

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Agglomération de Bayonne
Impact à court et long terme

1	Contexte	p. 4
2	Objectifs	p. 4
3	Matériel et méthodes	p. 5
	3.1 Choix de la zone d'étude	p. 5
	3.2 Évaluation de l'impact sanitaire	p. 5
4	Résultats	p. 10
	4.1 Caractérisation de la zone d'étude	p. 10
	4.2 Description des indicateurs de pollution	p. 12
	4.3 Description des indicateurs sanitaires	p. 14
	4.4 Caractérisation du risque à court terme	p. 15
	4.5 Impact sanitaire à long terme	p. 20
5	Discussion	p. 21
	5.1 Rappels des principaux résultats	p. 21
	5.2 Hypothèses, limites et incertitudes	p. 22
	5.3 Interprétation des résultats	p. 23
6	Conclusion	p. 23
	Références bibliographiques	p. 24

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine Agglomération de Bayonne Impact à court et long terme

Réalisation de l'étude

Cellule interrégionale d'épidémiologie d'Aquitaine :
Noémie Fortin, Sophie Larrieu, Laurent Filleul

Ont contribué à cette étude

AirAQ (Association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine) :
Florence Péron, Laurent Chaix

Direction départementale des affaires sanitaires et sociales des Pyrénées-Atlantiques :
Michel Noussitou

Direction régionale des affaires sanitaires et sociales d'Aquitaine :
Claire Morisson

Agence régionale d'hospitalisation :
Christophe Maury

Abréviations

Ademe	Agence de l'environnement et de la maîtrise de l'énergie
AirAQ	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine
APHEA	Air Pollution and Health: a European Approach
APHEIS	Air Pollution and Health: a European Information System
BAB	Bayonne, Anglet et Biarritz
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
EIS	Évaluation de l'impact sanitaire
IC	Intervalle de confiance
Insee	Institut national de la statistique et des études économiques
Inserm	Institut national de la santé et de la recherche médicale
InVS	Institut de veille sanitaire
NA	Nombre d'événements attribuables
NO₂	Dioxyde d'azote
O₃	Ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
PM_{2,5}	Particules en suspension de diamètre inférieur à 2,5 µm
PM₁₀	Particules en suspension de diamètre inférieur à 10 µm
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PRQA	Plan régional pour la qualité de l'air
Psas-9	Programme national de surveillance air et santé dans 9 villes françaises
RR	Risque relatif
SO₂	Dioxyde de soufre

Glossaire

Dioxyde d'azote (NO₂): le dioxyde d'azote est principalement émis par les véhicules (près de 60 %) et les installations de combustion. C'est un gaz irritant qui pénètre dans les plus fines ramifications des voies respiratoires. Il peut entraîner une altération de la fonction respiratoire, une hyperréactivité bronchique chez l'asthmatique et un accroissement de la sensibilité des bronches aux infections chez l'enfant.

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 : ici, contact entre la pollution atmosphérique urbaine et la population d'étude.

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

Impact sanitaire : ici, nombre d'événements 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 le jour même ou le lendemain de l'exposition.

Impact sanitaire à long terme : impact sanitaire qui se manifeste plusieurs années après la survenue de l'exposition et donc attribuable à une exposition chronique.

Indicateur d'exposition : ici, variable dont la grandeur est fonction de l'intensité de l'exposition à la pollution atmosphérique.

Indicateur sanitaire : variable correspondant à un nombre d'événements 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.

Intervalle de confiance : intervalle autour de l'estimation ponctuelle d'un paramètre construit au moyen de méthodes statistiques afin de contenir la "vraie" valeur du paramètre avec une probabilité de 0,95.

Morbidité : nombre de personnes souffrant d'une maladie au sein d'une population pendant une période déterminée. Dans cette étude, les indicateurs de morbidité sont les nombres d'admissions hospitalières pour causes respiratoire, cardio-vasculaire et cardiaque.

Mortalité : nombre de décès au sein d'une population pendant une période déterminée. Dans cette étude, nous nous sommes intéressés à la mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles), cardio-vasculaire et respiratoire.

Ozone (O₃): polluant secondaire résultant de la transformation photochimique de certains polluants primaires dans l'atmosphère sous l'effet des rayonnements ultra-violet qui peut provoquer une altération des voies respiratoires les plus fines et des irritations oculaires.

Particules PM₁₀ et PM_{2,5} : polluants particulaires de tailles très variables (diamètre inférieur à 10 µm pour les PM₁₀ et inférieur à 2,5 µm pour les PM_{2,5}) dont les plus fines peuvent, surtout chez l'enfant, irriter les voies respiratoires inférieures et altérer la fonction respiratoire dans son ensemble. Certaines particules ont des propriétés mutagènes et cancérigènes.

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

Risque relatif : rapport du risque encouru par une population exposée à un niveau donné de pollution par rapport au risque de cette même population si elle était exposée différemment.

1 | Contexte

De nombreuses études épidémiologiques ont montré qu'il existait un lien entre pollution atmosphérique et santé. À court terme, une augmentation des polluants peut entraîner une augmentation du risque de mortalité toutes causes, respiratoire et cardio-vasculaire [1-4], ainsi qu'une augmentation d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires et respiratoires. À long terme, la pollution atmosphérique peut également avoir un effet sur la mortalité anticipée et entraîner une diminution de l'espérance de vie [5-9], notamment chez les personnes âgées [10].

Le Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA) prévu par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 [11] a pour objet de fixer les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique sur la santé. Il s'appuie, entre autres, sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé publique. Celle-ci consiste à appliquer à des données locales les relations mises en évidence dans le cadre de grandes études épidémiologiques entre l'exposition à la pollution atmosphérique et certains effets sanitaires, afin de quantifier l'impact de la pollution dans différentes villes

pour fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air fondés sur des critères locaux de santé publique.

C'est dans ce contexte que la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Aquitaine a réalisé une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique dans les principales agglomérations de la région Aquitaine, et notamment dans celle de Bayonne. Cette démarche, tout d'abord recommandée par l'Organisation mondiale de la santé (OMS), est développée dans plusieurs villes françaises par l'Institut de veille sanitaire (InVS) depuis quelques années [12]. Elle s'appuie sur le guide méthodologique publié en juin 2003 par l'InVS accompagné d'un classeur Excel permettant de réaliser les calculs nécessaires [13]. Il s'agit d'une méthode standardisée permettant d'évaluer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à partir des données recueillies en routine. Cette méthode est basée sur une démarche d'analyse de risque qui nécessite de disposer de données permettant d'estimer l'exposition des populations et des relations exposition-risque caractérisant les relations entre des indicateurs d'exposition et des indicateurs de santé.

2 | Objectifs

L'objectif général de cette étude est d'évaluer l'impact sanitaire à court et à long terme de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Bayonne.

Plus précisément, les objectifs sont les suivants :

- estimer l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité toutes causes, respiratoire et cardio-vasculaire, et sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques ;
- estimer l'impact sanitaire à long terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité toutes causes ;

- illustrer l'importance des effets de la pollution atmosphérique sur la santé ;
- comparer l'efficacité en terme de gain sanitaire pour la population de différents scénarios de réduction de la pollution.

À terme, cette étude ainsi que les évaluations réalisées parallèlement dans d'autres villes pourront orienter les décisions et servir d'outil de travail dans l'objectif d'améliorer la qualité de l'air en mettant en place des mesures de prévention efficaces.

3 | Matériel et méthodes

3.1 | Choix de la zone d'étude

Une EIS ne peut être réalisée que dans une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être correctement estimée et considérée comme homogène. Cela implique que la zone d'étude définie réponde aux critères suivants :

- les communes doivent être continues en terme d'urbanisation afin de respecter au mieux la condition de l'homogénéité de la pollution sur la zone (construction d'un seul indicateur d'exposition pour toute la zone) ;
- les débits d'émissions des sources de pollution doivent pouvoir être considérés comme homogènes sur la zone ;
- 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 sur la zone d'étude doivent être qualitativement et quantitativement disponibles et validées avec des capteurs bien placés

au regard de la mesure de l'exposition moyenne de la population.

Pour obtenir une zone d'étude correspondant à ces critères, nous avons tout d'abord déterminé une zone restreinte englobant les communes pour lesquelles nous souhaitons réaliser l'EIS, où la pollution est mesurée en routine : Bayonne, Anglet et Biarritz (BAB). Puis, nous avons inclus les communes bordant cette zone qui avaient une proximité géographique permettant de supposer que les concentrations en polluants étaient homogènes.

Le choix définitif de la zone d'étude a été fait après consultation d'un ingénieur métrologue qui a confirmé, en fonction de la topographie de la zone et des vents dominants, l'hypothèse d'homogénéité de l'exposition.

Une fois la zone d'étude définie, nous avons réalisé l'EIS dans l'agglomération de Bayonne en suivant la méthodologie de l'InVS.

3.2 | Évaluation de l'impact sanitaire

La méthodologie d'une EIS n'est pas celle d'une étude épidémiologique mais se rapproche plutôt de celle d'une étude d'évaluation de risque. Elle ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets néfastes sur la santé mais à en quantifier l'impact au niveau local.

Cette étude repose ainsi sur les principes méthodologiques d'EIS de la pollution atmosphérique urbaine définis par l'InVS et s'appuie sur un guide proposé au

niveau national puis appliqué dans différentes villes [13]. La méthodologie se décompose en quatre étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque, caractérisation du risque. Les étapes 1 et 3 sont communes pour toutes les villes et sont dictées par le guide méthodologique réalisé par l'InVS. En revanche, les étapes 2 et 4 sont spécifiques à chaque ville et sont donc développées par les Cire.

3.2.1 | Identification des dangers

Cette première étape consiste à déterminer les dangers liés à un polluant à partir de données toxicologiques et épidémiologiques. Elle permet donc de disposer de données fiables concernant les dangers sanitaires de la pollution atmosphérique qui peuvent ensuite être transposées à différentes villes. Elle a été réalisée par l'InVS qui a recensé et synthétisé les différentes études permettant de quantifier les effets des différents polluants sur la santé.

