

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

Agglomération de Pau
Impact à court et long terme

1 Introduction p. 4**2 Description de la zone d'étude** p. 4

2.1 | Choix de la zone d'étude p. 4

2.2 | Population et établissements de soins p. 6

3 Matériel et méthodes p. 8

3.1 | Méthodologie de l'EIS p. 8

3.2 | Définition des périodes d'études p. 11

3.3 | Construction des indicateurs d'exposition p. 11

3.4 | Indicateurs sanitaires p. 12

4 Résultats p. 13

4.1 | Description des indicateurs de pollution p. 13

4.2 | Description des indicateurs sanitaires p. 14

4.3 | Caractérisation du risque à court terme p. 15

4.4 | Caractérisation du risque à long terme p. 20

5 Discussion p. 20

5.1 | Hypothèses, limites et incertitudes p. 20

5.2 | Interprétation des résultats p. 22

6 Conclusion p. 22**Références bibliographiques** p. 24**Annexes** p. 25

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

Réalisation de l'étude

Cellule interrégionale d'épidémiologie Aquitaine :
Jean Prévost, Sophie Larrieu et Laurent Filleul

Ont contribué à cette étude

Airaq (Association de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine) :
Florence Péron et 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

AASQA	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air
Airaq	Association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine
APHEA	Air Pollution and Health - a European Approach
CO	monoxyde de carbone
CO₂	dioxyde de carbone
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
Drire	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
EIS	évaluation d'impact sanitaire
Finess	fichier national des établissements sanitaires et sociaux
FN	fumées noires
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
NO₂	dioxyde d'azote
NO_x	oxydes d'azote
O₃	ozone
OMS	Organisation mondiale de la santé
PDU	Plan de déplacement urbain
PM₁₀	particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns
PMSI	Programme de médicalisation des systèmes d'information
PRQA	Plan régional pour la qualité de l'air
Psas-9	Programme de surveillance air et santé - 9 villes
RSA	résumé de sortie anonymisé
SO₂	dioxyde de soufre
UV	ultraviolet

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 : 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 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 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 : polluants particulaires de taille très variable (diamètre inférieur à 10 µm) 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 | Introduction

Le Plan régional pour la qualité de l'air (PRQA), prévu par la loi du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie et dont les modalités de mise en œuvre sont précisées par le décret du 6 mai 1998, fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. Il s'appuie notamment sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé publique. Cette évaluation est également un outil de planification et d'évaluation des politiques publiques puisqu'elle permet, d'une part de fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air et, d'autre part, de mesurer l'impact sur la santé publique et l'efficacité des mesures de prévention.

“Améliorer la connaissance de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé” constitue la 4^e orientation du PRQA [1] de la région Aquitaine et la réalisation d'une

évaluation de l'impact sanitaire sur les agglomérations de plus de 100 000 habitants telles que Pau, en est une des priorités.

Cette étude suit la démarche méthodologique d'évaluation d'impact sanitaire (EIS) décrite par l'Institut de veille sanitaire (InVS) [2], en accord avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS), pour calculer l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique en termes de morbidité (admissions hospitalières) et de mortalité anticipée. De plus, une évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique à long terme sur la mortalité est réalisée dans cette étude grâce aux résultats des études épidémiologiques internationales préconisés dans le guide méthodologique de l'InVS réactualisé en 2003 [3].

2 | Description de la zone d'étude

L'agglomération de Pau est située dans le département des Pyrénées-Atlantiques et dans la région Aquitaine. Elle subit les influences de l'océan Atlantique et de la chaîne des Pyrénées qui se conjuguent pour produire un climat océanique atténué : un hiver doux et un printemps pluvieux.

La température moyenne mensuelle ne dépasse pas les 23°C l'été et ne s'abaisse pas en dessous de 4°C en hiver. Les précipitations annuelles dépassent 1 000 mm. Le vent est particulièrement faible et est orienté préférentiellement à l'ouest en été, à l'ouest ou à l'est en hiver.

2.1 | Choix de la zone d'étude

La sélection de la zone d'étude repose sur l'identification d'une zone urbaine où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être estimée et considérée comme homogène. Cela implique que la zone d'étude définie réponde aux critères suivants :

- pas de rupture d'urbanisation ;
- la qualité de l'air (mesurée par des stations de fond) et la répartition des émissions peuvent être considérées, a priori, comme homogènes ;

- la majorité de la population séjourne en permanence dans la zone.

Selon le critère de continuité urbaine avec le centre ville, on pouvait inclure dans la zone d'étude en première intention 22 communes qui abritaient au dernier recensement de l'Insee de 1999 une population de 145 020 habitants. Pour faciliter les calculs d'impact ultérieurs, nous avons en seconde intention choisi d'inclure aux côtés de la commune de Lescar sept petites communes de même code postal (cf. tableau 1 lignes

23 à 29) qui respectent moins ce critère de continuité urbaine mais dont la population totale (5 553 habitants soit 3,6 % du total de la zone d'étude) ne saurait *in fine* modifier le sens de nos résultats.

Ce sont donc 29 communes regroupant une population de 150 573 habitants qui sont retenues (cf. tableau 1).

L'étude des déplacements de population (navettes domicile-travail¹) dans la zone définie par ces 29 communes montrait que près de 84 % de ces déplacements s'effectuaient en son sein (cf. annexe 1). Une grande majorité de la population séjourne donc toute la journée dans la zone d'étude.

Airaq, Association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air (AASQA) en Aquitaine, a fourni les valeurs moyennes des différents polluants mesurés au niveau des stations

de fond. Différentes expertises (ingénieur Ddass et référents Airaq) ont conforté la définition première de la zone d'étude :

- la répartition des émissions a été jugée suffisamment homogène ;
- l'exposition des populations les plus excentrées (en particulier celle des sept communes sus-citées) est finalement peu différente, à la fois parce que beaucoup travaillent sur Pau et parce que certains polluants (O₃ et PM₁₀) présentent des concentrations similaires sur de grandes étendues.

Au final, les 29 communes ont été retenues pour constituer la zone d'étude. Cette zone sera dénommée par la suite "agglomération de Pau", elle est présentée sur la figure 1.

Figure 1 - Zone d'étude : agglomération de Pau



Source : Geoflat.

¹ Source : Insee-Données 1999.

2.2 | Population et établissements de soins

Densités de population

La zone d'étude représente une population totale de 150 573 habitants au dernier recensement Insee de 1999.

La densité globale de cette zone est de 497 habitants

par km². Le tableau 1 présente la répartition des populations au sein des 29 communes retenues et les densités de population correspondantes.

Tableau 1 - Répartition de la population sur la zone d'étude, Insee Recensement 1999

Code Insee	Commune	Population en 1999	Superficie (km ²)	Densité (hab/km ²)
64037	Arbus	1 031	13,9	74
64041	Aressy	543	2,1	258
64060	Artiguelouve	1 252	10,7	117
64073	Aubin	183	5,8	32
64080	Aussevielle	479	3,3	145
64121	Beyrie-en-Béarn	131	2,7	48
64129	Billère	13 398	4,6	2 912
64132	Bizanos	4 673	4,4	1 062
64142	Bougarber	650	10,3	63
64183	Caubios-Loos	411	7,2	57
64198	Denguin	1 462	12,3	119
64237	Gelos	3 666	11,0	333
64269, 64439, 64518	Idron Ousse-Sendets	5 154	20,0	258
64284	Jurançon	7 378	18,8	392
64315	Laroin	849	7,0	121
64329	Lée	778	2,9	268
64335	Lescar	8 191	26,5	309
64348	Lons	11 154	11,5	970
64373	Mazères-Lezons	2 143	4,0	536
64374	Mazerolles	749	11,7	64
64387	Momas	391	14,5	27
64445	Pau	78 732	31,5	2 499
64448	Poey-de-Lescar	1 288	6,7	192
64467	Rontignon	685	7,1	96
64478	Saint-Faust	730	13,5	54
64511	Sauvagnon	2 351	16,7	141
64525	Siros	594	2,2	270
64549	Uzein	818	16,2	50
64550	Uzos	709	3,5	203
Total		150 573	302,9	497

Le tableau 2 montre la répartition par tranche d'âge de la population de la zone d'étude.

Tableau 2 - Répartition de la population de la zone d'étude par tranches d'âge, Insee Recensement 1999

Commune	Population 0-14 ans	Population 15-64 ans	Population ≥ 65 ans
Arbus	206	708	117
Aressy	91	345	107
Artiguelouve	270	854	128
Aubin	32	124	27
Aussevielle	110	328	41
Beyrie-en-Béarn	33	83	15
Billère	2 113	8 625	2 660
Bizanos	766	2 920	987
Bougarber	126	440	83
Caubios-Loos	96	264	51
Denguin	300	995	167
Gelos	616	2 350	700
Idron-Ousse-Sendets	1 094	3 534	526
Jurançon	1 166	4 776	1 436
Laroin	160	579	110
Lée	171	529	78
Lescar	758	5 426	1 007
Lons	2 203	7 645	1 306
Mazères-Lezons	385	1 434	324
Mazerolles	147	509	96
Momas	78	247	66
Pau	10 261	52 832	15 639
Poey-de-Lescar	224	910	154
Rontignon	98	488	99
Sauvagnon	495	1 625	231
Saint-Faust	136	488	106
Siros	116	429	49
Uzein	146	586	86
Uzos	99	417	193
Total	23 494	100 490	26 589

Attractivité hospitalière

Les établissements de soins présents dans la zone d'étude et susceptibles de recevoir les patients souffrant des pathologies retenues pour cette étude (pathologies respiratoires, cardiaques et cardio-vasculaires) sont au nombre de cinq : un centre hospitalier et quatre cliniques. La liste est présentée en annexe 2.

