

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Agglomérations d'Angoulême, Niort et Poitiers
Impact à court et long terme



**Ministère des Solidarités,
de la Santé et de la Famille**

Drass Centre
Drass Poitou-Charentes
Cire Centre-Ouest



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Réalisation de l'étude :

- **Cellule interrégionale d'épidémiologie Centre-Ouest, Drass du Centre**
Daniel Rivière

Ont contribué à cette étude :

- **Atmo Poitou-Charentes (réseau de surveillance régionale de la qualité de l'air)**
Alain Gazeau
Edwige Revelat
- **Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de la Charente**
Yves Kerspern
- **Direction départementale des affaires sanitaires et sociales des Deux-Sèvres**
Lionel Rimbaud
- **Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de la Vienne**
Daniel Doucelin
- **Direction régionale des affaires sanitaires et sociales de Poitou-Charentes**
Thierry Michon
Dr François Mirland
Hervé Schoen
- **Observatoire régional de la santé de Poitou-Charentes**
Julie Debarre
- **Centre hospitalier d'Angoulême**
Dr Albert Vuagnat
- **Clinique Sainte Marie (Isle d'Espagnac-16)**
Dr Guy Devaud
- **Centre hospitalier universitaire de Poitiers**
Pr Pierre Ingrand

Sommaire

Acronymes	4
Introduction	5
1. Description des zones d'étude	7
1.1. Climat et topographie.....	7
1.2. Population et déplacements.....	7
1.2.1. Nombre d'habitants et densités de population.....	7
1.2.2. Déplacements domicile/travail.....	8
1.2.3. Caractéristiques des populations.....	9
1.2.4. Sources de pollution atmosphérique.....	9
1.2.5. Surveillance de la qualité de l'air.....	9
a. Description des stations de mesure.....	9
b. Niveaux de pollution moyens enregistrés en 2001 – 2002.....	10
2. Matériel et méthodes	13
2.1. Identification des dangers.....	13
2.2. Choix des relations exposition-risque.....	13
2.2.1. Fonctions exposition / risque court terme.....	13
2.2.2. Fonctions exposition / risque long terme.....	14
2.3. Estimation de l'exposition.....	15
2.4. Caractérisation de l'impact sanitaire.....	15
2.4.1. Principe du calcul.....	15
2.4.2. Recueil des données sanitaires.....	15
3. Résultats	17
3.1. Estimation de l'exposition.....	17
3.1.1. Populations exposées.....	17
3.1.2. Niveaux d'exposition.....	17
a. Choix des polluants.....	17
b. Période d'étude.....	17
c. Sélection des stations.....	18
d. Indicateurs d'exposition.....	18
3.1.3. Caractérisation de l'impact sanitaire.....	19
a. Indicateurs sanitaires.....	19
b. Estimation de l'impact sanitaire.....	20
3.2. Discussion.....	24
3.2.1. Hypothèses, limites et incertitudes.....	24
a. Identification des dangers.....	24
b. Relations exposition risque.....	25
c. Estimation de l'exposition.....	25
d. Caractérisation de l'impact sanitaire.....	25
3.2.2. Interprétation des résultats.....	26
4. Conclusion	27
5. Bibliographie	29
6. Annexes	31

Acronymes

APHEA	Air pollution and health - An european approach
APPA	Association pour la prévention de la pollution atmosphérique
CH	Centre hospitalier
CépiDc	Centre d'épidémiologie des causes médicales de décès
Cim	Classification internationale des maladies
Cire	Cellule interrégionale d'épidémiologie
Citepa	Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique
Cotrim	Comité technique régional de l'information médicale
Ddass	Direction départementale des affaires sanitaires et sociales
DDE	Direction départementale de l'équipement
DIM	Département d'information médicale
DP	Diagnostic principal
Drass	Direction régionale des affaires sanitaires et sociales
Drire	Direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement
EIS	évaluation de l'impact sanitaire
Erpurs	évaluation des risques de la pollution urbaine pour la santé
IGN	Institut géographique national
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
OMS	Organisation mondiale de la santé
ORS	Observatoire régional de la santé
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
RSS	résumé de sortie standardisé
Rum	résumé d'unité médicale
CO	monoxyde de carbone
FN	fumées noires
NOx	oxydes d'azote
NO₂	dioxyde d'azote
O₃	ozone
PS	particules en suspension
SO₂	dioxyde de soufre

Introduction

La loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 énonce, en son article premier, le principe général selon lequel est reconnu à chacun le droit à respirer un air qui ne nuise pas à sa santé et prévoit notamment l'élaboration des Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA). Les PRQA sont des documents d'orientation et permettent d'afficher des objectifs de qualité de l'air et de réduction des immissions polluantes.