Les effets connus de la pollution atmosphérique sur la santé des populations urbaines sont des effets sur la mortalité toutes causes, cardio-vasculaire et respiratoire ainsi que des effets sur la morbidité étudiés au travers des admissions hospitalières pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques [1-9].

3.2.2 | Estimation de l'exposition

Cette deuxième étape permet de quantifier l'exposition à laquelle est soumise la population étudiée à partir du traitement et de l'analyse des données de pollution collectées en routine par le réseau local de mesure de la qualité de l'air.

Recueil des données de qualité de l'air

Les données de pollution nous permettant d'estimer l'exposition ont été recueillies auprès d'Airaq, l'association chargée de la surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine créée en 1995 et membre du réseau national Atmo.

Cette association mesure quotidiennement les concentrations en différents polluants dans 12 villes en Aquitaine dont Bayonne, les valide, les exploite et les transmet aux pouvoirs publics et au grand public par l'intermédiaire des médias, ainsi qu'aux institutions qui en font la demande.

Construction des indicateurs d'exposition

Les polluants retenus dans cette étude sont ceux visés par le décret du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et l'environnement [14]. Pour cette évaluation, seuls le NO_2 , l' O_3 et les PM_{10} ont été retenus car les concentrations en fumées noires ne sont pas mesurées en routine sur la ville de Bayonne et les concentrations en SO_2 sont négligeables depuis plusieurs années.

L'estimation de l'exposition de la population repose sur l'hypothèse selon laquelle, pour chaque polluant considéré et chaque jour, la moyenne des niveaux mesurés par les capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles. Il était donc nécessaire de construire, pour chaque polluant, un indicateur d'exposition reflétant au mieux les niveaux auxquels la population est confrontée.

Trois stations de mesures étaient disponibles sur le BAB dont deux stations urbaines de fond situées à Bayonne et Biarritz et une station de proximité automobile installée à Anglet. L'objectif étant de sélectionner les stations représentatives de l'exposition moyenne ambiante de l'ensemble de la population, seules les stations de fond ont été considérées pour la construction des indicateurs d'exposition.

Pour chaque station, les niveaux journaliers correspondent à des niveaux d'indicateurs de pollution exprimés en $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour chaque jour, les niveaux de NO_2 et des PM_{10} correspondent à des moyennes sur 24 heures, tandis que les niveaux d' O_3 correspondent au maximum des moyennes glissantes sur 8 heures. Ces données ont été validées par le réseau de mesure Airaq et respectent la règle des 75 % concernant les valeurs manquantes [15], à savoir que, pour qu'une donnée journalière soit valide, il est nécessaire de disposer au minimum de 18 mesures horaires sur 24 heures ; dans le cas contraire, la valeur journalière est laissée manquante.

Pour chaque polluant, un indicateur d'exposition a donc été construit en respectant les critères suivants :

- les niveaux des indicateurs de pollution des deux stations retenues devaient être proches et refléter les mêmes phénomènes de pollution ;
- ces niveaux devaient également être bien corrélés entre eux ;
- les deux stations devaient pouvoir être qualifiées, du point de vue de leur environnement, comme représentatives de l'exposition de la population d'étude.

Pour les données de pollution, la période d'étude retenue pouvait aller de 1 à 5 ans selon la disponibilité. Ici, les données de pollution étaient disponibles pour les années 1999 à 2004 mais étaient parfois incomplètes.

Nous avons donc exclu :

- l'année 2003 en raison de la période de canicule et de la pollution inhabituelle alors observée, en particulier pour l' O_3 ;
- l'année 2001 en raison d'un dysfonctionnement d'une station de mesure pour l' O_3 .

Il s'agissait ensuite de choisir une période de mesure avec le moins de données manquantes possible ; l'année 2002 était celle qui remplissait le mieux ce critère.

Nous avons donc calculé sur l'année 2002, pour chaque polluant retenu, un indicateur journalier d'exposition qui était la moyenne arithmétique des niveaux journaliers enregistrés par les deux capteurs sélectionnés.

3.2.3 | Choix des relations exposition-risque

Dans son guide méthodologique [13], l'InVS a retenu des relations exposition-risque issues d'études épidémiologiques réalisées en population générale et s'intéressant directement aux liens existant entre la pollution de l'air et la santé de l'homme. Les études multicentriques et européennes ont été privilégiées. Les relations utilisées pour cette EIS sont présentées dans le tableau 1, où les risques relatifs (RR) des fonctions exposition-risque apparaissent en gras lorsqu'ils sont significatifs.

Impact sanitaire à court terme

L'impact sanitaire à court terme correspond aux effets d'une exposition à la pollution à très court terme puisqu'il s'intéresse aux répercussions sur la santé le jour même et le lendemain (exposition à 0-1 jour).

Le tableau 1 indique les RR à court terme concernant la mortalité et les admissions hospitalières pour une augmentation de 10 µg/m³ du niveau de pollution, c'est-à-dire le rapport du risque encouru par une population exposée à un niveau donné de pollution par rapport au

risque de cette même population si elle était exposée à des niveaux de 10 µg/m³ plus bas. Ainsi, pour la mortalité toutes causes non accidentelles, le RR de 1,006 associé à une augmentation de 10 µg/m³ du niveau de PM₁₀ correspond à une augmentation de 0,6 % du risque de décéder suite à une élévation du niveau de PM₁₀ de 10 µg/m³.

Pour les indicateurs de mortalité, les fonctions exposition-risque que nous avons utilisées sont issues du Psas-9 phase II [16] pour le NO₂ et l'O₃. En revanche, pour les PM₁₀, ce sont celles produites par le programme APHEA 2 [2] qui ont été utilisées.

Concernant les indicateurs sanitaires relatifs aux admissions hospitalières, les résultats des études européennes APHEA 1 [3] et APHEA 2 [2] ont été utilisés pour les pathologies respiratoires ; pour les pathologies cardio-vasculaires, ceux du Psas-9 [16] ont été retenus et pour les pathologies cardiaques, les seuls résultats disponibles étaient ceux provenant d'APHEA 2 [2] pour les PM₁₀ uniquement.

Tableau 1 - RR de mortalité (respiratoire, cardio-vasculaire et toutes causes) et d'admissions hospitalières (pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques) estimés pour une exposition à 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ du niveau des indicateurs de pollution

	PM ₁₀		NO ₂		O ₃	
	RR	IC 95 %	RR	IC 95 %	RR	IC 95 %
Mortalité						
<i>Respiratoire</i>			1,013²	[1,005-1,021]	1,012²	[1,006-1,019]
<i>Cardio-vasculaire</i>			1,012²	[1,005-1,018]	1,011²	[1,004-1,018]
<i>Toutes causes</i>	1,006¹	[1,004-1,008]	1,010²	[1,007-1,013]	1,007²	[1,003-1,010]
Admissions hospitalières						
<i>Pathologies respiratoires</i>						
15-64 ans			1,002 ³	[0,997-1,007]	1,004 ³	[0,998-1,010]
≥ 65 ans	1,009¹	[1,006-1,013]	1,004 ³	[0,996-1,012]	1,008³	[1,004-1,014]
<i>Pathologies cardio-vasculaires</i>						
Hiver			1,010²	[1,006-1,014]		
Été			1,012²	[1,007-1,017]		
<i>Pathologies cardiaques</i>						
Tous âges	1,005¹	[1,002-1,008]				
≥ 65 ans	1,007¹	[1,004-1,010]				

¹ Source : APHEA 2.

² Source : Psas-9.

³ Source : APHEA 1.

EIS à long terme

Pour l'EIS à long terme, les seules relations exposition-risque fiables dont nous disposons concernent les particules. Nous n'avons donc pas pu nous intéresser aux autres polluants. Le guide de l'InVS préconise d'utiliser la fonction exposition-risque utilisée dans

3.2.4 | Caractérisation du risque

Cette étape permet de quantifier l'impact sanitaire en calculant un nombre d'événements attribuables à un indicateur d'exposition donné pour un indicateur sanitaire donné sur la période d'étude choisie. Elle consiste à appliquer les relations exposition-risque préconisées par l'InVS aux données locales de pollution, de mortalité et de morbidité collectées pour cette étude.

Recueil des indicateurs sanitaires

Nous avons recueilli les indicateurs sanitaires qui ont été recensés par l'InVS comme pouvant être influencés par la pollution atmosphérique urbaine, afin d'appliquer dans l'agglomération de Bayonne les relations exposition-risque décrites ci-dessus.

Les données de mortalité pour les personnes domiciliées dans la zone d'étude ont été obtenues auprès du service CépiDc de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm).

Les données de morbidité sont issues d'une base de données régionale, élaborée à partir des informations transmises par les établissements de soins, dans le cadre du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Ce fichier recense la totalité des hospitalisations dans un établissement sur une période donnée. Pour chaque séjour, sont également enregistrés le diagnostic principal l'ayant motivé, ainsi que le code postal de la commune de résidence du patient. Nous avons donc ainsi pu extraire le nombre d'admissions hospitalières pour causes respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques survenues pour les personnes domiciliées dans notre zone d'étude pendant la période choisie.

le cadre de l'étude trinationale [7] relative à l'impact des PM_{10} sur la mortalité toutes causes. Le RR de cette mortalité à long terme estimé pour une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} est de 1,043 (IC 95 % = [1,026-1,061]).

Pour ces données sanitaires, la période retenue devait être d'une année et nous avons donc choisi l'année la plus récente disponible, à savoir : 2001 pour la mortalité et 2002 pour les admissions hospitalières.

Principe du calcul de l'EIS

Dans la démarche d'évaluation de risque, le nombre d'événements sanitaires attribuables à une exposition donnée est calculé à partir du RR associé à l'exposition et du nombre moyen d'événements sanitaires survenus au cours de la période considérée selon la formule suivante :

$$PA = f(RR-1)/(1+f(RR-1)), \text{ avec}$$

- PA = proportion d'événements sanitaires attribuables à l'exposition ;
- RR = risque relatif associé à l'exposition ;
- f = fraction de la population exposée (prévalence de l'exposition).