Ces cinq établissements prennent en charge environ 90 % des hospitalisations de la population de la zone d'étude (cf. annexe 2).

Sources de pollution

La principale source de pollution atmosphérique dans l'agglomération paloise est très majoritairement liée aux transports routiers.

Le dernier inventaire d'émissions de polluants dans l'atmosphère est un peu ancien puisqu'il a été réalisé en 1994 par le Centre interprofessionnel technique d'études de la pollution atmosphérique (Citepa) [4]. Les transports routiers étaient déjà responsables de l'émission d'une grande majorité des polluants atmosphériques avec des parts de 82,6 %, 84,8 % et 59,1 % pour respectivement les NO_x (mono et dioxyde d'azote), le CO (monoxyde de

carbone) et les COV (composés organiques volatils) (cf. tableau 3 ci-dessous).

Depuis cette date, le trafic routier s'est intensifié dans une agglomération qui, parallèlement, s'est peu industrialisée et les émissions de la principale source industrielle située à 25 kilomètres à l'ouest de l'agglomération ont fortement régressé.

Tableau 3 - Émissions de polluants atmosphériques dans l'unité urbaine de Pau en 1994

Sources de pollution	% émissions NO _x	% émissions CO	% émissions COV
Transports routiers	82,6	84,8	59,1
Industrie et traitement déchets	9,3	0,6	12,1
Résidence et tertiaire	7,1	12,0	14,0
Extraction et transferts d'énergie	2,3	0,0	13,4

3 | Matériel et méthodes

3.1 | Méthodologie de l'EIS

Cette étude repose sur les principes méthodologiques de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine proposée par l'Institut de veille sanitaire.

Cette méthodologie se décompose en quatre étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque et caractérisation du risque.

Identifications des dangers

Cette étape a pour objectif d'établir les dangers liés à un polluant à partir de données toxicologiques et épidémiologiques.

Les effets connus de la pollution atmosphérique sur la santé à l'échelle des populations urbaines sont les effets sur la mortalité toutes causes, cardio-vasculaire et respiratoire ; ainsi que ceux sur la morbidité étudiés au travers des admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires.

L'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité se traduit par un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné au cours d'une année. Un décès anticipé est un décès qui n'aurait pas eu lieu ce jour-là si le niveau de

pollution avait été inférieur à celui mesuré. La méthodologie d'analyse de séries temporelles utilisée dans les études pour estimer les relations à court terme ne permet pas d'estimer ce délai d'anticipation, mais il serait de l'ordre de quelques semaines à quelques mois selon le type de pathologie à l'origine du décès.

Estimation de l'exposition

C'est une étape fondamentale dont l'objectif est de quantifier l'exposition à laquelle est soumise la population 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.

Les indicateurs de pollution retenus pour étudier les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont ceux visés par le décret relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et l'environnement (décret 2002-213 du 15 février 2002).

Cinq polluants mesurés en routine permettent la construction des indicateurs d'exposition pour les études d'impact sanitaire : les particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 microns (PM₁₀), les fumées noires (FN) et le dioxyde de soufre (SO₂) pour la pollution acido-particulaire, le dioxyde d'azote (NO₂) et l'ozone (O₃) pour la pollution photo-oxydante. Dans cette étude, nous

nous sommes intéressés uniquement aux PM₁₀, au NO₂ et à l'O₃ car les fumées noires n'étaient pas disponibles et les concentrations en SO₂ étaient négligeables sur notre zone d'étude.

Il est nécessaire de construire, pour chaque polluant, un indicateur d'exposition reflétant au mieux les concentrations auxquelles la population est soumise.

L'estimation de l'exposition repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières.

La méthode utilisée pour la construction des indicateurs d'exposition pour les études à court terme et à long terme est identique, mais pour le calcul de l'impact sanitaire à long terme c'est la moyenne annuelle qui est prise en compte. En effet, les relations exposition-risque à long terme disponibles sont basées sur des moyennes annuelles d'exposition.

Choix des relations exposition-risque

Dans son guide méthodologique [2], l'InVS a retenu des relations exposition-risque issues d'études épidé-

miologiques, réalisées en population générale, 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.

Dans les tableaux 4 à 8, les risques relatifs des fonctions exposition-risque apparaissent en gras lorsqu'ils sont significatifs.

EIS court terme

Depuis la parution du guide méthodologique de l'InVS en 1999, les fonctions exposition-risque concernant ces indicateurs ont été actualisées d'une part, au niveau européen, dans le cadre du programme Air Pollution and Health - a European Approach [5] (APHEA 2) et, d'autre part, au niveau national, dans le cadre du Psas-9 [6]. Elles ont donc été actualisées dans le second guide de l'InVS de 2003.

- Mortalité totale, cardio-vasculaire et respiratoire

Les fonctions exposition-risque produites par le Psas-9 phase II sont utilisées pour NO₂ et O₃.

En revanche, pour les PM₁₀, les fonctions exposition-risque du programme APHEA 2 sont utilisées.

Tableau 4 - Risques relatifs de mortalité (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des indicateurs de pollution

Mortalité	PM ₁₀ ¹	NO ₂ ²	O ₃ ²
Toutes causes	1,006 [1,004-1,008]	1,010 [1,007-1,013]	1,007 [1,003-1,010]
Cardio-vasculaire		1,012 [1,005-1,018]	1,011 [1,004-1,018]
Respiratoire		1,013 [1,005-1,021]	1,012 [1,006-1,019]

¹ Source : APHEA 2.

² Source : Psas-9 phase 2.

- Admissions hospitalières

Les fonctions exposition-risque établies pour ces indicateurs sanitaires dans le cadre du Psas-9 comportent un degré d'incertitude incompatible avec leur utilisation en routine pour la réalisation d'EIS. Les fonctions exposition-risque élaborées dans le cadre d'APHEA 1 [7] et APHEA 2 [8] sont donc utilisées.

Tableau 5 - Risques relatifs (IC 95 %) d'admissions hospitalières pour pathologies respiratoires pour une exposition de 0-1 jour et une augmentation de 10 µg/m³ des polluants

Polluant	Admissions hospitalières pour pathologies respiratoires	
	Chez les 15-64 ans	Chez les 65 ans et plus
PM ₁₀		1,009 [1,006-1,013] ²
NO ₂	1,002 [0,997-1,007] ¹	1,004 [0,996-1,012] ¹
O ₃ été	1,004 [0,998-1,010] ¹	1,008 [1,004-1,014] ¹

¹ Source APHEA 1.

² Source APHEA 2.

Concernant les admissions hospitalières pour pathologies cardio-vasculaires, les fonctions exposition-risque utilisées pour l'indicateur de pollution NO₂ sont celles préconisées dans le guide méthodologique de l'InVS 1999 [2] et correspondent à un méta-risques calculé à partir de deux études [9,10].

Pour les PM₁₀, des relations exposition/risque ont été produites dans le cadre du programme APHEA 2 [11] pour les indicateurs de pathologies cardiaques uniquement.

EIS long terme

Pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme, c'est la fonction exposition-risque utilisée dans l'étude trinationale [12], analysant l'impact des PM₁₀ sur la mortalité toutes causes, qui est utilisée. Cette fonction est également retenue par l'OMS.

Caractérisation du risque

Cette étape permet de quantifier l'impact sanitaire en calculant un nombre de cas attribuables à un indicateur d'exposition donné pour un indicateur sanitaire donné, sur la période d'étude choisie.

Le nombre d'événements sanitaires attribuables à un niveau de pollution atmosphérique donné est calculé à partir du risque relatif associé au niveau de pollution étudié et du nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période considérée, selon la formule suivante :

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

- PA = proportion d'événements sanitaires attribuables au niveau de pollution considéré ;
- RR = risque relatif associé au niveau de pollution et fourni par la courbe dose-réponse ;
- f = fraction de la population exposée.

Tableau 6 - Risques relatifs (IC 95 %) d'admissions hospitalières pour pathologies cardio-vasculaires pour une exposition de 0-1 jour et une augmentation de 10 µg/m³ des polluants

Polluant	Saison	Pathologies cardio-vasculaires tous âges
NO ₂	Hiver	1,010 [1,006-1,014]
NO ₂	Été	1,012 [1,007-1,017]

Tableau 7 - Risques relatifs (IC 95 %) d'admissions hospitalières pour pathologies cardiaques pour une exposition de 0-1 jour et une augmentation de 10 µg/m³ des PM₁₀

Polluant	Admissions pour pathologies cardiaques	
	Tous âges	65 ans et plus
PM ₁₀	1,005 [1,002-1,008]	1,007 [1,004-1,010]

Tableau 8 - Risques relatifs (IC 95 %) de mortalité à long terme pour une augmentation de 10 µg/m³ des PM₁₀

Mortalité	PM ₁₀
Toutes causes	1,043 [1,026-1,061]

Dans le cas de la pollution atmosphérique :

- f = 1, car toute la population est considérée comme exposée au niveau de pollution retenu ;
- RR = RR_Δ, où RR_Δ est l'excès de risque associé au différentiel de pollution Δ étudié, donné par relation exposition-risque. En effet, le risque relatif n'est pas calculé en référence à un niveau pollution nul dont le RR serait égal à 1 mais à un niveau de base non nul fonction de la distribution de l'indicateur considéré au cours de la période d'étude et de l'objectif de l'EIS.

