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999,2033]	De 30 à 65 ans	6,28 (2,14 – 11,18)
[1999,2043]	De 30 à 75 ans	15,53 (5,30 – 27,68)
[1999,2053]	De 30 à 85 ans	30,85 (10,52 – 55,05)
[1999,2063]	De 30 à 95 ans	47,95 (16,30 – 85,86)
[1999,2067]	De 30 à 99 ans	51,08 (17,34 – 91,58)

Annexe 8

Evolution des niveaux de pollution atmosphérique dans les villes américaines

Figure FA7. Extrait [8]

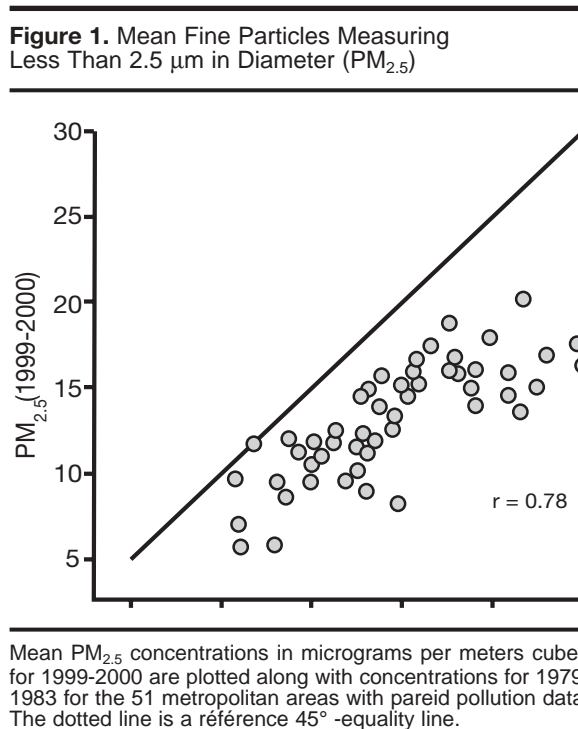
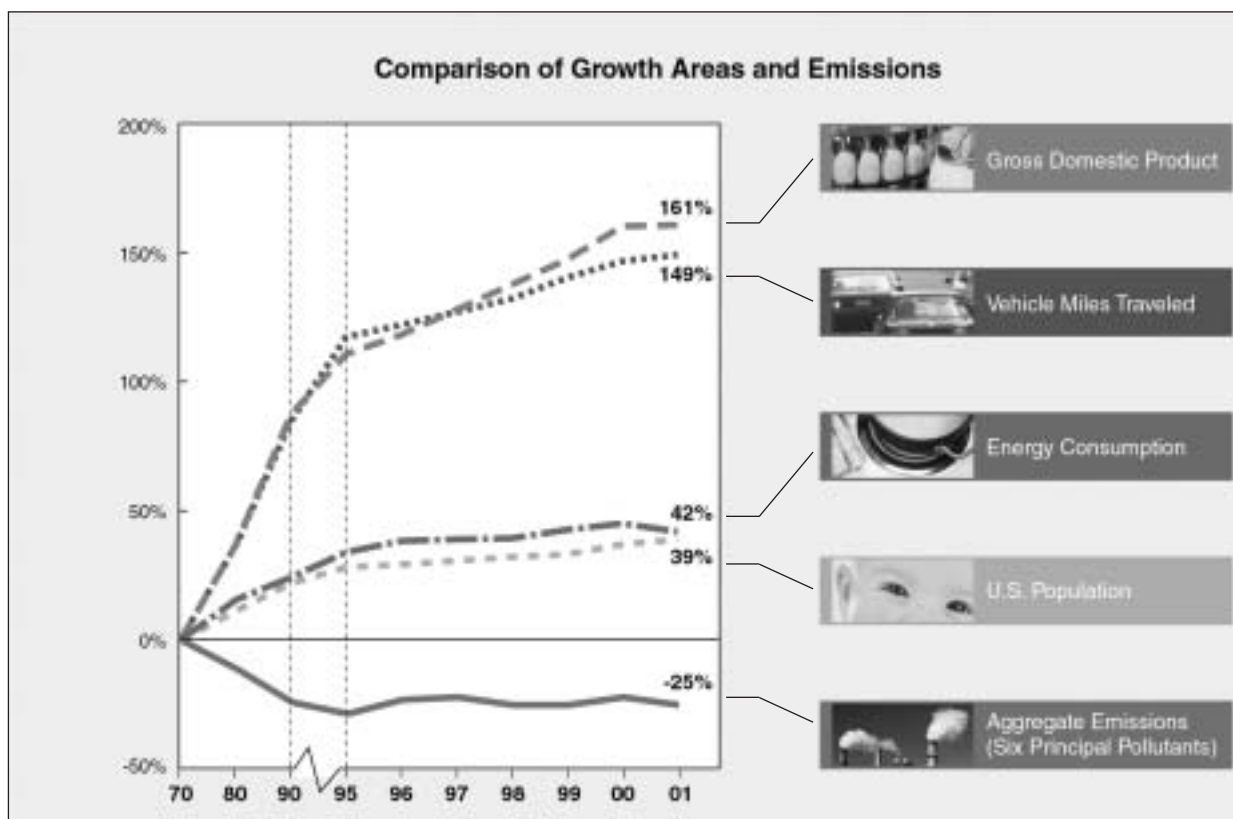