Or, dans le cas de la pollution atmosphérique :

- $f = 1$ car toute la population est exposée au niveau de pollution retenu ;
- $RR = RR_{\Delta}$: excès de risque associé à un différentiel de pollution Δ , donné par la relation exposition-risque associée au polluant et à l'indicateur sanitaire étudiés.

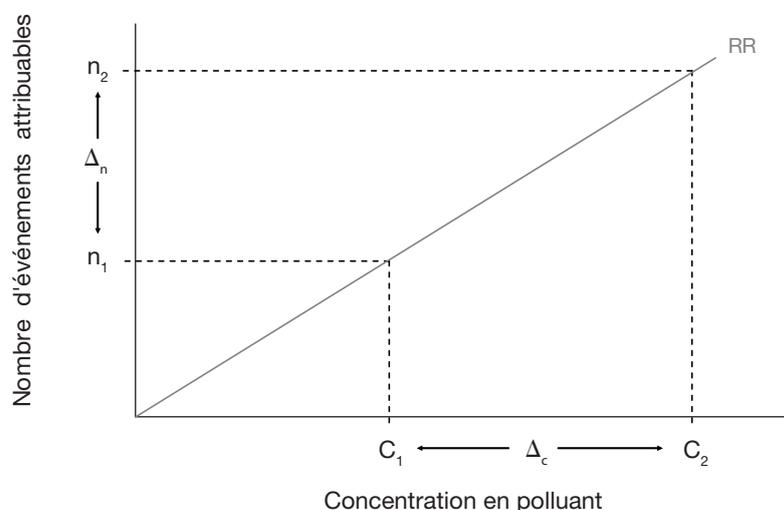
Le nombre d'événements attribuables NA est donc calculé pour un différentiel de pollution selon la formule simplifiée suivante :

$$NA = ((RR_{\Delta} - 1)/RR_{\Delta}) * N, \text{ avec}$$

N = nombre d'événements sanitaires sur la période considérée.

Le principe de la démarche d'EIS est représenté dans la figure 1.

Figure 1- Principe du calcul d'EIS de la pollution



Le RR provient d'une étude épidémiologique dont les résultats sont considérés comme pouvant être extrapolés dans les villes françaises. Il permet de connaître, pour chaque concentration en polluants C_i , le nombre de cas n_i attribuables à la pollution ; ainsi, on peut également déterminer une variation du nombre d'événements Δ_n attribuables à une variation des concentrations Δ_c .

Pour estimer l'impact global de la pollution atmosphérique, on fixe C_1 à une valeur très basse en dessous de laquelle il serait impossible de descendre même en mettant en place des mesures très strictes de réduction de la pollution atmosphérique et C_2 prend la valeur des concentrations journalières mesurées. En projetant ces valeurs journalières sur la courbe dose-réponse, on obtient ainsi :

- n_1 , nombre de décès attribuables à la concentration en polluant C_1 ;
- n_2 , nombre de décès attribuables à la concentration en polluant C_2 ;
- Δ_n , nombre de décès attribuables au différentiel de pollution Δ_c .

Pour chaque jour, on obtient ainsi un nombre de cas attribuables, ces cas étant ensuite additionnés pour obtenir le nombre annuel.

Pour estimer le gain sanitaire pouvant être obtenu par une réduction de la pollution, le principe est le même. C_2 prend la valeur des concentrations journalières mesurées et on fixe C_1 ou Δ_c en fonction du scénario que l'on veut tester. On obtient ainsi les gains quotidiens pouvant

être obtenus en ramenant les concentrations observées à une certaine valeur ou en les abaissant d'un certain pourcentage, que l'on additionne ensuite pour obtenir le gain sanitaire annuel.

En pratique, le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique est calculé pour chacun des indicateurs d'exposition et pour chaque journée de la période d'étude considérée. L'impact sanitaire sur l'année et éventuellement saisonnier est ensuite obtenu en additionnant les événements sanitaires attribuables pour chaque jour, l'été allant du 1^{er} avril au 30 septembre.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine. Cependant, les RR associés à chaque indicateur n'étant pas indépendants, les nombres d'événements attribuables aux indicateurs de pollution ne sont pas cumulables. L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est donc estimé comme étant au minimum égal au plus grand nombre d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudiés.

En pratique, cette étape de caractérisation du risque a été réalisée sous Excel grâce à une feuille de calcul développée par l'InVS [13] et nommée EIS-PA. Cette application permet de réaliser de manière automatisée et standardisée une EIS pour différents indicateurs de pollution atmosphérique, différents indicateurs sanitaires et selon différents scénarios préétablis.

Nombre d'événements attribuables et scénarios de réduction de la pollution

Dans un premier temps, nous avons déterminé le nombre d'événements anticipés attribuables aux niveaux de pollution atmosphérique observés au cours d'une année.

Dans un second temps, nous avons utilisé différents scénarios de réduction des émissions polluantes. Nous avons donc pu comparer l'impact d'une diminution des niveaux quotidiens de pollution atmosphérique à celui d'une suppression des épisodes importants de pollution.

Pour l'EIS à court terme, les gains sanitaires liés aux scénarios suivants ont été retenus [13] :

- scénario 1 : diminution des niveaux journaliers dépassant les objectifs de qualité fixés par le décret du 15 février 2002 [14] ;
- scénario 2 : diminution des niveaux de 25 % chaque jour pour chaque polluant.

Pour l'EIS à long terme, quatre scénarios de réduction ont été testés [13] :

- scénario 1 : diminution de la moyenne annuelle des PM_{10} au niveau de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2005 ;
- scénario 2 : diminution de la moyenne annuelle des PM_{10} au niveau de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2010 ;
- scénario 3 : diminution de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle des PM_{10} ;
- scénario 4 : diminution de 25 % de la moyenne annuelle des PM_{10} .

Ces quatre scénarios ne concernent que les PM_{10} car les relations exposition-risque ne sont connues à long terme que pour ce polluant.

4 | Résultats

4.1 | Caractérisation de la zone d'étude

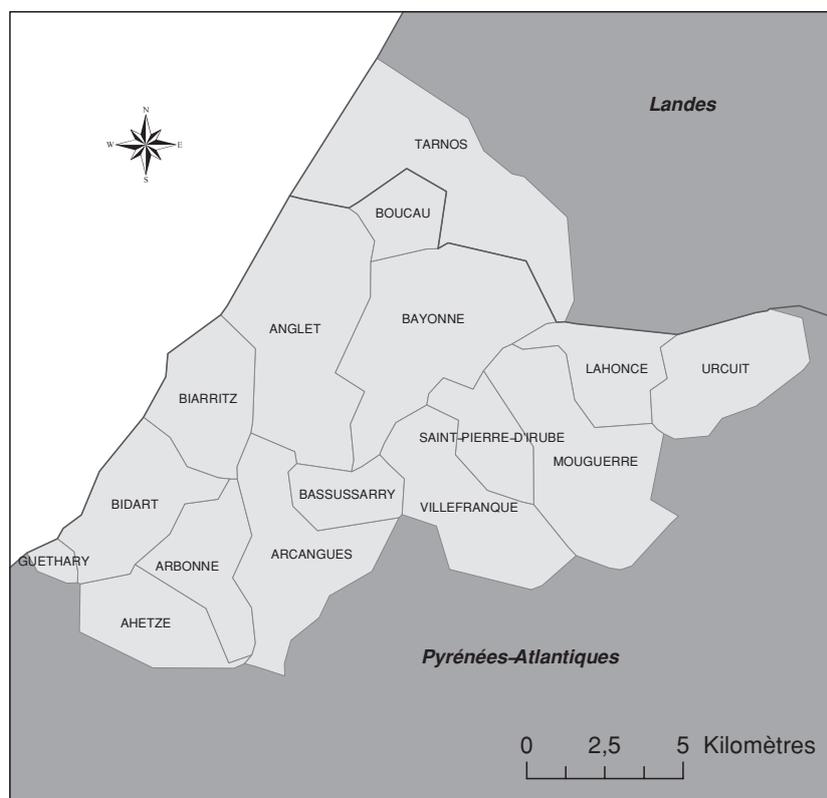
4.1.1 | Description de la zone

Nous avons tout d'abord sélectionné le BAB sur lequel sont disposés les capteurs permettant la mesure des niveaux de polluants atmosphériques. Puis, nous avons retenu les communes limitrophes dans lesquelles la pollution atmosphérique pouvait être considérée comme homogène. Enfin, nous avons également inclus trois communes (Ahetze, Guéthary et Urcuit) ayant le même code postal que d'autres communes de la zone et que nous ne pouvions par conséquent pas exclure ; en effet, les données du PMSI étant basées sur les codes postaux, il fallait inclure ou exclure l'ensemble des communes présentant le même code postal.

De plus, ces villes étaient assez proches géographiquement pour être considérées comme soumises à des niveaux de pollution équivalents.

Au final, la zone d'étude que nous avons retenue pour réaliser notre EIS de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Bayonne comportait 16 communes : Ahetze, Anglet, Arbonne, Arcangues, Bassussary, Bayonne, Biarritz, Bidart, Boucau, Guéthary, Lahonce, Mouguerre, Saint-Pierre-d'Irube, Tarnos, Urcuit et Villefranque. Dans la suite du rapport, cette zone d'étude représentée sur la figure 2 sera dénommée "Bayonne".

Figure 2 - Zone d'étude de Bayonne



La zone d'étude est incluse dans le département des Pyrénées-Atlantiques. Ce département, d'une superficie de 7 645 km², compte 600 018 habitants. Il fait partie de la région Aquitaine, est limitrophe des départements des Landes, du Gers, des Hautes-Pyrénées ainsi que de l'Espagne et possède une côte sur l'Océan Atlantique.

Le climat des Pyrénées-Atlantiques est un climat océanique atténué et l'ensemble de la zone est situé sur un vaste plateau de faible altitude, sans obstacle majeur à la dispersion des vents et donc des polluants atmosphériques. Une seule commune de la zone, Tarnos, fait partie du département des Landes.

4.1.2 | Population et établissements de soins

Densités de population

Selon le dernier recensement Insee de 1999 [18], les 16 communes de la zone regroupent 148 742 habitants sur une superficie d'environ 222 km². La densité globale est de 671 hab./km².