Le nombre d'événements attribuables (NA) est donc calculé, non pas pour un niveau de pollution donné mais pour un différentiel de pollution donné selon la formule simplifiée suivante :

$$NA = ((RR_{\Delta}-1)/RR_{\Delta}) \times N, \text{ où :}$$

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

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 saisonnier est ensuite obtenu en sommant les événements sanitaires attribuables pour chaque jour.

Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine. Cependant, les risques relatifs 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 étudié.

Le calcul de l'impact à long terme quant à lui n'est pas fait pour chaque jour mais pour l'année à partir de la moyenne annuelle du polluant considéré.

3.2 | Définition des périodes d'études

Au moment de la réalisation de l'étude, les dernières données disponibles pour les admissions hospitalières concernaient l'année 2003. Mais les données de pollution atmosphérique ne peuvent être jugées représentatives au vu des caractéristiques climatiques exceptionnelles présentées par cette année-là.

Par contre, pour l'année 2002, on dispose :

- pour chacun des polluants, de données presque exhaustives et sans qu'aucune journée ne bénéficie d'au moins une mesure ;
- de caractéristiques météorologiques proches de celles observées habituellement dans la zone d'étude.

Cependant les dernières données de mortalité disponibles sont celles de l'année 2001 : selon toute vraisemblance, elles sont suffisamment proches dans notre zone d'étude de celles concernant l'année 2002 pour pouvoir être utilisées sans risque de modification notable des résultats.

La période d'étude concerne donc l'année 2002, tant pour l'analyse de l'impact sanitaire à court terme que pour l'analyse de l'impact sanitaire à long terme.

Les saisons tropicales sont définies pour l'été : du 1^{er} avril au 30 septembre 2002 et pour l'hiver : du 1^{er} janvier au 31 mars et du 1^{er} octobre au 31 décembre 2002.

3.3 | Construction des indicateurs d'exposition

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

- les niveaux des indicateurs de pollution des stations étudiées doivent être proches et refléter les mêmes phénomènes de pollution ;
- les niveaux journaliers des indicateurs de pollution doivent être bien corrélés dans le temps entre les différentes stations ;
- une station donnée doit pouvoir être qualifiée, du point de vue de son environnement, comme représentative de l'exposition de la population.

Les indicateurs d'exposition sont ensuite construits en calculant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs des stations sélectionnées. Pour l'ozone, le maximum journalier des moyennes glissantes sur huit heures est retenu.

Données de surveillance de la qualité de l'air

L'association Airaq a progressivement mis en place, à partir de 1998, des stations de mesure dans l'agglomération de Pau.

Sur la zone d'étude retenue, trois stations sont actuellement exploitées. Deux stations urbaines dites "de fond" mesurent la pollution régnant sur un large périmètre et représentant la qualité de l'air respiré par les habitants de la zone. Une station de proximité automobile mesure la pollution émise par le trafic routier en centre ville.

Les caractéristiques des stations de mesure présentes sur la zone d'étude sont décrites dans les tableaux 9 et 10. Pour chacune de ces stations, des mesures régulières des polluants sont effectuées en continu et de manière automatique par les capteurs en place. Les polluants mesurés en routine depuis 1998 sont le NO₂, le SO₂, l'O₃ et, depuis juillet 1999, les PM₁₀.

Tableau 9 - Caractéristiques des stations de mesure de la zone d'étude¹

Station	Type de station	Environnement immédiat	Hauteur de prélèvement / altitude	Polluants mesurés
Pau Le Hameau	Urbaine de fond	Parc, stade	4 m / 227 m	O ₃ , NO ₂ , NO, PM ₁₀ , SO ₂
Billère	Urbaine de fond	Cimetière	4 m / 195 m	O ₃ , NO ₂ , NO, PM ₁₀ , PM _{2,5} , SO ₂ , HCT, HCN, HCNM
Pau Samonzet	Proximité automobile	Rue canyon	4 m / 200 m	NO ₂ , NO, PM ₁₀ , CO

¹ Source : Airaq.

Tableau 10 - Méthodes de mesures des différents polluants¹

Polluants	Stations de mesure	Méthode de mesure
PM ₁₀	Pau Le Hameau	Jauge β (mesures toutes les 2 heures)
PM ₁₀	Billère, Pau Samonzet	Microbalance (mesures ¼ horaire)
O ₃	Pau Le Hameau, Billère	Photométrie (mesures ¼ horaire)
NO _x	Pau Le Hameau, Billère, Pau Samonzet	Chimiluminescence (mesures ¼ horaire)
SO ₂	Pau Le Hameau, Billère	Fluorescence UV (mesures ¼ horaire)

¹ Source : Airaq.

Sélection des stations de mesure

L'objectif étant de construire, à l'échelle d'une unité urbaine, des indicateurs "d'exposition ambiante", seules les deux stations de fond ont été retenues, à priori, pour la construction des indicateurs d'exposition relatifs aux trois polluants suivants : O₃, NO₂ et PM₁₀. Sur les conseils de Airaq, le SO₂ n'a pas été inclus dans l'étude car les niveaux de pollution de l'agglomération paloise sont trop bas.

Les niveaux de polluants sont exprimés en µg/m³. Les niveaux de NO₂ et des PM₁₀ considérés correspondent à des moyennes journalières. Les niveaux d'O₃ correspondent à la valeur journalière maximale des valeurs des moyennes glissantes sur huit heures. Ces données sont validées par le réseau de mesure Airaq et respectent la règle des 75 % concernant les valeurs manquantes [4] (nécessité de disposer au minimum de 18 mesures horaires sur 24 heures ; dans le cas contraire, la valeur journalière est laissée manquante).

Les caractéristiques des niveaux de pollution mesurés par chaque station se trouvent en annexe 3. On notera que :

- les niveaux de pollution mesurés d'une station à l'autre sont proches ;
- le très petit nombre de valeurs manquantes (et on rappellera que durant la période d'étude au moins une station fournit une valeur journalière).

Par ailleurs, l'homogénéité des mesures entre les deux stations s'est révélée bonne (cf. annexe 4) : les coefficients de corrélation sont respectivement de 0,71 ; 0,84 et 0,86 pour l'O₃, le NO₂ et les PM₁₀.

Les deux stations de fond utilisées dans cette étude peuvent donc être considérées comme représentatives de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique. Par ailleurs, l'homogénéité des mesures en deux points éloignés de la zone d'étude confirme sa pertinence.

3.4 | Indicateurs sanitaires

Données de mortalité

Les données de mortalité ont été obtenues pour l'année 2001 auprès du service CepiDC de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm) par l'intermédiaire de l'Institut de veille sanitaire (InVS). L'étude concerne la mortalité toutes causes confondues (hors morts violentes et accidentelles), la mortalité pour cause respiratoire et pour cause cardio-vasculaire pour les individus domiciliés dans la zone d'étude.

Données de morbidité

Les informations concernant la morbidité hospitalière pour l'année 2002 sont extraites du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) à partir de la base régionale des résumés de sortie anonymisés (RSA) de la Drass d'Aquitaine. Les admissions hospitalières sont comptabilisées, pour les périodes étudiées et les diagnostics retenus, à partir des RSA des patients hospitalisés plus de 24 heures et domiciliés dans la zone d'étude.

4 | Résultats

4.1 | Description des indicateurs de pollution

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition sont présentées dans le tableau 11.

Tableau 11 - Distribution des indicateurs d'exposition, Pau, 2002

Concentrations journalières en $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (moyennes sur 8h pour l' O_3)	O_3	NO_2	NO_2	NO_2	PM_{10}	PM_{10}	PM_{10}
	Été	Année	Été	Hiver	Année	Été	Hiver
Nombre de jours	183	365	183	182	365	183	182
Minimum	31	5	5	7	5	6	5
Percentile 5	48	8	7	11	10	9	11
Percentile 25	67	12	10	17	15	14	16
Médiane	79	16	12	22	21	19	23
Percentile 75	94	23	15	29	27	25	28
Percentile 95	120	35	19	39	43	42	44
Maximum	137	50	25	50	77	58	77
Moyenne	80	18	13	23	22	21	24
Écart-type	21	9	4	9	11	10	11
% valeurs > aux objectifs de qualité	7	2	0	4	16	13	20
% valeurs manquantes	0	0	0	0	0	0	0

Les distributions de ces indicateurs par classe sont présentées sur les figures 2 à 4 et elles ont été comparées aux objectifs de qualité pour le NO_2 , PM_{10} et à la valeur limite pour la protection de la santé pour l' O_3 (décret 2002-213 du 15 février 2002) :

- indicateur O_3 : $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8 heures ;

- indicateur NO_2 : $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle ;
- indicateur PM_{10} : $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle.

L'objectif de qualité est respecté sur 96 % de la période pour l'ozone ($110 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne sur 8h), 98 % de la période pour le NO_2 ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) et 84 % de la période pour les PM_{10} ($30 \mu\text{g}/\text{m}^3$).