C'est dans le cadre du projet du PRQA de la région Poitou-Charentes [1] que la Ddass de la Charente, des Deux-Sèvres, de la Vienne et la Drass de Poitou-Charentes ont demandé à la Cellule interrégionale d'épidémiologie du Centre-Ouest de réaliser une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) sur les agglomérations d'Angoulême, Niort et Poitiers.

En effet, les risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique sont maintenant bien établis en ce qui concerne les effets survenant à court terme et à long terme. Les connaissances acquises ces dernières années offrent désormais la possibilité de recourir à l'évaluation de l'impact sanitaire pour quantifier les effets de la pollution de l'air extérieur sur une population urbaine à l'échelon local.

Pour ce faire, l'Institut de veille sanitaire (InVS) a publié en juin 2003 un guide méthodologique d'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine [2] accompagné d'un classeur Excel permettant de réaliser les calculs nécessaires. Ce guide constitue une mise à jour du précédent, publié en juillet 1999.

L'objet de cette étude utilisant la méthodologie de l'InVS, est :

- d'estimer l'impact à court terme de la pollution actuelle sur la mortalité toutes causes et sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires dans les agglomérations d'Angoulême, Niort et Poitiers ;
- d'estimer l'impact à long terme de la pollution actuelle sur la mortalité toutes causes ;
- de comparer l'efficacité, en terme de gain sanitaire pour la population, de différentes stratégies de réduction de la pollution afin d'orienter les décisions pouvant avoir une influence sur la qualité de l'air.

1. Description des zones d'étude

Afin de conduire l'évaluation de l'impact sanitaire, il importe de déterminer une zone où une population est exposée, en moyenne, à un même niveau de pollution journalier.

Pour chacune des agglomérations de Poitiers, Niort et Angoulême, la zone retenue doit respecter les conditions suivantes :

- l'urbanisation doit être continue 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) ;
- la situation et les débits d'émissions des sources doivent être assez homogènes sur la zone ;
- la population doit résider la majeure partie de son temps à l'intérieur de la zone d'étude ;
- les mesures de pollution effectuées sur la zone d'étude doivent être qualitativement et quantitativement disponibles et validées, avec un nombre de capteurs bien placés au regard de la mesure de l'exposition moyenne de la population.

Ainsi, pour chacune des trois agglomérations, la zone délimitée remplissant au mieux les critères de sélection comprend les communes suivantes :

- agglomération d'Angoulême : Angoulême, La Couronne, Gond-Pontouvre, L'Isle d'Espagnac, Magnac-sur-Touvre, Ruelle-sur-Touvre, Saint-Michel, Soyaux ;
- agglomération de Niort : Aiffres, Niort ;
- agglomération de Poitiers : Biard, Buxerolles, Chasseneuil-du-Poitou, Poitiers, Saint-Benoît.

Les paramètres intervenant dans l'évaluation de l'impact sanitaire et ceux justifiant la sélection des communes retenues sont décrits ci-après.

1.1. Climat et topographie

Pour chacune des trois agglomérations, le climat est de type océanique avec des températures douces présentant de faibles gradients mensuels (source : Météo-France). Le brassage régulier de l'air ainsi que l'ouverture topographique de ces unités urbaines (dénivelés variant entre 20 et 40 m pour Poitiers et Niort, 70 m pour Angoulême) ne représentent pas des obstacles majeurs à la dispersion des vents et donc à l'accumulation des polluants atmosphériques (source : Météo-France).

1.2. Population et déplacements

1.2.1. Nombre d'habitants et densités de population

Les tableaux suivants présentent les données de population et de densité par commune.