Le tableau 2 présente la répartition des populations au sein de chaque commune, les densités de population correspondantes ainsi que leur superficie.

Tableau 2 - Répartition de la population sur la zone d'étude, 1999 - Source : recensement Insee 1999

Code postal	Nom	Nbre habitants	Superficie (km ²)	Densité (hab./km ²)
64009	Ahetze	1 318	10,6	124,8
64024	Anglet	35 263	26,9	1 309,4
64035	Arbonne	1 375	10,6	129,8
64038	Arcangues	2 733	17,5	156,4
64100	Bassussarry	1 817	6,5	279,1
64102	Bayonne	40 078	21,7	1 848,6
64122	Biarritz	30 055	11,7	2 577,6
64125	Bidart	4 670	12,1	384,4
64140	Boucau	7 007	5,8	1 203,9
64249	Guéthary	1 284	1,4	917,1
64304	Lahonce	1 890	9,5	199,6
64407	Mouguerre	3 765	22,6	166,8
64496	Saint-Pierre d'Irube	3 873	7,7	504,3
40312	Tarnos	10 076	26,3	383,7
64540	Urcuit	1 796	13,7	131,2
64558	Villefranque	1 742	17,2	101,5
Total		148 742	221,6	671,2

Les établissements de soins

Les établissements de soins présents dans la zone d'étude et susceptibles de recevoir les patients souffrant des pathologies retenues pour cette évaluation (pathologies respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques) sont au nombre de 7, dont 1 centre hospitalier et 6 établis-

sements privés. Seule une clinique chirurgicale, connue pour ne pratiquer que des interventions programmées dont la survenue ne peut pas être liée à pollution atmosphérique, a été exclue.

4.2 | Description des indicateurs de pollution

Les deux stations urbaines de fond retenues mesurent le NO₂, l'O₃ et les PM₁₀ sur l'agglomération de Bayonne. Les concentrations de ces trois polluants mesurées au cours de l'année 2002 sur ces deux stations étaient bien corrélées entre elles voire très fortement corrélées

(notamment pour l'O₃ et les PM₁₀ avec un coefficient de 0,8). Ces deux stations ont donc été utilisées dans la construction des indicateurs d'exposition dont les statistiques descriptives sont présentées dans le tableau 3.

Tableau 3 - Description des indicateurs d'exposition en $\mu\text{g}/\text{m}^3$, Bayonne, 2002

	O ₃ Été	NO ₂ Année	NO ₂ Été	NO ₂ Hiver	PM ₁₀ Année	PM ₁₀ Été	PM ₁₀ Hiver
Moyenne	79,1	20,1	17,0	23,1	25,0	25,9	24,2
Écart-type	19,3	7,6	5,8	8,0	11,3	9,2	13,2
Minimum	31,5	5,5	5,5	8,0	6,0	8,0	6,0
Maximum	129,6	46,0	39,5	46,0	76,5	57,0	76,5
P5	51,1	9,5	8,5	11,0	11,0	15,0	9,0
P10	54,8	11,0	10,5	13,0	12,0	16,5	11,0
Q1	66,5	14,5	13,0	17,1	17,0	19,5	14,2
Médiane	78,6	19,0	16,0	23,0	23,0	24,0	20,0
Q3	91,0	25,0	21,0	29,0	32,0	31,2	32,0
P90	103,2	30,5	24,9	33,0	39,5	38,3	41,4
P95	108,5	33,0	27,5	37,5	44,0	42,4	46,9
% valeurs manquantes	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Dans un premier temps, nous avons décrit la répartition de ces valeurs journalières au cours de l'année 2002, afin de comparer la qualité de l'air mesuré aux objectifs de qualité fixés par le décret 2002-213 du 15 février 2002 [14], à savoir :

- 110 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur une plage de 8 heures pour l'O₃ ;

- 40 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour le NO₂ ;
- 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pour les PM₁₀.

Les distributions de ces indicateurs par classe sont présentées sur les figures 3 à 5 pour l'année retenue.

Figure 3 - Distribution par classe de l'indicateur d'exposition O₃, Bayonne, 2002

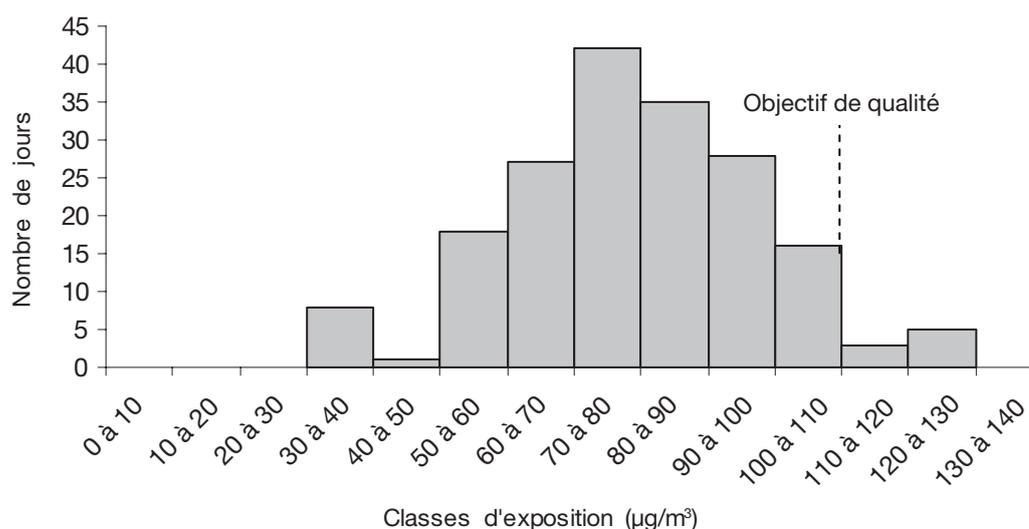


Figure 4 - Distribution par classe de l'indicateur d'exposition NO₂, Bayonne, 2002

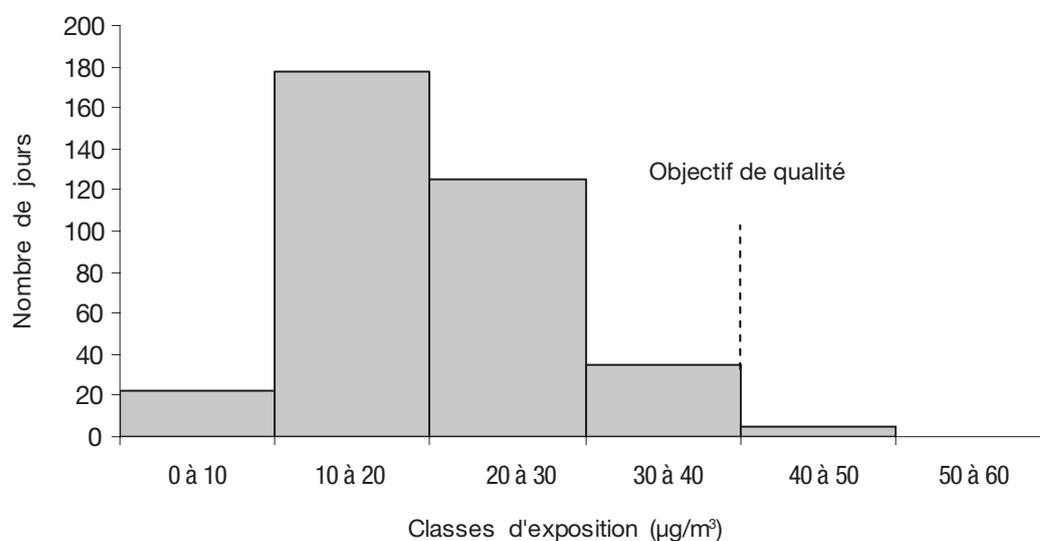
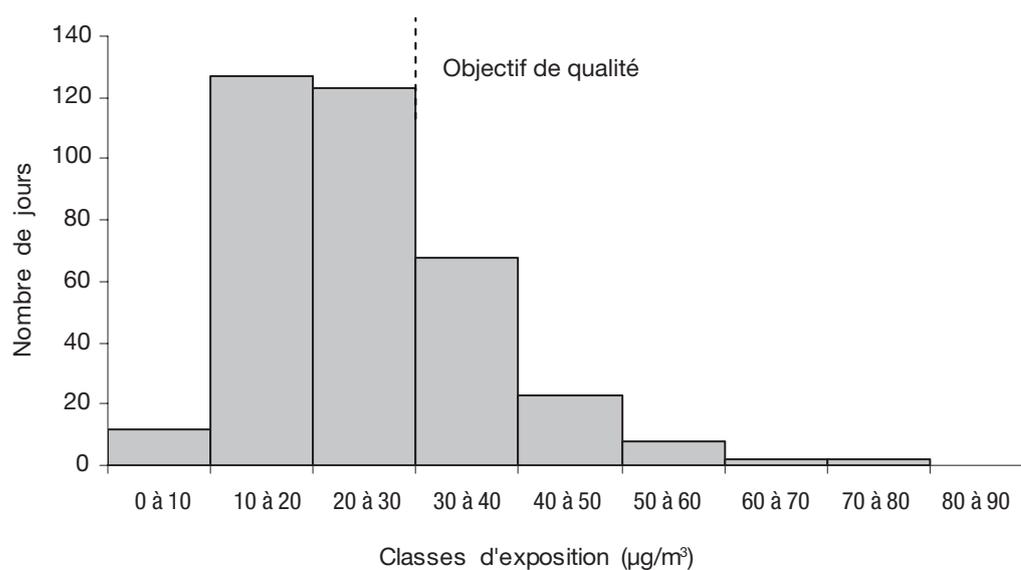


Figure 5 - Distribution par classe de l'indicateur d'exposition PM₁₀, Bayonne, 2002



L'objectif de qualité a été dépassé pendant 8 jours pour l'O₃ (soit 4,4 % de la période). Pour le NO₂ et les PM₁₀, les objectifs de qualité pour la santé de la population

fixés en moyenne annuelle sont respectés. Cependant, ces seuils sont dépassés pendant 5 jours pour le NO₂ (1,4 %) et pendant 103 jours pour les PM₁₀ (28,2 %).