Figure 2 - Distribution par classe de l'indicateur d'exposition O_3 , Pau, 2002

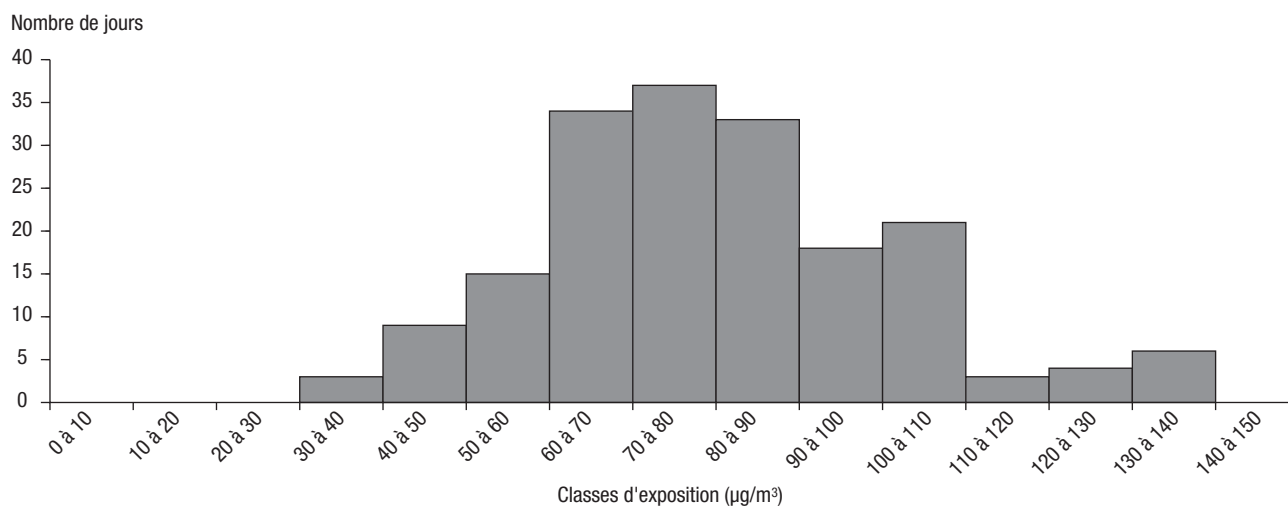


Figure 3 - Distribution par classe de l'indicateur d'exposition NO₂, Pau, 2002

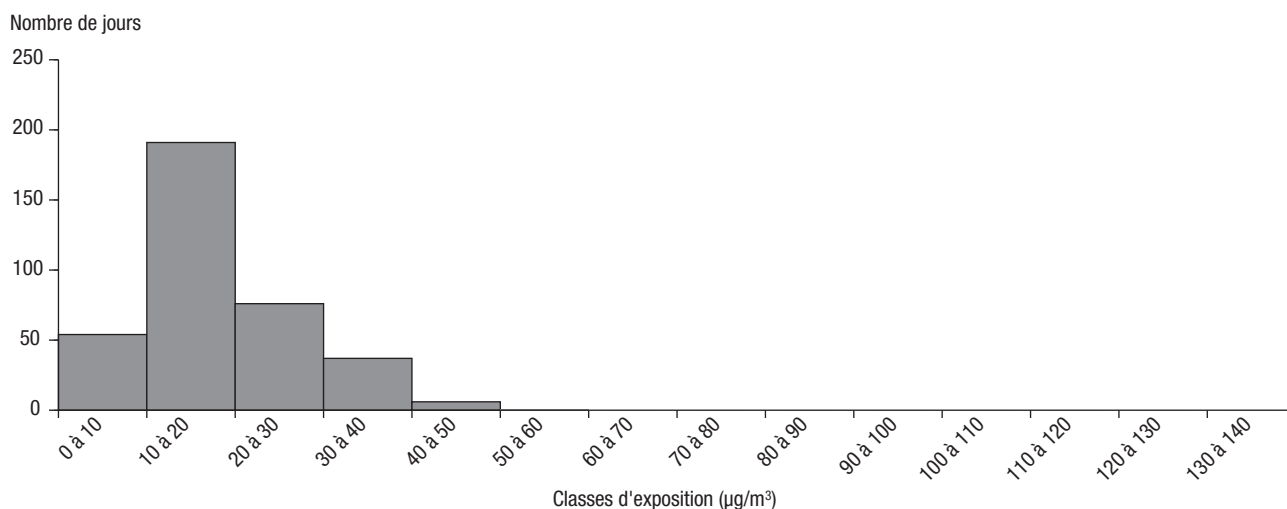
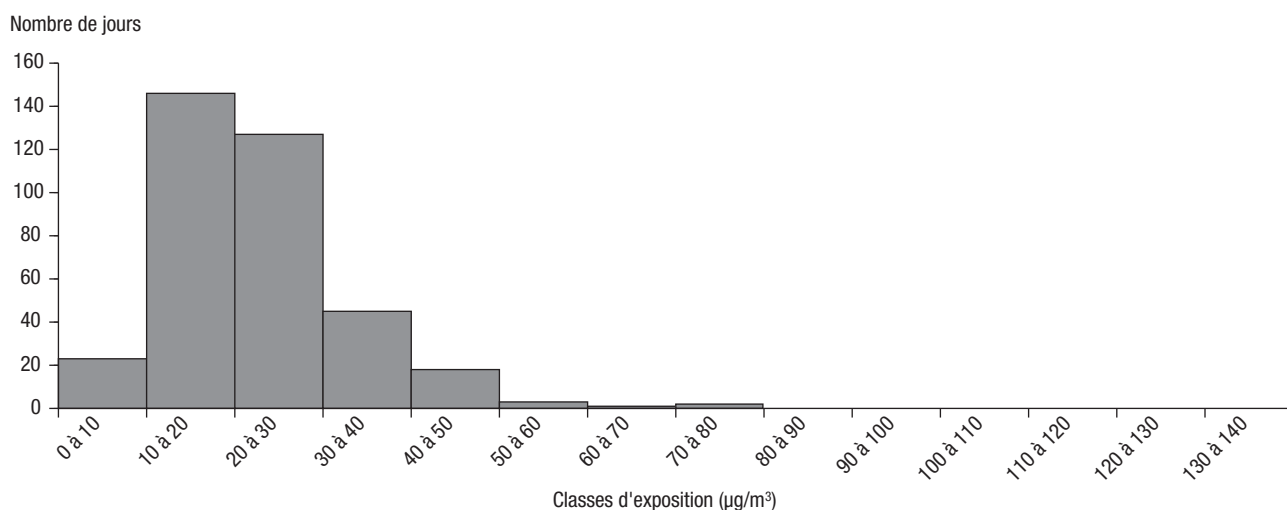


Figure 4 - Distribution par classe de l'indicateur d'exposition PM₁₀, Pau, 2002



4.2 | Description des indicateurs sanitaires

Mortalité

Le nombre de décès toutes causes (hors morts violentes et accidentelles), pour causes cardio-vasculaire et

respiratoire en 2001 sur la zone d'étude est présenté dans le tableau 12.

Tableau 12 - Nombre annuel total de décès et moyennes journalières, Pau, 2001

	Nombre total de décès			Moyenne journalière		
	Été	Hiver	Année	Été	Hiver	Année
Mortalité toutes causes	594	638	1 232	3,12	3,38	3,25
Mortalité respiratoire	38	42	80	0,21	0,23	0,22
Mortalité cardio-vasculaire	195	216	411	1,07	1,18	1,13

Morbidité

L'ensemble des établissements de soins publics ou privés de la zone d'étude susceptibles de prendre en charge des pathologies respiratoires ou cardio-vasculaires a été retenu,

soit un centre hospitalier et quatre cliniques (liste en annexe 2). Le nombre d'admission pour motifs respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques pour l'année 2002 sur la zone d'étude sont présentés dans le tableau 13.

Tableau 13 - Nombre d'admissions hospitalières, Pau, 2002

	Motifs respiratoires		Motifs cardio-vasculaires Tous âges	Motifs cardiaques	
	15-64 ans	> 65 ans		< 65 ans	≥ 65 ans
Année 2002	370	521	2 702	422	1 359
Été 2002	169	207	1 217	165	651
Hiver 2002	201	314	1 485	257	708

4.3 | Caractérisation du risque à court terme

Pour l'année considérée, l'impact sanitaire est calculé pour chaque indicateur de pollution atmosphérique par rapport à une exposition à un niveau faible de pollution, appelé niveau de référence.

Les nombres de cas attribuables calculés pour chaque indicateur d'exposition ne sont pas cumulables mais on peut supposer que le nombre réel de cas attribuables est au moins égal à la valeur maximale observée parmi les différentes estimations. Les résultats présentés indiquent donc le nombre de cas attribuables le plus élevé pour chaque indicateur sanitaire parmi ceux calculés pour l'ensemble des polluants étudiés. Les résultats obtenus pour chaque polluant sont présentés en annexe 5.

Estimation de l'impact sanitaire total

Les niveaux de référence choisis pour cette estimation globale [3] correspondent à des niveaux faibles de pollution,

proches du percentile 5 (tableau 11), ils sont de 40 g/m³ pour l'ozone et de 10 µg/m³ pour le NO₂ et les PM₁₀.

Sur la mortalité anticipée

Le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour l'année 2002 est représenté dans le tableau 14.

L'indicateur d'exposition O₃ est l'indicateur qui a le plus d'impact sur la mortalité (cf. annexe 5).

Ainsi, sur la zone étudiée, le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur l'année 2002 s'élève à 16,5 décès. Plus de la moitié, soient 8,5 décès, sont d'origine cardio-vasculaire et 1,8 d'origine respiratoire.

Tableau 14 - Nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique en fonction de l'indicateur sanitaire étudié, Pau, 2002

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de décès attribuables
Mortalité toutes causes	16,5 [7,0 – 23,8]
Mortalité respiratoire	1,8 [0,9 – 2,9]
Mortalité cardio-vasculaire	8,5 [3,0 – 14,1]

Sur la morbidité hospitalière

Pour les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires, le calcul est effectué sur l'ensemble de la population tous âges confondus. Pour les admissions pour motifs respiratoires, le calcul est effectué pour deux

tranches d'âge : 15-64 ans et 65 ans et plus. Enfin, pour les admissions pour motifs cardiaques, le calcul est effectué pour l'ensemble de la population et pour la tranche d'âge des 65 ans et plus.