Tableau 1. Agglomération d'Angoulême (Insee 99)

Communes	Superficie (km ²)	Population sans double compte	Densité (hab/km ²)
Angoulême	21,85	43 171	1 976
La Couronne	28,82	6 861	238
Gond-Pontouvre	7,45	5 971	801
L'Isle d'Espagnac	5,95	4 921	827
Magnac-sur-Touvre	7,82	2 828	362
Ruelle-sur-Touvre	10,66	7 220	677
Saint-Michel	2,46	2 960	1 203
Soyaux	12,76	10 177	798
Total	97,77	84 109	860,3

Tableau 2. Agglomération de Niort (Insee 99)

Communes	Superficie (km ²)	Population sans double compte	Densité (hab/km ²)
Niort	68,20	56 663	831
Aiffres	25,72	4 598	179
Total	93,92	61 261	652,27

Tableau 3. Agglomération de Poitiers (Insee 99)

Communes	Superficie (km ²)	Population sans double compte	Densité (hab/km ²)
Poitiers	42,11	83 448	1 982
Biard	7,47	1 501	201
Buxerolles	9,10	8 787	966
Chasseneuil du Poitou	17,61	3 845	218
Saint-Benoît	13,58	7 008	516
Total	89,87	104 589	1 163,8

Sur l'agglomération niortaise, seules Niort et Aiffres ont été sélectionnées, le critère de continuité urbaine n'ayant pas pu être obtenu pour les autres communes de cette unité urbaine.

1.2.2. Déplacements domicile/travail

Les données sur les navettes domicile-travail sont issues du recensement général de la population de 1999. Les zones d'étude regroupent pour chacune des agglomérations les communes précédemment sélectionnées.

Tableau 4. Déplacements domicile-travail (Insee 99)

Zone d'étude	Population	Nombre d'actifs avec emploi	% population travaillant à l'intérieur de la zone d'étude	% population quittant la zone d'étude pour travailler
Angoulême	84 109	30 766	29,0	6,8
Niort	61 261	25 029	32,1	8,7
Poitiers	104 589	37 916	29,4	7,6

Pour chacune des agglomérations, la très grande majorité des personnes résidentes (plus de 91 %) ne quitte pas le périmètre d'étude pour travailler.

1.2.3. Caractéristiques des populations

La répartition par tranche d'âge de la population est représentée dans le tableau 5 ci-dessous.

Tableau 5. Distribution de la population par classe d'âge (Insee 99)

Zones d'étude	0-14 ans		15-64 ans		65 ans et +	
	effectifs	%	effectifs	%	effectifs	%
Angoulême	13 504	16,1	54 178	64,4	16 406	19,5
Niort	9 578	15,6	40 118	65,5	11 561	18,9
Poitiers	13 468	12,8	76 108	72,7	15 045	14,4

La proportion des personnes de plus de 65 ans est sensiblement moins élevée dans l'agglomération de Poitiers (14,4 %) que dans celles de Niort et Angoulême (19 à 19,5 %).

1.2.4. Sources de pollution atmosphérique

Le Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (Citepa) [3] a réalisé en 1997 une étude sur les émissions de polluants atmosphériques en estimant les proportions attribuables aux différentes sources de pollution. Même si ces informations sont relativement anciennes, on peut considérer a priori que la situation n'a sensiblement pas évolué depuis.

Au sein des trois agglomérations, le SO₂, le CO et les NO_x sont principalement imputables aux transports routiers à l'exception d'Angoulême où la contribution de l'activité industrielle est supérieure à celle des transports routiers pour les oxydes d'azote.

Tableau 6. Emissions de polluants atmosphériques dans les unités urbaines
Source : Citepa, 1997

Polluant	SO ₂	NO _x	CO
% industrie et traitement des déchets			
Poitiers	17,3	8,2	0,6
Niort	27,3	6,1	3,9
Angoulême	40,6	51,2	3,1
% résidentiel et tertiaire			
Poitiers	22,8	5,9	11,5
Niort	19,0	3,2	17,7
Angoulême	20,0	4,9	14,8
% transports routiers			
Poitiers	54,8	83,4	86,8
Niort	44,6	65,5	61,9
Angoulême	30,1	36,5	81,1

1.2.5. Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air dans les agglomérations de Poitiers, Niort et Angoulême est assurée par l'association Atmo Poitou-Charentes.

Cette association a été créée en 1996 pour assurer la surveillance de la qualité de l'air en région Poitou-Charentes et elle est membre du réseau de la fédération nationale "Atmo" constitué des 39 réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique.

La surveillance de la qualité de l'air dans les trois agglomérations est organisée comme suit :

a. Description des stations de mesure

Angoulême

Sur l'agglomération d'Angoulême, Atmo Poitou-Charentes dispose de trois stations de mesure, implantées en zone urbaine et périurbaine.