4.3 | Description des indicateurs sanitaires

4.3.1 | Mortalité

Les effectifs de mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles), cardio-vasculaire et respiratoire sont présentés dans le tableau 4.

Tableau 4 - Nombre total de décès et moyennes journalières selon la saison, Bayonne, 2001

Mortalité	Nombre total de décès			Moyenne journalière		
	Été	Hiver	Année	Été	Hiver	Année
Respiratoire	44	50	94	0,24	0,27	0,26
Cardio-vasculaire	263	289	552	1,44	1,59	1,51
Toutes causes	749	801	1 550	4,09	4,40	4,25

Environ un tiers des décès (35,6 %) survenus au cours de l'année 2001 (hors morts violentes et accidentelles) avaient pour cause une pathologie cardio-vasculaire et une minorité (6,1 %), une cause respiratoire. Le nombre moyen journalier de décès était légèrement

plus important en hiver qu'en été quelle que soit la cause de décès. En effet, nous pouvons observer une augmentation de 6,9 % pour la mortalité toutes causes, de 13,6 % pour la mortalité respiratoire et de 9,9 % pour la mortalité cardio-vasculaire entre l'hiver et l'été 2001.

4.3.2 | Admissions hospitalières

Le tableau 5 présente le nombre d'admissions hospitalières observées au cours de l'année 2002 pour causes

respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques dans les 7 établissements de soins retenus.

Tableau 5 - Nombre total d'admissions hospitalières et moyennes journalières selon la saison, Bayonne, 2002

Pathologies	Âge	Nombre total d'admissions			Moyenne journalière		
		Été	Hiver	Année	Été	Hiver	Année
Respiratoires	15-64 ans	228	258	486	1,25	1,42	1,33
	≥ 65 ans	243	328	571	1,33	1,80	1,56
Cardio-vasculaires	tous âges	1 215	1 451	2 666	6,64	7,97	7,30
Cardiaques	< 65 ans	163	168	331	0,89	0,92	0,91
	≥ 65 ans	527	591	1 118	2,88	3,25	3,06

Quel que soit le motif d'hospitalisation, le nombre d'admissions était plus important en hiver qu'en été, excepté pour les motifs cardiaques chez les personnes

âgées de moins de 65 ans puisque ce nombre était pratiquement le même au cours des deux saisons.

4.4 | Caractérisation du risque à court terme

Pour chaque indicateur de pollution atmosphérique, nous avons estimé l'impact sanitaire à court terme en comparant le nombre de décès survenus durant l'année 2001 au nombre de décès qui seraient survenus la même année si les niveaux de pollution avaient été très faibles sur la zone d'étude.

Les impacts estimés pour chaque indicateur de pollution ne sont pas additifs dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique. Cependant, le nombre réel de cas attribuables est au moins égal

à la valeur maximale observée parmi les différentes estimations. Les résultats présentés ci-après indiquent donc, pour chaque indicateur sanitaire (décès, admission hospitalière), le nombre de cas attribuables au polluant ayant le plus d'effet. Ceci conduit à une sous-estimation de l'impact sanitaire mais, à l'inverse, le fait de cumuler les impacts conduirait à une surestimation qui rendrait impossible toute interprétation des résultats. Pour chaque indicateur sanitaire, seul le résultat du polluant ayant le plus grand impact est donc interprété.

4.4.1 | Estimation de l'impact sanitaire total

Les niveaux de référence choisis pour cette estimation globale correspondent à une pollution de fond qui ne pourrait pas être éliminée même en mettant en place des mesures très strictes pour réduire la pollution urbaine, à savoir 40 µg/m³ pour l'O₃ et 10 µg/m³ pour le NO₂ et les PM₁₀. Ces valeurs sont inférieures ou proches du percentile 5 des niveaux réellement observés sur la zone de Bayonne (cf. tableau 3).

Les calculs d'impact sanitaire ont parfois été réalisés sur les sous-populations particulières dont le choix dépendait des relations exposition-risque disponibles dans la littérature pour réaliser ces EIS. Ainsi, pour la mortalité et les admissions hospitalières cardio-vasculaires, le calcul a été effectué sur l'ensemble de la

population tous âges confondus. Pour les admissions respiratoires, le calcul a été réalisé pour deux tranches d'âge, à savoir 15-64 ans et 65 ans et plus. Enfin, pour les admissions cardiaques, le calcul a été effectué pour l'ensemble de la population puis spécifiquement pour la tranche d'âge des 65 ans et plus.

Impact sanitaire sur la mortalité anticipée

Le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour l'année 2002 est représenté dans le tableau 6. L'O₃ était l'indicateur qui avait le plus d'impact sur la mortalité anticipée.

Tableau 6 - Nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique en fonction des indicateurs sanitaires, Bayonne, 2002

Indicateurs sanitaires	NA	IC 95 %
Mortalité respiratoire	2,0	[1,0-3,2]
Mortalité cardio-vasculaire	11,1	[4,0-18,5]
Mortalité toutes causes	20,3	[8,6-29,2]

En 2002, le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur Bayonne s'élevait à 20,

dont plus de la moitié par mortalité cardio-vasculaire et 2 par mortalité respiratoire.

Impact sanitaire sur la morbidité hospitalière

Les résultats montrent un impact sanitaire significatif de la pollution atmosphérique pour la plupart des indicateurs sanitaires. En effet, en 2002, environ 19 hospitalisations en période hivernale pour motifs cardio-vasculaires (8 chez les personnes âgées pour motifs respiratoires et 11 pour motifs cardiaques tous âges) étaient attribuables à la pollution atmosphérique. Seul l'impact sur les admissions hospitalières en période estivale pour motifs respiratoires chez les 15-64 ans n'était pas significatif.

À noter que le nombre d'admissions pour motifs cardiaques chez les personnes âgées était légèrement supérieur à celui tous âges confondus. En effet, le RR est plus élevé chez les personnes âgées qu'en population générale et la proportion de personnes âgées dans notre zone d'étude est plus importante que celle de la population étudiée dans le cadre d'Aphea 2, dont sont

issues les courbes dose-réponse utilisées. L'application des courbes dose-réponse d'Aphea à la population générale demeurant dans la zone BAB conduit sans doute ainsi à sous-estimer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. Par contre, l'utilisation d'une relation exposition-risque spécifique aux personnes âgées permet sans doute de s'affranchir largement de ce biais pour l'estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique dans cette sous-population particulière.

Les décès anticipés et les admissions hospitalières attribuables à la pollution atmosphérique présentés ici sont des événements qui auraient pu théoriquement être évités si la pollution atmosphérique était restée très faible.

Tableau 7 - Nombre d'admissions hospitalières attribuables à la pollution atmosphérique en fonction de la pathologie étudiée, Bayonne, 2002

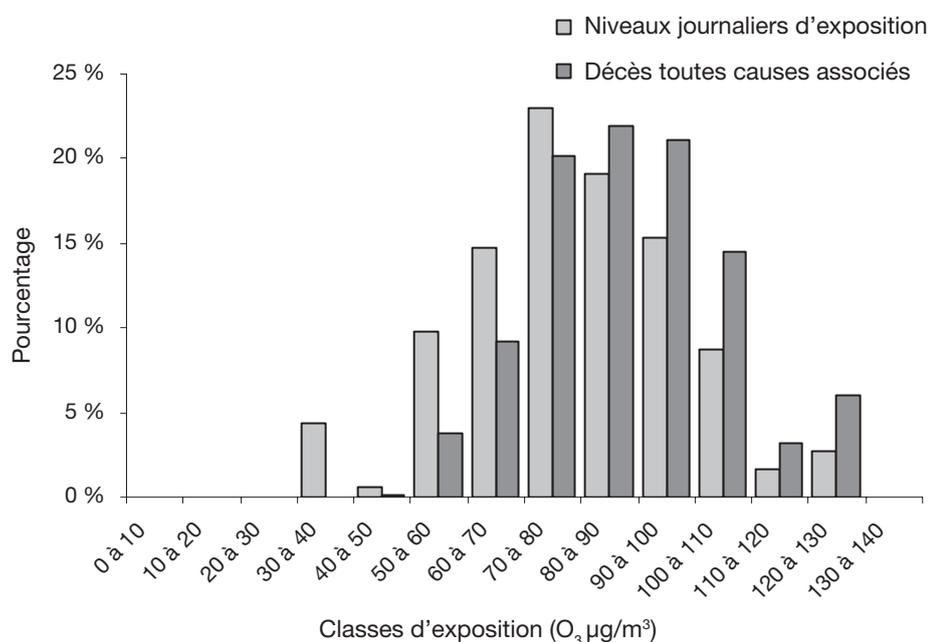
Indicateurs sanitaires	Polluant ayant le plus d'impact	Nombre de cas attribuables	IC 95 %
Morbidité respiratoire			
15-64 ans	O ₃ Été	3,6	[-1,8-9,0]
65 ans et plus	PM ₁₀ Année	7,8	[5,2-11,3]
Morbidité cardio-vasculaire	NO ₂ Hiver	19,3	[11,6-27,1]
Morbidité cardiaque			
Tous âges	PM ₁₀ Année	11,1	[4,4-17,8]
65 ans et plus	PM ₁₀ Année	12,0	[6,8-17,1]

4.4.2 | Impact sanitaire par niveaux de pollution

Les estimations précédentes nous ont permis de connaître le nombre global d'événements sanitaires indésirables attribuables à la pollution atmosphérique. Afin de savoir si ces événements étaient uniquement attribuables à des niveaux très élevés de pollution ou s'ils pouvaient également survenir à des niveaux

relativement bas, nous avons décrit leur répartition en fonction des niveaux de pollution ; deux exemples sont présentés dans les figures 6 et 7 pour les décès toutes causes et les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires.