Tableau 15 - Nombre d'hospitalisations attribuables à la pollution atmosphérique en fonction de la pathologie étudiée, Pau, 2002

Indicateurs sanitaires d'exposition	Nombre de cas attribuables
Morbidité respiratoire	
15 à 64 ans	2,7 [0 - 6,8]
65 ans et plus	6,6 [3,2 - 11,5]
Morbidité cardio-vasculaire	
	20,2 [12,1 - 28,3]
Morbidité cardiaque	
Tous âges	11,2 [4,5 - 18,0]
65 ans et plus	11,9 [6,8 - 17,1]

Pour l'année 2002, l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est de 20 admissions pour pathologies cardiovasculaires pour toute la population et 7 admissions pour pathologies respiratoires chez les personnes de 65 ans et plus (le nombre de cas attribuables pour la morbidité respiratoire chez les 15-64 ans n'est pas significatif).

On compterait 11 hospitalisations pour motif cardiaque attribuables à la pollution atmosphérique. Ce chiffre est du même ordre de grandeur que le nombre d'admissions hospitalières calculé pour les personnes âgées de 65 ans et plus, ceci s'expliquant par le fait que le risque relatif correspondant est plus important pour cette tranche d'âge (cf. tableau 7).

Impact sanitaire par niveaux de pollution

La répartition de l'impact sanitaire en fonction de chaque niveau d'exposition peut être représentée sous forme graphique.

Quel que soit le couple indicateur d'exposition/indicateur sanitaire observé, si les jours les plus pollués ont un impact sanitaire journalier plus important, leur faible fréquence en limite l'effet sur la totalité d'une année. Ces résultats sont illustrés par deux exemples sur les figures 5 et 6.

Figure 5 - Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers à O₃ et des décès toutes causes associés en fonction des classes d'exposition, Pau, 2002

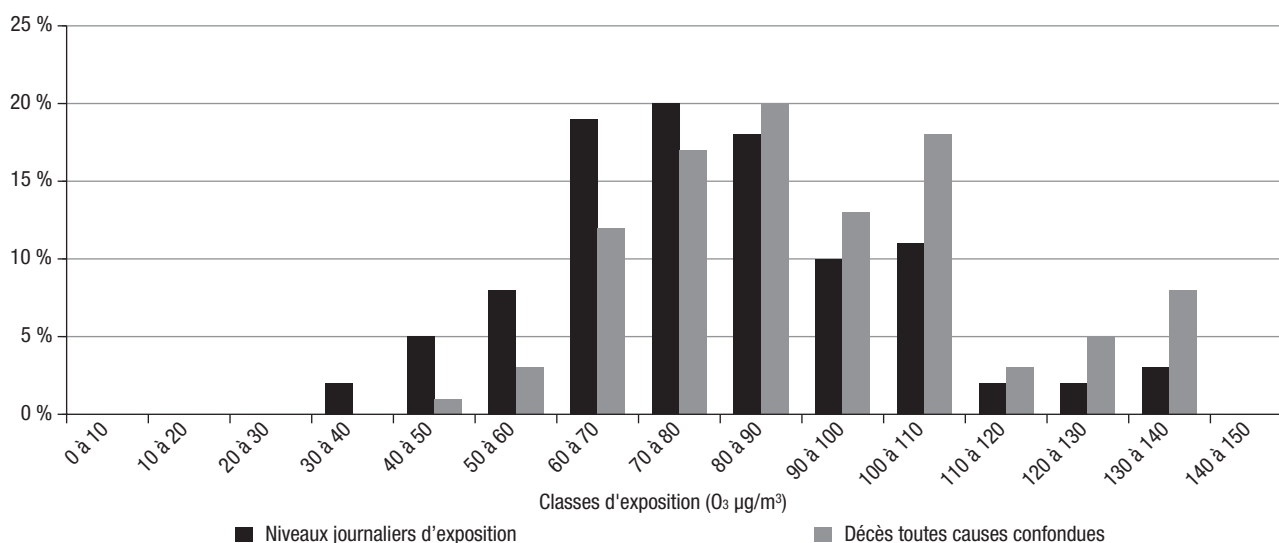
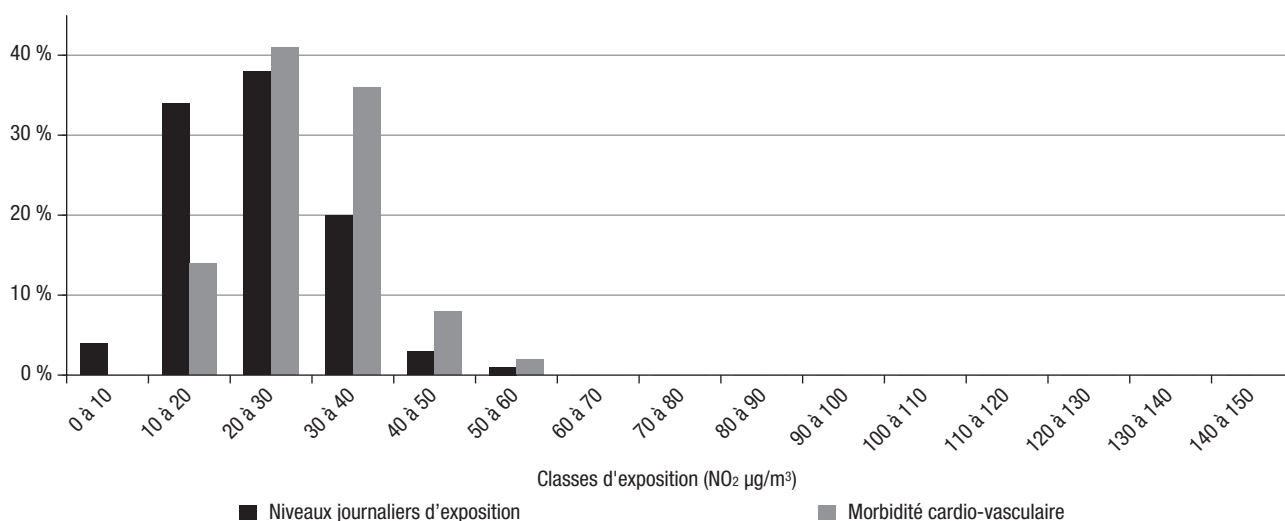


Figure 6 - Répartition en pourcentage des niveaux d'exposition journaliers à NO₂ et des admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires associées en fonction des classes d'exposition, Pau, 2002



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

Les gains sanitaires sont calculés pour deux scénarios différents.

- Scénario 1 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution des niveaux dépassant les objectifs de qualité pour chaque polluant :
 - indicateur O₃ : le niveau de référence est de 110 µg/m³ en moyenne sur 8 heures ;

- indicateur NO₂ : le niveau de référence est de 40 µg/m³ en moyenne annuelle ;
- indicateur PM₁₀ : le niveau de référence est de 30 µg/m³ en moyenne annuelle.

- Scénario 2 : gain sanitaire potentiellement lié à la diminution de 25 % des moyennes journalières pour chaque polluant.

Gains sanitaires pour la mortalité anticipée

Tableau 16 - Nombre de décès évitables suivant les scénarios de réduction de la pollution, Pau, 2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombres de décès évitables
Mortalité toutes causes	Scénario 1	0,50 [0,21 – 0,71]
	Scénario 2	8,03 [3,43 – 11,48]
Mortalité respiratoire	Scénario 1	0,06 [0,03 – 0,09]
	Scénario 2	0,87 [0,43 – 1,37]
Mortalité cardio-vasculaire	Scénario 1	0,26 [0,09 – 0,43]
	Scénario 2	4,06 [1,47 – 6,67]

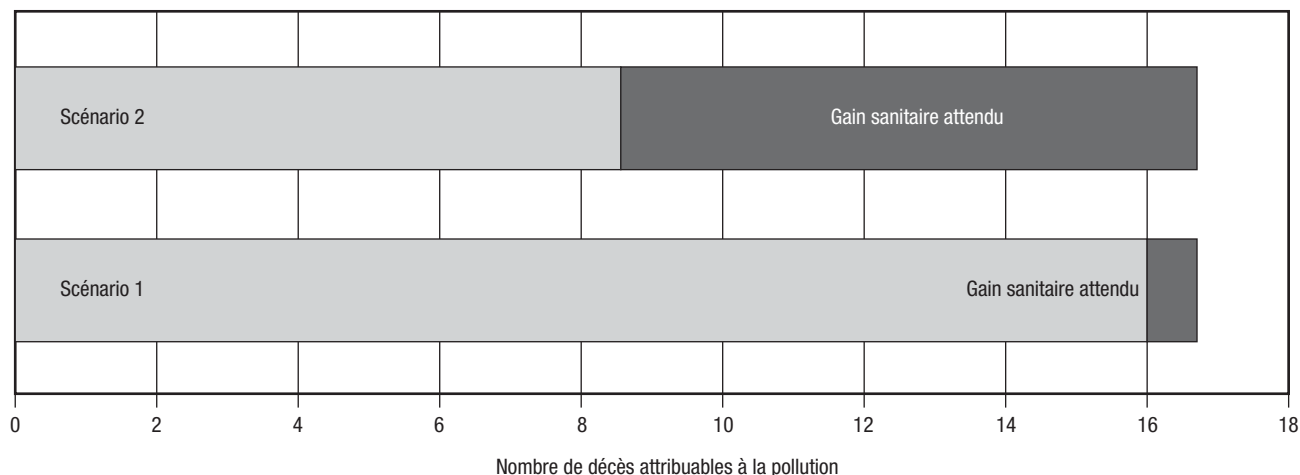
Quel que soit l'indicateur de mortalité observé, le gain sanitaire potentiellement obtenu par le scénario 2 est toujours très supérieur au gain sanitaire obtenu par le scénario 1.