Figure FA8. Extrait [14]



Annexe 9

Brest et Nantes. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie.

Utilisation des probabilités de survie $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$

Les probabilités $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$ probabilités de survie en 1998 des cohortes nées l'année a , peuvent être approchées à partir des données du recensement général de la population de 1999 et des données de mortalité des années 1998 et 1999.

Brest

La distribution par âge des décès d'origine cardiopulmonaire et décès par cancer du poumon utilisée pour calculer $sr_{98,a}$ provient des données de mortalité recueillies à l'échelle du Finistère pour les années 1997, 1998 et 1999.

Tableau A17. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique
Utilisation des probabilités $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$ et de la relation issue de l'étude trinationale

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999,2033]	De 30 à 65 ans	7,62 (4,66 – 10,68)
[1999,2043]	De 30 à 75 ans	17,83 (10,90 – 25,01)
[1999,2053]	De 30 à 85 ans	33,46 (20,43 – 46,98)
[1999,2063]	De 30 à 95 ans	46,79 (28,51 – 65,85)
[1999,2067]	De 30 à 99 ans	48,23 (29,37 – 67)

Nantes

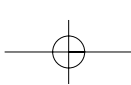
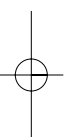
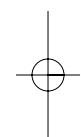
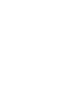
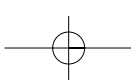
La distribution par âge des décès d'origine cardiopulmonaire et décès par cancer du poumon utilisée pour calculer $sr_{98,a}$ provient des données de mortalité recueillies à l'échelle de la Loire-Atlantique pour les années 1997, 1998 et 1999.

Tableau A18. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique
Utilisation des probabilités $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$ et de la relation issue de l'étude tri nationale

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999,2033]	De 30 à 75 ans	6,94 (4,24 – 9,72)
[1999,2043]	De 30 à 75 ans	16,89 (10,32 – 23,68)
[1999,2053]	De 30 à 85 ans	34,39 (21,01 – 48,25)
[1999,2063]	De 30 à 95 ans	55,01 (33,54 – 77,35)
[1999,2067]	De 30 à 99 ans	58,44 (35,61 – 82,23)

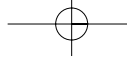
Tableau A19. Gain sanitaire exprimé en jours supplémentaires d'espérance de vie
Diminution de 25 % des niveaux de pollution atmosphérique
Utilisation des probabilités $s_{98,a}$ et $sr_{98,a}$ et de la relation $RR-I_{v2}$

Période	Age révolu de la cohorte	Jours supplémentaires d'espérance de vie
[1999,2033]	De 30 à 65 ans	6,05 (2,07 – 9,85)
[1999,2043]	De 30 à 75 ans	14,72 (5,02 – 23,97)
[1999,2053]	De 30 à 85 ans	29,96 (10,22 – 48,86)
[1999,2063]	De 30 à 95 ans	47,90 (16,28 – 78,34)
[1999,2067]	De 30 à 99 ans	50,88 (17,28 – 83,28)