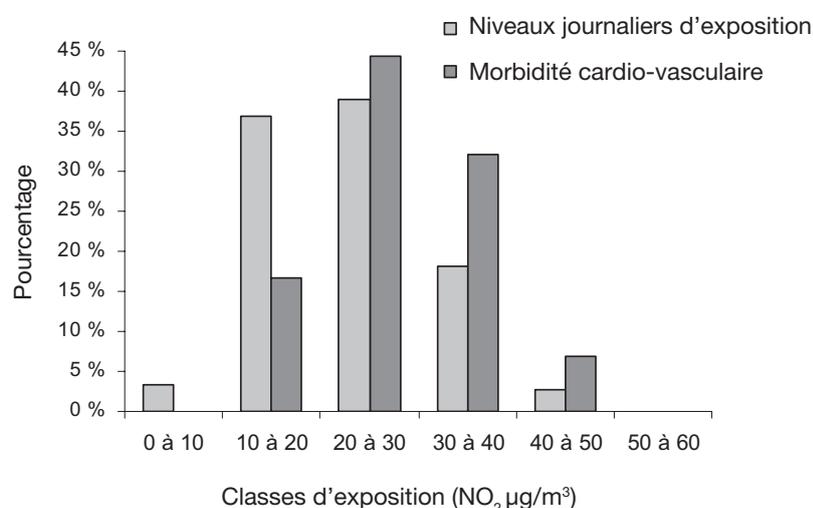
Figure 6 - Distribution par classe des niveaux journaliers d'exposition à l'O₃ et des décès toutes causes associés, Bayonne, 2002



En dessous d'un niveau journalier d'exposition de 40 µg/m³, nous n'observons aucun décès attribuable à l'exposition à l'O₃. En revanche, dès que nous atteignons

une concentration de 50 µg/m³, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique croît, pour devenir particulièrement important à partir de 70 µg/m³.

Figure 7 - Distribution par classe des niveaux journaliers d'exposition au NO₂ et des admissions hospitalières associées pour motifs cardio-vasculaires, Bayonne, 2002



L'impact sanitaire de l'exposition au NO₂ apparaît dès que les concentrations atteignent 10 µg/m³ et devient particulièrement important pour les jours où cet indicateur atteint ou dépasse 20 µg/m³.

Les répartitions observées pour les autres polluants et les indicateurs sanitaires donnent des résultats très similaires, ce qui montre bien que l'impact sanitaire de

la pollution atmosphérique n'est pas seulement dû aux épisodes de "pics" de pollution. En effet, la majorité des décès et hospitalisations attribuables à la pollution atmosphérique survient suite à des concentrations en polluants relativement basses, souvent même en dessous des seuils de qualité fixés par décret acceptables pour la santé publique [14].

4.4.3 | Calcul des gains sanitaires liés à une baisse de la pollution atmosphérique

Comme il est impossible de ramener la pollution atmosphérique urbaine à des niveaux négligeables, nous avons calculé les gains sanitaires pouvant être obtenus à très court terme grâce à une réduction, et non une élimination, de la pollution atmosphérique à partir de deux scénarios : le premier consistait à ramener tous les polluants au niveau de l'objectif de qualité fixé par décret [14] les jours où celui-ci était dépassé (scénario 1), le second consistait à agir quotidiennement en réduisant

tout au long de l'année le niveau de chaque polluant de 25 % (scénario 2).

Gains sanitaires pour la mortalité anticipée

L'O₃ étant le polluant qui avait le plus d'impact sur la mortalité anticipée, nous avons estimé les gains sanitaires attribuables à une diminution de ce polluant.

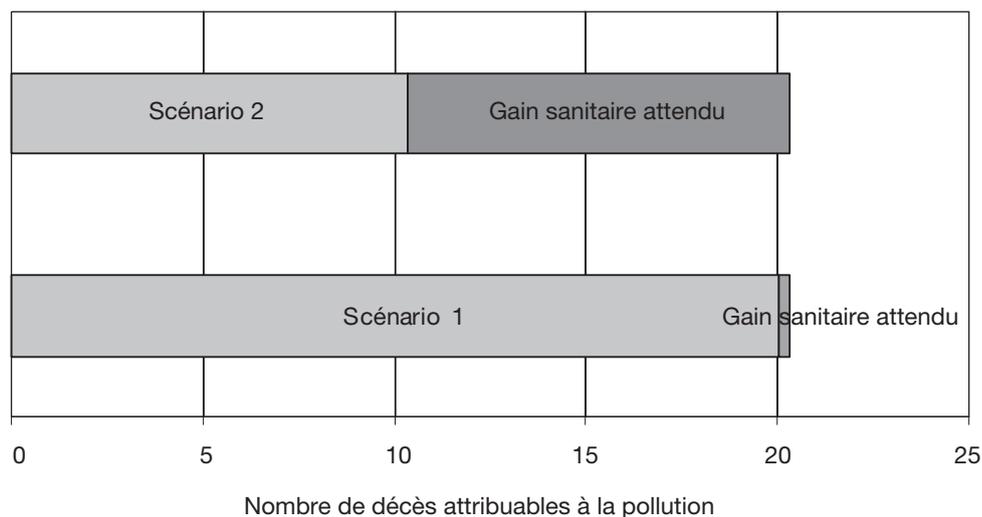
Tableau 8 - Nombre de décès anticipés qui auraient pu être évités en 2002 en ramenant les niveaux journaliers d'O₃ aux objectifs de qualité fixés (les jours où les niveaux dépassent 110 µg/m³, les niveaux sont ramenés à 110 µg/m³, scénario 1) ou en les diminuant de 25 % (scénario 2)

Cause de décès	Scénario 1		Scénario 2	
	Respect des objectifs de qualité		Diminution constante de 25 %	
	n évités	IC 95 %	n évités	IC 95 %
Mortalité respiratoire	0,03	[0,01-0,04]	0,98	[0,49-1,55]
Mortalité cardio-vasculaire	0,15	[0,05-0,24]	5,40	[1,96-8,86]
Mortalité toutes causes	0,27	[0,11-0,38]	9,97	[4,26-14,26]

Le gain sanitaire obtenu en ramenant les concentrations aux objectifs de qualité est extrêmement faible puisque les teneurs en O₃ dépassent rarement ce seuil à Bayonne. En revanche, le scénario 2 entraîne un gain sanitaire significatif avec 10 décès toutes causes (soit environ

la moitié des décès attribuables à la pollution comme l'illustre la figure 8) et 5 décès pour motifs cardio-vasculaires qui pourraient être évités sur une année. En revanche, le gain sur les décès pour motifs respiratoires est très faible et non significatif.

Figure 8 - Gains sanitaires attendus concernant la mortalité toutes causes, Bayonne, 2002



Gains sanitaires pour la morbidité hospitalière

Les gains sanitaires qui auraient pu être obtenus en termes d'admissions hospitalières sont présentés dans le tableau 9.

Comme pour la mortalité, le gain sanitaire obtenu avec le scénario 1 est très faible. En revanche, le scénario 2

entraîne des gains sanitaires plus importants avec près de la moitié des admissions hospitalières (cf. tableau 5) pour chacune des causes qui pourrait être évitées si les teneurs en polluants étaient diminuées de 25 %. La figure 9 illustre graphiquement un exemple de gain sanitaire obtenu en termes d'admissions pour motifs cardio-vasculaires avec les deux scénarios de réduction des polluants.

Tableau 9 - Nombre d'admissions hospitalières pouvant être évitées suivant les scénarios de réduction de la pollution, Bayonne, 2002

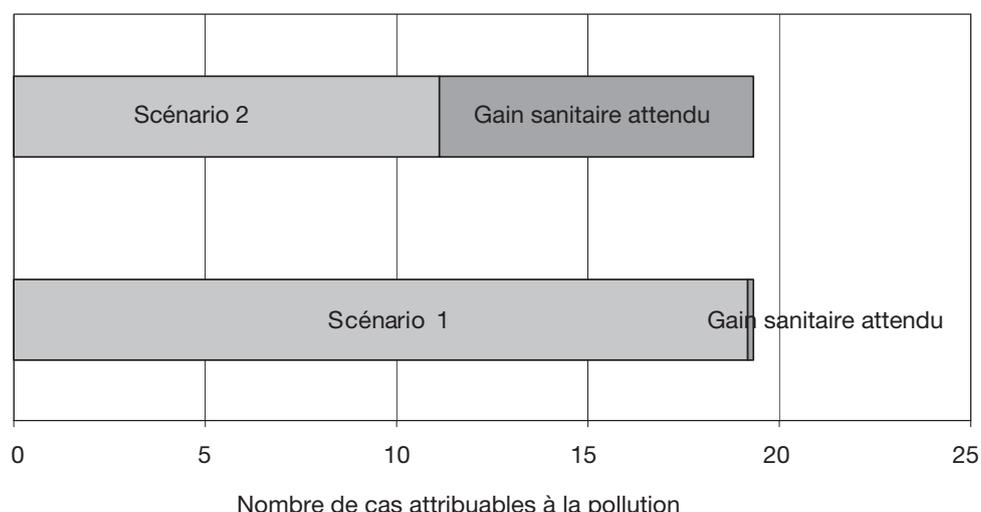
Scénario 1 : les niveaux journaliers qui dépassent les niveaux fixés pour les objectifs de qualité (30 µg/m³ pour les PM₁₀, 40 µg/m³ pour le NO₂) sont abaissés à ces niveaux. Scénario 2 : chaque jour, les niveaux sont abaissés de 25 %.

Admissions hospitalières	Scénario 1		Scénario 2	
	Respect des objectifs de qualité		Diminution constante de 25 %	
	n évitées	IC 95 %	n évitées	IC 95 %
Motif respiratoire ≥ 65 ans*	1,44	[0,96-2,08]	3,15	[2,10-4,54]
Motif cardio-vasculaire**	0,13	[0,08-0,18]	8,23	[4,94-11,51]
Motif cardiaque tous âges*	2,03	[0,81-3,25]	4,49	[1,80-7,17]
Motif cardiaque ≥ 65 ans*	2,19	[1,25-3,13]	4,82	[2,76-6,88]

* Polluant ayant le plus d'impact : PM₁₀.