Ainsi, une diminution de 25 % de la pollution par l'O₃ entraînerait un gain sanitaire sur la mortalité toutes causes attribuable à la pollution de l'air de l'ordre de 50 %, avec un nombre de décès anticipés potentiellement évitables égal à 8 décès comparé à 1 décès avec le scénario 1.

Pour les mortalités pour causes respiratoires et cardio-vasculaires, les gains sanitaires potentiellement obtenus avec le scénario 1 sont de 3 % alors qu'ils sont égaux à 50 % avec le scénario 2.

Le gain sanitaire attendu, correspondant au nombre de cas de décès anticipés potentiellement évitables par la mise en place des scénarios 1 ou 2, peut être représenté sous forme graphique pour chaque scénario comme l'illustre la figure 7.

Figure 7 - Gains sanitaires attendus concernant la mortalité toutes causes anticipée, Pau, 2002



Gains sanitaires pour la morbidité

Là encore, les gains sanitaires calculés pour les différents indicateurs de morbidité sont plus importants lorsqu'on applique le scénario 2 de réduction de la pollution atmosphérique, les résultats sont présentés pour chaque indicateur sanitaire dans le tableau 17.

L'efficacité des scénarios est illustrée sous forme graphique (figures 8 à 10).

Si l'application du scénario 1 ne permet qu'un gain sanitaire de l'ordre de 3 %, le gain sanitaire obtenu en appliquant le deuxième scénario est de l'ordre de 50 % avec 3 admissions hospitalières pour cause respiratoire de personnes de plus de 65 ans évitables sur les 6 admissions imputables à la pollution atmosphérique

Tableau 17 - Nombre d'admissions hospitalières potentiellement évitables (toutes choses égales par ailleurs) suivant les scénarios de réduction de la pollution, Pau, 2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombre de cas évitables
Morbidity respiratoire 65 ans et plus	Scénario 1	0,2 [0,1 - 0,4]
	Scénario 2	3,2 [1,6 - 5,6]
Morbidity cardio-vasculaire	Scénario 1	0,2 [0,1 - 0,3]
	Scénario 2	8,5 [5,1 - 11,9]
Morbidity cardiaque tous âges	Scénario 1	1,6 [0,6 - 2,6]
	Scénario 2	4,9 [1,9 - 7,8]
65 ans et +	Scénario 1	1,7 [1,0 - 2,5]
	Scénario 2	5,2 [3,0 - 7,5]

Figure 8 - Gains sanitaires attendus concernant la morbidité respiratoire chez les sujets âgés de 65 ans et plus, Pau, 2002

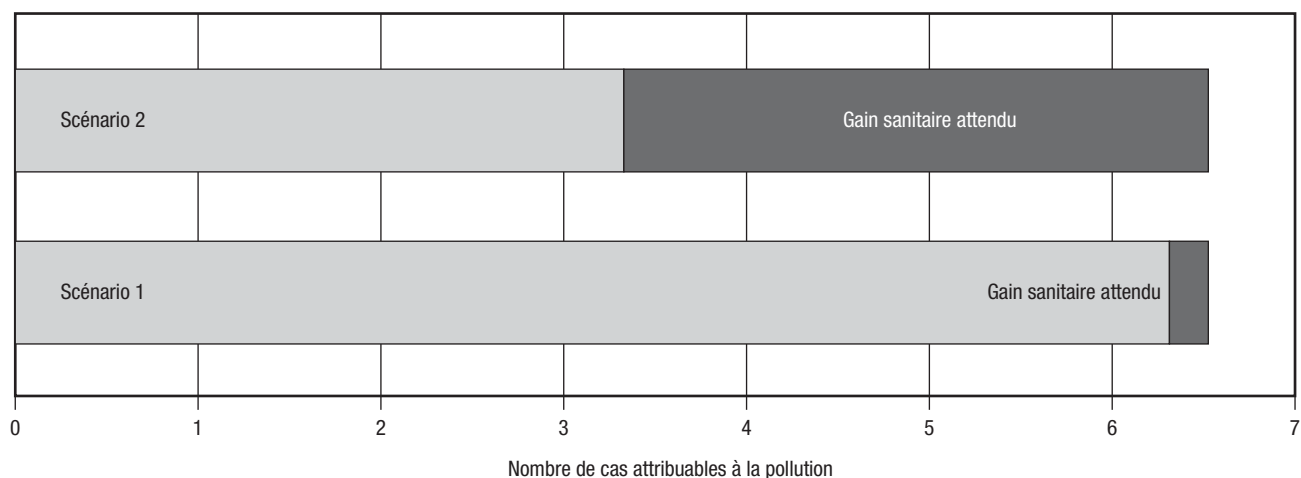


Figure 9 - Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardio-vasculaire, Pau, 2002

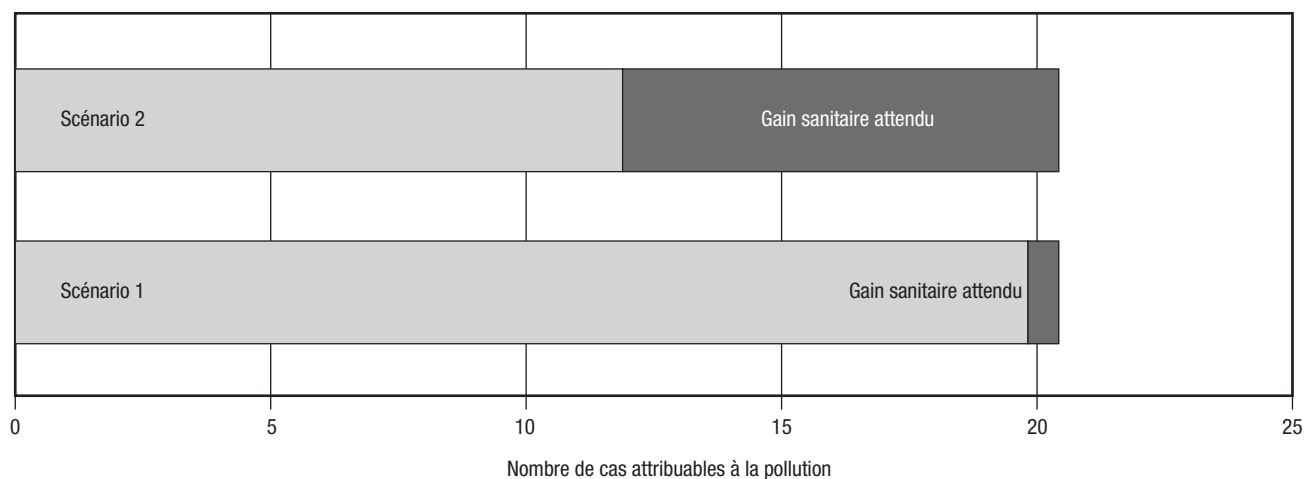
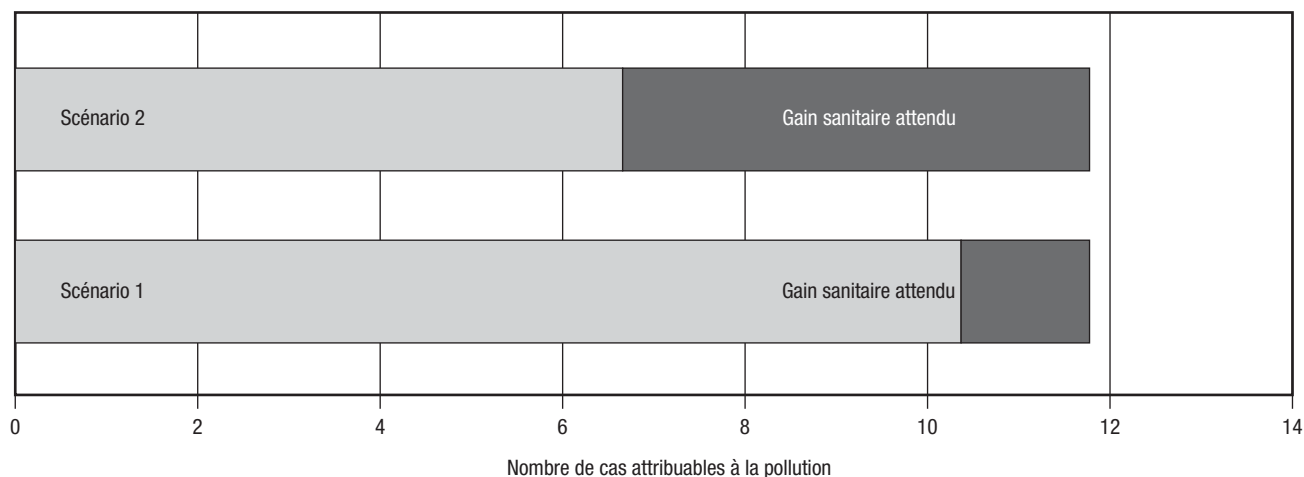


Figure 10 - Gains sanitaires attendus concernant la morbidité cardiaque chez les sujets âgés de 65 ans et plus, Pau, 2002



4.4 | Caractérisation du risque à long terme

Les différents scénarios de l'EIS long terme sont les suivants :

- scénario 1 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40 µg/m³, valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2005 ;
- scénario 2 : gain sanitaire lié à la diminution de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 20 µg/m³,

valeur limite européenne pour la protection pour la santé prévue en 2010 ;

- scénario 3 : gain sanitaire lié à la diminution de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle des PM₁₀ ;
- scénario 4 : gain sanitaire lié à la diminution de 30 % de la moyenne annuelle des PM₁₀.