Bibliographie

- [1] : Glorennec P., Nourry L. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération rennais. Cellule Interrégionale d'épidémiologie Ouest – Institut de veille sanitaire, avril 1999, 28 p. et annexes.
- [2] : Glorennec P., Nourry L. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération nantaise. Cellule Interrégionale d'épidémiologie Ouest – Institut de veille sanitaire, août 1999, 28 p. et annexes.
- [3] : Guillois-Bécel Y., Kerjan A. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération mancenne. Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de la Sarthe, novembre 2001, 25 p. et annexes.
- [4] : Künzli N., Kaiser R., Medina S., Studnicka M., Oberfeld G. Air pollution attributable cases: technical report on epidemiology. In: Health costs due to road traffic-related air pollution: an impact assessment project of Austria, France, and Switzerland. (Prepared for the third WHO Ministerial Conference on Environment and Health, London, United Kingdom, 1999). Bern, Switzerland: European Regional Office, World Health Organization, 1999. <http://www.airimpacts.org/documents/local/cases.pdf>
- [5] : Künzli N., Kaiser R., Medina S., et al. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *The Lancet* 2000; 356:95-801.
- [6] : Glorennec P., Quénel P. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique. Institut de veille sanitaire, juillet 1999, 31 p. et annexes.
- [7] : Fontelle J-P., Chang J-P., Audoux N., Levy C., Rivière E. Inventaires d'émissions dans l'atmosphère dans la cadre des Plans régionaux pour la qualité de l'air. Région Bretagne. Centre Interprofessionnel d'études de la pollution atmosphérique, octobre 1997.
- [8] : Duval L., Beguier S., Chang J-P., Cibick S., Druart A., Fontelle J-P. Actualisation de l'inventaire d'émissions dans l'atmosphère de la région des Pays-de-la-Loire. Centre Interprofessionnel d'Etudes de la pollution atmosphérique, décembre 2001.
- [9] : Pascal L., Cassadou S. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Actualisation du guide méthodologique. Recommandations provisoires pour les EIS court terme et long terme. Manuel d'utilisation du logiciel EIS-PA version 2.0. Institut de veille sanitaire, février 2003, 32 p. et annexes.
- [10] : Pope C.A. III, Burnett R.T., Thun M.J., Calle E.E., Krewski D., Ito K., Thurston G.D. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *Journal of American Medical Association* 2002; 287(9):1132-1141.
- [11] : Dockery D.W., Pope C.A. III, Xu X., et al. An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine* 1993; 329(24):1753-1759.
- [12] : Pope C.A. III, Thun M.J., Namboodiri M.M., Dockery D.W., Evans J.S., Speizer F.E., Heath C.W. Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine* 1995; 151:669-674.
- [13] : Quantification of the health effects of exposure to air pollution. Report of a WHO working group. Bilthoven, Netherlands. 20-22 November 2000. World Health Organization – European Centre For Environment And Health.
- [14] : Miller B.G., Hurley J.F. Theory and methods. Life table methods for quantitative impact assessments in chronic mortality. *Journal of Epidemiology and Community Health* 2003; 57:200-206
- [15] : Dockery D.W., Pope C.A. III. Acute respiratory effects of particulate air pollution. *Annual Review of Public Health* 1994; 15:107-132.
- [16] : U.S. Environmental Protection Agency. Air trends. Six principal pollutants <http://www.epa.gov/airtrends/sixpoll.html>
- [17] : Hoek G., Brunekreef B., Goldbohm S., Fischer P., Van Den Brandt P.A.. Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *The Lancet* 2002; 360:1203-1209.
- [18] : Peters A., Pope C.A. III. Commentary. Cardiopulmonary mortality and air pollution. *The Lancet* 2002; 360:1184-1185.
- [19] : Künzli N., Medina S., Kaiser R., Quénel P., Horak, F. Jr., Studnicka M. Assessment of deaths attributable to air pollution: Should we use risk estimates based on time series or on cohort studies ? – *American Journal of Epidemiology* 2001; 153 (11):1050-1055.



Notes