** Polluant ayant le plus d'impact : NO₂ hiver.

Figure 9 - Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardio-vasculaire, Bayonne, 2002



Les 8 admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires qui auraient pu être évitées avec le scénario 2 représentent près de la moitié (43 %) des hospitalisations

attribuables à la pollution atmosphérique, tandis que le scénario 1 ne permet d'éviter que 0,7 % des admissions.

4.5 | Impact sanitaire à long terme

L'impact sanitaire à long terme n'a pu être estimé que pour les PM₁₀ car les études de cohorte ayant permis d'obtenir des relations exposition-risque fiables pour les effets à long terme ne portaient que sur l'effet de ce polluant.

Afin d'estimer le nombre de décès évitables sur le long terme par différentes stratégies de réduction de la pollution, nous avons testé quatre scénarios comme recommandé dans le guide de l'InVS [13]. Les estimations des gains sanitaires obtenus grâce à ces différents scénarios sont présentées dans le tableau 10.

Le calcul de l'impact sanitaire global à long terme montre que, chaque année, 95 décès anticipés (IC 95 % = [57,3-135,5]) sont attribuables à une exposition chronique aux PM₁₀.

Tableau 10 - Gains sanitaires attendus à long terme grâce aux différents scénarios de réduction des PM₁₀, Bayonne, 2002

Scénarios de réduction des PM ₁₀	n décès évitables par an	IC 95 %
1. Diminution de la moyenne annuelle à 40 µg/m ³ *	0,0	-
2. Diminution de la moyenne annuelle à 20 µg/m ³ **	32,5	[19,7-45,9]
3. Diminution de 5 µg/m ³ de la moyenne annuelle	32,3	[19,6-45,6]
4. Diminution de 25 % de la moyenne annuelle	38,3	[23,2-54,1]

* Valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2005.

** Valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2010.

Le scénario 1 n'engendre aucun gain sanitaire car la moyenne annuelle des niveaux de PM_{10} observée à Bayonne pour l'année 2002 ($25 \mu\text{g}/\text{m}^3$, cf. tableau 3) est inférieure au seuil de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (objectif de qualité applicable en 2005). Les autres scénarios entraînent tous des gains sanitaires significatifs. Le scénario 2 permet d'atteindre un gain sanitaire à long terme de l'ordre de 32 décès par an, de même que le scénario 3 ; en effet, ces deux scénarios sont équivalents puisque, sur Bayonne, diminuer la moyenne annuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ reviendrait à la rabaisser au seuil de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Enfin, une diminution de 25 % des niveaux de pollution actuels (qui permettrait d'atteindre une moyenne de l'ordre de $18,7 \mu\text{g}/\text{m}^3$) entraînerait un gain sanitaire de 38 décès par an sur le long terme.

Le scénario de réduction de 25 % des niveaux de pollution actuels permet d'obtenir les gains sanitaires les plus importants. Cependant, même avec une réduction de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des PM_{10} , le nombre de décès évitables chaque année est déjà considérable.

5 | Discussion

Les effets néfastes de la pollution atmosphérique, même à des niveaux faibles de pollution, ont fait l'objet de nombreuses études au cours de ces 10 dernières

années. L'évaluation de l'EIS ne vise pas à démontrer ces effets mais à les quantifier au niveau local.

5.1 | Rappels des principaux résultats

Sur une année, l'impact sanitaire global à court terme de la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Bayonne (148 742 habitants), évalué par rapport à une situation théorique sans pollution, a été estimé en moyenne à 20 décès anticipés (dont plus de la moitié pour causes cardio-vasculaires et 2 pour causes respiratoires) et à 19 admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, 11 pour motifs cardiaques et 8 pour motifs respiratoires chez les personnes âgées.

Ces chiffres, même s'ils ne constituent que des ordres de grandeur, montrent que la pollution atmosphérique a un impact sanitaire sur la population, même à des niveaux de pollution modérés, souvent situés en dessous des normes réglementaires. Ceci traduit le fait que même si les RR associés à la pollution atmosphérique sont modestes, la proportion importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif à court terme non négligeable.

À court terme

Sur la zone d'étude de l'agglomération de Bayonne, les objectifs de qualité en moyenne annuelle sont respectés, tant pour le NO_2 que pour les PM_{10} . Pour l' O_3 , l'objectif de qualité pour la protection de la santé humaine ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8h) n'a été que très rarement dépassé dans la zone d'étude en 2002.

Cependant, les niveaux de pollution journaliers inférieurs à ces seuils sont responsables de 90 % des décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique et de 45 % à 93 % des admissions hospitalières pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques. Ainsi, une politique qui se limiterait à éviter les dépassements des seuils réglementaires, ou à ne prendre des mesures qu'à cette occasion, n'aurait qu'un impact négligeable en terme de santé publique.

Les gains sanitaires associés à différents scénarios de réduction des émissions polluantes permettent de comparer l'impact d'une diminution des niveaux quotidiens de pollution atmosphérique à celui d'une simple suppression des épisodes ponctuels de pollution élevée. Ils suggèrent qu'une réduction du niveau annuel moyen des polluants de 25 % permettrait de diminuer le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique de 50 % pour les décès anticipés et de l'ordre de 40 % pour les admissions hospitalières. Le gain sanitaire lié à l'abaissement des niveaux de pollution les plus élevés au niveau des objectifs de qualité ne serait que de 1,3 % pour les décès anticipés et varierait de 0,7 % à 18,5 % pour les admissions hospitalières. Il est donc nécessaire de concevoir la prévention des risques liés à la pollution atmosphérique urbaine non pas uniquement en terme d'épisodes de pollution mais également en terme d'exposition quotidienne à la pollution de fond.

À long terme

Cette étude a également permis d'estimer le nombre de décès attribuables à l'exposition à long terme aux PM₁₀. La norme européenne prévue pour 2005 pour ce polluant était d'ores et déjà respectée sur la zone d'étude. Le respect de la norme européenne prévue en 2010, qui reviendrait à diminuer de 5 µg/m³ la moyenne annuelle des PM₁₀, pourrait permettre d'éviter chaque année 32 décès anticipés sur la zone considérée.

Les résultats de cette étude montrent donc que la pollution atmosphérique a un impact sanitaire important à court terme et à long terme sur la santé de la population de l'agglomération de Bayonne. Cependant, ces résultats doivent être interprétés en tenant compte des hypothèses, limites et incertitudes liées à la démarche d'une EIS qui entraîne le plus souvent une sous-estimation de l'impact sanitaire global.

5.2 | Hypothèses, limites et incertitudes

Tout d'abord, l'étape d'identification des dangers présente des limites qui sont à l'origine d'une sous-estimation de l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique :

- l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique en terme de morbidité ne prend en compte que les effets ayant nécessité une hospitalisation. Les effets respiratoires traités en ambulatoire notamment ne sont pas comptabilisés alors qu'ils représentent une fraction importante de la morbidité respiratoire ;
- les polluants retenus pour estimer l'exposition ne représentent qu'une fraction des substances chimiques responsables de la pollution atmosphérique ;
- la pollution de l'air à l'intérieur des locaux n'est pas prise en compte pour estimer l'exposition de la population, seule la pollution atmosphérique extérieure de fond est étudiée.

L'impact sanitaire estimé dans cette étude est donc probablement sous-estimé.

Ensuite, la démarche de l'EIS nécessite de recourir à des relations exposition-risque fondées sur des observations épidémiologiques menées dans des zones géographiques distinctes de notre zone d'étude. Ainsi, la nature de la pollution atmosphérique notamment peut différer entre ces zones et altérer la validité de l'extrapolation spatiale des relations exposition-risque. Cependant, ici, l'utilisation de courbes exposition-risque obtenues lors des dernières études européennes (Apeha 1 et 2) et française (Psas-9) pour l'estimation des impacts à court terme minimise cet inconvénient. En effet, ces études ont notamment montré la cohérence des relations exposition-risque sur la mortalité et les admissions hospitalières pour motifs respiratoires [2,16] et ce, quelles que soient les caractéristiques locales à l'intérieur de l'Europe.

L'estimation de l'exposition repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des valeurs

enregistrées par les capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières de la population concernée. Cependant, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude au cours de la journée pour des raisons professionnelles ou individuelles. Selon les niveaux de pollution atmosphérique, cela conduit à sur- ou sous-estimer l'impact sanitaire. A l'inverse, la zone d'étude retenue peut être une zone attractive importante pour une population ne résidant pas dans la zone, notamment pendant l'été ; cette population n'étant pas prise en compte dans les données sanitaires (mortalité ou admissions hospitalières) alors qu'elle est exposée à la pollution atmosphérique de la zone, l'impact sanitaire peut être dans ce cas sous-estimé, en particulier dans l'agglomération de Bayonne qui attire beaucoup de touristes en période estivale.

La caractérisation du risque s'appuie sur la mise en relation des indicateurs d'exposition avec les indicateurs sanitaires disponibles. Le nombre d'admissions hospitalières peut être sous- ou surestimé du fait d'erreurs de diagnostic et/ou de codage potentielles mais ce biais est partiellement contrôlé par le regroupement de ces admissions hospitalières en grandes catégories.

Enfin, l'indicateur des décès peut avoir été biaisé suite à des erreurs de classement car les causes de décès sont parfois renseignées de façon imprécise dans les certificats de décès. En effet, les relations entre les affections cardiaques et respiratoires sont complexes et les symptômes liés à certaines pathologies cardiaques et respiratoires peuvent être assez semblables, favorisant une confusion possible entre les deux types de pathologies. Cependant, nous pouvons estimer que les erreurs de déclaration et/ou de codage se répartissent de manière homogène entre la mortalité cardiaque et respiratoire et qu'elles sont indépendantes des variations de la pollution atmosphérique, ce qui limite les biais qu'elles peuvent engendrer.

5.3 | Interprétation des résultats

L'estimation du nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine et des gains potentiellement réalisables par une diminution de celle-ci est basée sur les acquis scientifiques actuels et les données locales disponibles. Le lien causal entre l'exposition à la pollution et les effets sur la santé est à présent bien établi grâce à de nombreuses études épidémiologiques ayant montré une relation significative, avec une relation dose-effet sans seuil, ces résultats étant cohérents avec les hypothèses biologiques. Cependant, les résultats doivent être interprétés comme des ordres de grandeur et non pas comme des chiffres exacts. Les chiffres obtenus pour le long terme doivent être interprétés avec encore plus de précautions car le calcul repose sur l'hypothèse que la structure démographique de la population considérée et les niveaux de pollution restent constants sur une longue période, ce qui reste assez incertain.