Les résultats obtenus après simulation de ces scénarios sont présentés dans le tableau 18.

Tableau 18 - Nombre de décès toutes causes attribuables à la pollution atmosphérique (PM₁₀) pour les quatre scénarios de l'EIS long terme

	Nombre de décès	IC 95 %
Scénario 1	0,0	-
Scénario 2	11,7	[7,1 – 16,4]
Scénario 3	25,7	[15,6 – 36,3]
Scénario 4	32,9	[20,0 – 46,6]

Le gain sanitaire obtenu avec le premier scénario est nul puisque la moyenne annuelle observée sur les données de l'année 2002, égale à 22 µg/m³, est inférieure au seuil de la norme européenne applicable en 2005 (40 µg/m³).

Le respect de la valeur limite européenne pour la protection de la santé prévue en 2010 (scénario 2), aurait permis en 2002 un gain sanitaire à long terme de l'ordre de 12 décès

évitables. Le scénario 3, qui consiste à diminuer la moyenne actuelle de 5 µg/m³, soit une moyenne annuelle de l'ordre de 17 µg/m³, aurait permis un gain sanitaire annuel égal à 26 décès évitables. Enfin, une diminution de 30 % soit une moyenne annuelle de l'ordre de 15,5 µg/m³ (scénario 4) se traduirait par un gain sanitaire de 33 décès évitables.

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 des vingt dernières années. L'évaluation de l'impact sanitaire ne vise pas à démontrer ces effets, mais à les quantifier au niveau local.

Les résultats de cette étude doivent être interprétés en tenant compte des hypothèses, limites et incertitudes liées à la démarche d'une EIS qui entraînent le plus souvent une sous-estimation de l'impact sanitaire global.

5.1 | Hypothèses, limites et incertitudes

L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine sur la zone d'étude définie autour de la commune de Pau a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide de l'InVS [2], actualisé en mars 2003 [3]. Les quatre étapes de la démarche

décrite dans le guide ont été réalisées : identification des dangers, choix des relations exposition/risque, estimation de l'exposition et caractérisation du risque.

Identification des dangers

Cette première étape 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 ne sont pas pris en compte 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, seul est étudié l'impact de la pollution atmosphérique extérieure de fond.

Relations exposition-risque

La démarche d'une EIS implique de conserver, à chaque étape, la plus grande adéquation entre les caractéristiques de l'EIS et celles des études épidémiologiques ayant produit les fonctions exposition/risque utilisées.

Les courbes exposition/risque fondées sur des observations épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition ont été obtenues à partir d'une zone géographique différente de notre zone d'étude qui peut être soumise à une pollution atmosphérique différente. Cependant, l'utilisation des courbes exposition/risque obtenues lors des dernières études européenne (APHEA 2) et française (Psas-9) pour l'estimation des impacts à court terme limite cet inconvénient. En effet, ces études ont notamment montré la cohérence des relations exposition/risque sur la mortalité et les admissions pour motif respiratoire [11,12] et ce, quelles que soient les caractéristiques locales.

Les incertitudes liées à l'utilisation des fonctions exposition/risque pour la mortalité totale à long terme sont plus importantes. En effet, ces fonctions ont été établies dans des populations américaines potentiellement différentes des populations étudiées ici en termes de causes de mortalité, d'exposition et de caractéristiques sociodémographiques.

Estimation de l'exposition

L'exposition est estimée pour la population entière séjournant dans la zone d'étude retenue et non sur un plan individuel. En effet, un même niveau d'exposition est attribué pour tous les individus de cette population alors que les individus sont exposés, au cours d'une même journée, à des niveaux de pollution variables, qui peuvent être beaucoup plus importants en proximité automobile.

Suite aux déplacements personnels ou professionnels, une partie de la population peut s'absenter de la zone d'étude. De même, la zone d'étude retenue peut être une zone attractive importante pour une population ne résidant pas dans la zone d'étude définie. Il apparaît donc que les incertitudes liées aux mouvements de population peuvent conduire selon les cas à surestimer ou à sous-estimer l'impact sanitaire.

En outre, le niveau moyen de pollution sur la zone d'étude est calculé à partir des valeurs enregistrées par les stations de mesure. Il est donc dépendant de l'implantation de ces capteurs. De ce fait, une implantation différente des capteurs aurait pu conduire à des estimations de niveaux d'exposition différentes. Néanmoins, l'analyse des données enregistrées permet de penser que l'indicateur d'exposition construit est bien représentatif de l'exposition moyenne de la population.

Caractérisation du risque

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 sur estimé du fait d'erreurs potentielles de diagnostic et/ou de codage, mais ce biais est partiellement contrôlé par le regroupement de ces admissions hospitalières en grandes catégories diagnostiques.

De plus, la non prise en compte dans le PMSI des passages sans hospitalisation dans les services d'urgences conduit également à sous estimer le nombre d'événements de santé et donc l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

5.2 | Interprétation des résultats

Compte tenu des incertitudes et limites présentées ci-dessus, les résultats doivent être interprétés comme des ordres de grandeur de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé de la population de la zone d'étude définie. Il s'agit d'une estimation basée sur les acquis scientifiques actuels et les données locales disponibles.

Le calcul d'un risque attribuable à un facteur de risque nécessite que la relation entre l'exposition au facteur de risque et la maladie soit de nature causale. La confrontation des nombreux résultats épidémiologiques aux critères de causalité habituellement retenus a permis de conclure que la pollution atmosphérique constitue bien un facteur de risque pour la santé de nature causale.

Dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique, les impacts estimés par indicateur de pollution ne s'additionnent pas. Ainsi, si les polluants ont une toxicité propre, leur niveau est avant tout un indicateur d'un mélange chimique complexe. La notion de

risque attribuable doit donc s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine, facteur de risque supposé causal, approché indirectement par les indicateurs de pollution. Une action visant à réduire le niveau d'un indicateur sans réduction de la pollution globale ne produirait donc pas les effets positifs escomptés. Une politique de réduction des risques ne peut être envisagée qu'au travers d'une approche globale (réduction des émissions liées à l'ensemble des sources), la pollution atmosphérique dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser.

L'estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à court terme se traduit par un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné au cours d'une année. Le nombre de décès anticipés calculé ne s'interprète pas comme un excès absolu de mortalité, mais comme une estimation du nombre d'individus qui ont vu, au cours de l'année étudiée, leur espérance de vie réduite d'une durée correspondant à cette anticipation.

6 | Conclusion

Un impact collectif à court terme sur la mortalité et sur la morbidité non négligeable

Pour l'année 2002, l'impact global de la pollution atmosphérique pour la zone d'étude définie autour de Pau est estimé à :

- 17 décès anticipés (dont 9 décès suite à une pathologie cardio-vasculaire et 2 décès suite à une pathologie respiratoire) ;
- 20 hospitalisations pour pathologies cardio-vasculaires et 7 pour pathologies respiratoires.

Ces résultats montrent que même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont faibles, la quantité importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif sur la mortalité et la morbidité non négligeable.

Un impact sanitaire à long terme mesurable

Cette étude a permis d'estimer le nombre de décès potentiellement évitables à long terme selon différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique.

La norme européenne prévue pour 2005 était d'ores et déjà respectée sur la zone d'étude en 2002. Le respect de la norme européenne prévue pour 2010 devrait permettre d'éviter 12 décès sur la totalité des décès enregistrés sur une année.

Il faut aussi noter qu'une diminution plus volontariste de 30 % de la moyenne des PM₁₀ porterait ce gain sanitaire à 33 décès chaque année.

Recommandations

Les épisodes de pollution atmosphérique dépassant les seuils réglementaires de recommandations et d'alerte monopolisent souvent l'attention et sont perçus comme des situations "d'alerte sanitaire". Or, si les jours de "forte" pollution sont ceux dont l'impact journalier est bien le plus important, leur faible fréquence leur confère un rôle limité en terme d'impact sanitaire annuel.

Cette étude montre que les effets sanitaires apparaissent déjà à des niveaux de pollution bien inférieurs à ceux pour lesquels les mesures sont prises actuellement. Ainsi, une réduction du niveau annuel moyen de pollution de 25 % s'accompagnerait d'une réduction de 40 à 50 % des effets

sanitaires dus à la pollution atmosphérique alors que la seule suppression des pointes de pollution dépassant les niveaux réglementaires actuels n'apporterait qu'une réduction de 3 %.

Les actions les plus efficaces seront donc celles qui à la diminution du nombre de pics annuels de pollution associeront, au quotidien, une réduction des émissions à la source.

Des résultats à enrichir et à communiquer

Les résultats présentés dans cette étude pourront être régulièrement actualisés en fonction de la disponibilité de données sanitaires plus récentes. De plus, cette étude peut être considérée comme un état des lieux qui permettra de mesurer l'impact sanitaire de la mise en place du Plan de déplacement urbain dans l'agglomération paloise.

L'estimation de l'impact sanitaire à court terme sur les hospitalisations et à long terme devra également être revue dès que des fonctions exposition/risque nationales ou européennes auront pu être élaborées, de manière à limiter les incertitudes liées notamment aux différences entre les populations américaines et les populations étudiées.