Concernant les estimations portant sur les décès, il est important de préciser qu'il s'agit ici de mortalité anticipée. Ainsi, le nombre de décès estimés attribuables à la pollution ne doit pas être interprété comme un excès absolu de mortalité mais comme une estimation du nombre d'individus qui ont vu, au cours de la période d'étude, leur espérance de vie diminuer.

Comme nous l'avons déjà précisé au cours de ce rapport, les impacts estimés par indicateur de pollution ne sont pas additifs dans la mesure où la population

est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique. Ainsi, si les polluants peuvent avoir une toxicité propre, ils sont avant tout des indicateurs d'un mélange chimique complexe. De plus, les polluants peuvent interagir et l'effet d'un polluant peut varier en fonction du niveau d'autres polluants. La notion de risque attribuable doit donc s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine globale, estimée indirectement par les indicateurs de pollution utilisés ici.

Il est important de garder à l'esprit que ce travail ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets à court terme sur la santé, ce qui a été fait par ailleurs, mais de quantifier cet impact au niveau local. En effet, la pollution atmosphérique a fait l'objet d'une abondante littérature scientifique qui permet de conclure à l'existence d'effets néfastes sur la santé des populations, même pour de faibles niveaux d'exposition, et à l'inexistence apparente de seuil pour la manifestation de ces effets au niveau d'une population. Cependant, cette EIS montre que la pollution atmosphérique peut avoir un impact sanitaire non négligeable, même dans une agglomération relativement préservée comme celle de Bayonne où les niveaux de pollution sont plus bas que dans les agglomérations plus importantes.

6 | Conclusion

Même si les risques sanitaires de la pollution restent faibles au niveau individuel, l'ensemble de la population est exposé à la pollution atmosphérique et ce, de manière chronique. Le risque collectif est par conséquent loin d'être négligeable. La lutte contre la pollution atmosphérique urbaine doit donc être considérée comme un problème prioritaire de santé publique, au-delà de l'attention portée sur les épisodes de pollution dépassant les seuils réglementaires perçus comme des situations d'urgence sanitaire. En effet, les EIS montrent que les actions les plus efficaces seraient celles qui réduiraient les émissions à la source de façon quotidienne et non pas seulement le nombre annuel de pics de pollution.

La communication de ces résultats locaux aux décideurs, aux médias et au public devrait entraîner une meilleure sensibilisation aux dangers de la pollution atmosphérique respirée quotidiennement par l'ensemble de la population, permettre de relativiser les épisodes de pollution pour s'occuper davantage de la pollution de fond et enfin, de construire une politique de réduction de la pollution atmosphérique plus efficace en terme d'impact sur la santé publique.

Références bibliographiques

- [1] Spix C, Anderson HR, Schwartz J, Vigotti MA, Le Tertre A, Vonk JM, Touloumi G, Balducci F, Piekarski T, Bacharova L, Tobias A, Ponka A, Katsouyanni K. Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of Apeha study results. *Air pollution and health: a European approach*. *Arch Environ Health*, 1998 Jan-Feb;53(1):54-64.
- [2] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y, Rossi G, Zmirou D, Ballester F, Boumghar A, Anderson HR, Wojtyniak B, Paldy A, Braunstein R, Pekkanen J, Schindler C, Schwartz J. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the Apeha 2 project. *Epidemiology*, 2001 Sep;12(5):521-31.
- [3] Atkinson RW, Anderson HR, Sunyer J, Ayres J, Baccini M, Vonk JM, Boumghar A, Forastiere F, Forsberg B, Touloumi G, Schwartz J, Katsouyanni K. Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from Apeha 2 project. *Air pollution and health: a European approach*. *Am J Respir Crit Care Med*, 2001 Nov 15;164(10 Pt 1):1860-6.
- [4] Le Tertre A, Medina S, Samoli E, Forsberg B, Michelozzi P, Boumghar A, Vonk JM, Bellini A, Atkinson R, Ayres JG, Sunyer J, Schwartz J, Katsouyanni K. Short-term effects of particulate air pollution on cardiovascular diseases in eight European cities. *J Epidemiol Community Health*, 2002 Oct;56(10):773-9.
- [5] Dockery DW, Pope CA III, Xu X, *et al.* An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 1993;29(24):1753-9.
- [6] Pope CA III, Thun MJ, Namboodiri MM, Dockery DW, Evans JS, Speizer FE, Heath CW. 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;151:669-74.
- [7] Künzli N, Kaiser R, Medina S, Stunicka 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.
URL: <http://www.airimpacts.org/documents/local/cases.pdf>
- [8] Filleul L, Rondeau V, Vandentorren S, Le Moual N, Cantagrel N, Annesi-Maesano I, Charpin D, Declercq C, Neukirch F, Paris C, Vervloet D, Brochard P, Tessier JF, Kauffmann F, Baldi I. Twenty-five year mortality and air pollution: results from the French PAARC survey. *Occupational and Environmental Medicine*, 2005 June;62:453-46.
- [9] Katsouyanni K, Pershagen G. Ambient air pollution exposure and cancer. *Cancer Causes Control*, 1997 May;8(3):284-91.
- [10] Filleul L, *et al.* Difference in the relation between daily mortality and air pollution among elderly and all-ages populations in southwestern France. *Environ Res*, 2004;94:249-53.
- [11] Loi n° 96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. *Journal Officiel de la République Française* du 1^{er} janvier 1997.

- [12] D'Helf-Blanchard M. Synthèse des évaluations d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, France, 1995-2002. BEH n° 19/2005.
- [13] Pascal L, Cassadou S. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Actualisation du guide méthodologique. Recommandations provisoires pour les EIS à court terme et à long terme. Manuel d'utilisation du logiciel EIS-PA version 2.0. Institut de veille sanitaire, Mars 2003;32p.
- [14] Décret n° 2002-93 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et l'environnement. Journal Officiel de la République Française du 19 février 2002.
- [15] Glorennec P, Quénel P. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique. Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, Juillet 1999;48p.
- [16] Cassadou S, Declercq C, Eilstein D, Filleul L, Le Tertre A, Medina S, Nunes C, Pascal L, Prouvost H, Saviuc P, Zeghnoun A, Quénel P. Programme de surveillance Air et Santé - 9 villes : surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Phase II. Institut de veille sanitaire, Saint-Maurice, Juin 2002;184p.
- [17] Air Pollution and Health: a European Information System (APHEIS). Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans 26 villes européennes : synthèse des résultats européens et résultats détaillés des villes françaises issus du rapport paru en octobre 2002. Institut de veille sanitaire, octobre 2002;143p.
- [18] Institut national de la statistique et des études économiques (Insee), recensement général de la population 1999.
- [19] Drire. Plan régional pour la qualité de l'air. Drire de la région Aquitaine, Mars 2002;100p.

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique urbaine réalisée dans l'agglomération de Bayonne s'inscrit dans le cadre du Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA). Elle suit la démarche méthodologique d'EIS décrite par l'Institut de veille sanitaire (InVS). Les indicateurs de pollution retenus sont l'ozone (O_3), le dioxyde d'azote (NO_2) et les particules fines (PM_{10}). L'impact sanitaire a été évalué à court terme en estimant le nombre de décès anticipés et d'admissions hospitalières attribuables à la pollution, et à long terme en estimant le nombre annuel de décès attribuables à la pollution.

La zone d'étude sélectionnée était composée de 16 communes représentant une population totale de 148 742 habitants. Le nombre total de décès anticipés attribuables à court terme à la pollution atmosphérique dans l'agglomération de Bayonne pour l'année 2001 a été estimé à 20 décès. Le calcul des gains sanitaires associés à différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique montrait qu'une diminution de 25 % de la moyenne annuelle des niveaux d' O_3 était le scénario le plus efficace avec un gain sanitaire de l'ordre de 50 %, aussi bien pour la mortalité anticipée que pour les admissions hospitalières. Concernant l'impact sanitaire à long terme, une diminution de $5 \mu g/m^3$ du niveau moyen annuel des PM_{10} permettrait d'éviter 32 décès par an.

Même si les résultats doivent être interprétés avec prudence compte tenu des nombreuses incertitudes et limites de la méthode utilisée, cette étude met en évidence des effets sanitaires non négligeables de la pollution atmosphérique urbaine dans l'agglomération de Bayonne. Les actions les plus efficaces seraient donc celles qui réduiraient non seulement le nombre annuel de pics de pollution, mais surtout les émissions de polluants de façon quotidienne.

A health impact assessment of air pollution based on the InVS guidelines has been conducted in Bayonne according to the regional Plan for the quality of air in the region of Aquitaine. It has been carried out in 16 cities homogeneously exposed, belonging to Bayonne agglomeration, representing a study population of 148,742 inhabitants. Atmospheric pollution indicators analyzed are ozone, nitrogen dioxide and particles having diameter below $10 \mu m$. Short-term impact of atmospheric pollution has been estimated in term of mortality (total, cardiovascular and respiratory mortality) and on hospital intakes (for respiratory, cardiovascular and cardiac reasons) attributable to air pollution. Long term impact was also assessed by the number of deaths due to atmospheric pollution.

In 2001, the atmospheric pollution has directly been responsible in the studied area for 20 anticipated deaths. A decrease by 25% of the pollutants could allow avoiding half of the premature deaths and hospital intakes attributable to air pollution. Concerning long term effects, a decrease by $5 \mu g/m^3$ of the annual mean of PM_{10} could allow avoiding 32 deaths per year.

These results should be interpreted with care because of the limits of the method. However, they show that air pollution impact is non negligible even in a small agglomeration like Bayonne, since everyone is exposed to air pollution. They also suggest that a policy of atmospheric pollution reduction only based on not exceeding the standard levels would not have the expected benefits on the public health point of view. To decrease at the source the everyday and total pollutants emissions would be more efficient.