La communication des résultats de cette étude aux décideurs, aux médias et au public devrait permettre une meilleure sensibilisation aux dangers de la pollution atmosphérique respirée quotidiennement par l'ensemble de la population, de relativiser les effets sanitaires des pics de pollution 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] Plan régional pour la qualité de l'air de la région Aquitaine, Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement de la région Aquitaine - Mars 2002.
- [2] Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Guide méthodologique, Institut de veille sanitaire - Juillet 1999.
- [3] Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Actualisation du guide méthodologique : recommandations provisoires pour les évaluations de l'impact sanitaire court terme et long terme, Institut de veille sanitaire - Juin 2003.
- [4] Inventaire des émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air, CITEPA Rapport Centre - Octobre 1997.
- [5] Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopoli 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 APHEA 2 project. *Epidemiology*. 2001 Sep;12(5):521-31.
- [6] Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain- PSAS-9 phase II. Institut de veille sanitaire - Juin 2002.
- [7] 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.
- [8] 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 APHEA 2 project. *Air pollution and health: a European approach. Am J Respir Crit Care Med.*, 2001 Nov 15; 164(10 Pt 1): 1860-6.
- [9] Medina S. *et al.* ERPURS : analyse des liens à court terme entre pollution atmosphérique et santé. Résultats 1991-1995. Rapport d'étude de l'Observatoire Régional de Santé d'Île de France. Paris, 1997.
- [10] Poloniecki JD, *et al.* Daily time series for cardiovascular hospital admissions and previous day's air pollution in London, UK. *Occupational Environmental Medicine* 1997; 54: 535-40.
- [11] Le Tertre A, Médina 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.
- [12] Künzli N, Kaiser R, Médina S *et al.* Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet* 2000 ; 356:795-801.

Annexes

Annexe 1

Navettes domicile-travail, source Insee 1999

Total déplacements	Déplacements dans la même commune	Déplacements dans la zone d'étude
57 025	24 379 (42,8 %)	48 874 (83,7 %)

Annexe 2

Liste des établissements de soins inclus dans l'étude, source : Base Finess

(<http://finess.sante.gouv.fr/finess/index.html>)

N° Finess	Raison sociale	Localisation	Caractéristiques
640781290	CH Pau	Pau	Centre hospitalier
640781225	Clinique cardiologique d'Aressy	Aressy	Soins courte durée
640780946	Clinique Ecot-Gaucher	Pau	Soins courte durée
640780938	Clinique Marzet	Pau	Soins courte durée
640781308	Clinique de diabétologie nutrition endocrinologie	Aressy	Soins courte durée

Attractivité hospitalière, source Base PMSI régionale, 2002

	Centre hospitalier de Pau	Total établissements inclus dans l'étude
Affections respiratoires	65 %	92,5 %
Affections cardiaques	33,7 %	88,9 %
Affections cardio-vasculaires	40,6 %	90,3 %

Annexe 3

Distribution de l'indicateur d'exposition O₃ en µg/m³ par station, Pau, été 2002

	Pau Le Hameau	Billère
Moyenne	88	72
Médiane	86	73
Écart type	18,3	28,3
Centile 5	59	20
Centile 25	76	60
Centile 75	100	89
Centile 95	122	122
Minimum	40	13
Maximum	137	139
% Valeurs manquantes	0	3,3

Distribution de l'indicateur d'exposition NO₂ en µg/m³ par station, Pau, 2002

	Pau Le Hameau	Billère
Moyenne	17	18
Médiane	16	16
Écart type	6,5	11,6
Centile 5	9	6
Centile 25	13	9
Centile 75	22	25
Centile 95	29	42
Minimum	6	3
Maximum	44	56
% Valeurs manquantes	3,3	3

Distribution de l'indicateur d'exposition PM₁₀ en µg/m³ par station, Pau, 2002

	Le Hameau	Billère
Moyenne	20	25
Médiane	18	23
Écart type	10,4	11,6
Centile 5	8	10
Centile 25	13	17
Centile 75	25	30
Centile 95	41	47
Minimum	4	6
Maximum	74	79
% Valeurs manquantes	1,6	4,4

Annexe 4

Coefficients de corrélation entre les stations de mesure, Pau, 2002

O₃	Pau Le Hameau	Billère
Pau Le Hameau	1	0,71
Billère	0,71	1
NO₂	Pau Le Hameau	Billère
Pau Le Hameau	1	0,84
Billère	0,84	1
PM₁₀	Pau Le Hameau	Billère
Pau Le Hameau	1	0,86
Billère	0,86	1

Annexe 5

Nombre de décès anticipés par polluant pour chaque indicateur sanitaire et chaque saison étudiés, Pau, 2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombre de cas attribuables
Mortalité toutes causes		
	O ₃ été	16,53 [7,03 – 23,76]
	NO ₂ année	10,39 [7,27 – 13,52]
	PM ₁₀	9,31 [6,20 – 12,43]
Mortalité cardio-vasculaire		
	O ₃ été	8,49 [3,04 – 14,09]
	NO ₂ année	4,17 [1,73 – 6,26]
Mortalité respiratoire		
	O ₃ été	1,81 [0,90 – 2,91]
	NO ₂ année	0,88 [0,34 – 1,42]

Nombre d'admissions hospitalières par polluant pour chaque pathologie et chaque saison étudiée, Pau, 2002

Indicateurs sanitaires d'exposition		Nombre de cas attribuables
Morbidité respiratoire 15-64 ans		
	O ₃ été	2,69 [0 – 6,81]
	NO ₂ année	0,62 [0 – 2,19]
Morbidité respiratoire 65 ans et plus		
	O ₃ été	6,56 [3,25 – 11,52]
	NO ₂ année	1,76 [0 – 5,30]
	PM ₁₀ année	5,90 [3,92 – 8,54]
Morbidité cardio-vasculaire		
	NO ₂ hiver	20,17 [12,08 – 28,29]
	NO ₂ été	4,72 [2,76 – 6,68]
Morbidité cardiaque tous âges		
	PM ₁₀ année	11,21 [4,48 – 17,96]
Morbidité cardiaque 65 ans et plus		
	PM ₁₀ année	11,94 [6,81 – 17,09]

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique sur l'agglomération de Pau s'inscrit dans la continuité des orientations du Plan régional pour la qualité de l'air de la région Aquitaine, qui fixe les orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique.

Cette étude repose sur les quatre étapes de la démarche d'EIS de la pollution atmosphérique définies par l'InVS. L'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique a été calculé en termes de morbidité (admissions hospitalières) et de mortalité anticipée. La zone d'étude était constituée de 29 communes où l'exposition de la population à la pollution atmosphérique pouvait être considérée comme homogène, soit un total d'environ 150 000 habitants. Les indicateurs de pollution retenus sont construits pour trois polluants mesurés en routine sur la zone : NO₂, O₃ et PM₁₀.

Le nombre total de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique sur l'année 2001 s'élève à 17 décès dont 9 suite à une pathologie cardio-vasculaire et 2 suite à une pathologie respiratoire. Concernant la morbidité, 20 admissions pour causes cardio-vasculaires étaient attribuables à la pollution en 2002, 11 pour motifs cardiaques et 7 pour motifs respiratoires chez les personnes âgées de 65 ans et plus. Le calcul des gains sanitaires associé à différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique montre que les scénarios les plus efficaces sont ceux qui correspondent à des diminutions de 25 % de la moyenne annuelle du polluant considéré. Concernant les gains sanitaires à long terme, le respect de la norme européenne prévue en 2010 devrait permettre d'éviter 12 décès par an.

Cette étude montre que, même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont faibles, le nombre important de personnes exposées aboutit à un impact collectif non négligeable. Elle montre également que les effets sanitaires apparaissent déjà à des niveaux de pollution bien inférieurs à ceux pour lesquels les mesures sont prises actuellement et que les actions les plus efficaces seraient donc celles qui associeraient une réduction des émissions à la source de façon quotidienne à une diminution importante du nombre de pics annuels de pollution.

A health impact assessment of air pollution based on the InVS guidelines has been conducted in Pau according to the regional Plan for the quality of air in the region of Aquitaine. Short-term effects of pollutants on morbidity (hospital admissions in 2002) and mortality (deaths in 2001) have been estimated. Long-term effect on mortality was also assessed.

This study is based on the four standardised steps of health risk assessment. It has been carried out in twenty-nine cities homogeneously exposed, belonging to Pau agglomeration, i.e. a study population of about 150,000 inhabitants. Atmospheric pollution indicators analysed are ozone, nitrogen dioxide, and particles having diameter below 10 µm. 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 17 anticipated deaths, including 7 for cardiovascular reason and 2 for respiratory reason. Concerning morbidity, it generated 20 hospital admissions for cardiovascular reason in 2002, 11 for cardiac reason, and 7 for respiratory reason among elderly people. Regarding long-term health gains, an annually decrease according to the European standards levels of 2010 could allow avoiding 12 deaths per year, and a decrease by 30% of the pollutants could allow avoiding 33 premature deaths per year.

This study shows that, even if the relative risks associated to air pollution are quite low, the number of attributable cases is non negligible since everyone is exposed to air pollution. It also shows 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 every day and total pollutants emissions would be more efficient.



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Cellule interrégionale d'épidémiologie Aquitaine
12, rue du Val d'Osne - 94415 Saint-Maurice cedex
Tél. : 33(0) 1 41 79 67 00 - Fax : 33(0) 1 41 79 67 67
<http://www.invs.sante.fr>

ISBN : 2-11-096304-2
Tirage : 250 exemplaires
Dépôt légal : Juillet 2006
Réalisation : Labrador
Impression : France Repro - Maisons-Alfort