Tableau 7. Angoulême - description des stations

	Nom de la station		
	Champ de Mars	L'Isle d'Espagnac	La Couronne
Commune	Angoulême	L'Isle d'Espagnac	La Couronne
Type de station	Urbaine	Périurbaine	Périurbaine
Environnement immédiat	Au centre d'une grande place avec parkings autour		
Source de pollution	Automobile et domestique	Automobile	Domestique et automobile
Hauteur de prélèvement	5 m	3 m	4 m
Polluants mesurés	SO ₂ , PM ₁₀ , NOx, O ₃ , CO	NOx, PM ₁₀ , O ₃	NOx, O ₃ , PM ₁₀ , SO ₂
Technique de mesure	Automatique	Automatique	Automatique
Date de mise en service	08/1995	07/1997	10/1997

Niort

Sur l'agglomération de Niort, Atmo Poitou-Charentes dispose de deux stations de mesure, implantées en zone urbaine et périurbaine.

Tableau 8. Niort - description des stations

	Nom de la station	
	J. Ferry	J. Zay
Commune	Niort	Niort
Type de station	Urbaine	Périurbaine
Environnement immédiat		
Source de pollution	Automobile et domestique	Automobile
Hauteur de prélèvement	3 m	3 m
Polluants mesurés	PM ₁₀ , NOx, O ₃ , CO	NOx, PM ₁₀ , SO ₂ , O ₃
Technique de mesure	Automatique	Automatique
Date de mise en service	02/1998	02/1998

Poitiers

Sur l'agglomération de Poitiers, Atmo Poitou-Charentes dispose de trois stations de mesure, implantées en zone urbaine et périurbaine.

Tableau 9. Poitiers - description des stations

	Nom de la station		
	Place du Marché	Les Couronneries	Chasseneuil
Commune	Poitiers	Poitiers	Chasseneuil du Poitou
Type de station	Urbaine	Périurbaine	Périurbaine
Environnement immédiat	Route peu circulante		
Source de pollution	Automobile et domestique	Automobile et industrielle	Domestique et automobile
Hauteur de prélèvement	3 m	3 m	3 m
Polluants mesurés	SO ₂ , PM ₁₀ , NOx, O ₃ , CO	SO ₂ , NOx, PM ₁₀ , O ₃	NOx, O ₃ , PM ₁₀
Technique de mesure	Automatique	Automatique	Automatique
Date de mise en service	09/1995	08/1997	10/1995

b. Niveaux de pollution moyens enregistrés en 2001 – 2002

La période d'étude choisie couvre deux saisons tropicales : 1^{er} avril 2001 au 31 mars 2002. Les niveaux moyens de pollution sur l'année considérée sont comparés aux valeurs d'objectifs de qualité de l'air du décret 2002-213 du 15 février 2002 relatif à la surveillance de la qualité de l'air.

Tableau 10. Niveaux moyens de pollution 2001-2002 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à Angoulême

Indicateurs d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		La Couronne Péri-urbaine	Champs de Mars Urbaine	L'Isle d'Espagnac Péri-urbaine	Objectif de qualité décret 2002-213
NO ₂	Moy. 24 h annuelle	18,5	29	15	40
SO ₂	Moy. 24 h annuelle	1,5	2,5	-	50
O ₃	Moy. 8 h annuelle	69,5	61,5	72,5	-
	Max moy. 8 h	143	135	143	110
PM ₁₀	Moy. 24 h annuelle	21	19,5	12,5	30

Tableau 11. Niveaux moyens de pollution 2001- 2002 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à Niort

Indicateurs d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		J. Zay Péri-urbaine	J. Ferry Urbaine	Objectif de qualité décret 2002-213
NO ₂	Moy. 24 h annuelle	12,5	22	40
SO ₂	Moy. 24 h annuelle	0,5	-	50
O ₃	Moy. 8 h annuelle	69	66	-
	Max moy. 8 h	147	142	110
PM ₁₀	Moy. 24 h annuelle	19	19,5	30

Tableau 12. Niveaux moyens de pollution 2001-2002 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$) à Poitiers

Indicateurs d'exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)		Couronneries Péri-urbaine	Marché Urbaine	Chasseneuil Péri-urbaine	Objectif de qualité décret 2002-213
NO ₂	Moy. 24 h annuelle	16	34,5	14,5	40
SO ₂	Moy. 24 h annuelle	-	3,5	-	50
O ₃	Moy. 8 h annuelle	70,5	59	71,5	-
	Max moy. 8 h	151	139	153	110
PM ₁₀	Moy. 24 h annuelle	17	19,5	17,5	30

On remarque pour les trois agglomérations que les teneurs en polluants primaires (NO_x, PM₁₀) sont légèrement plus élevées en zone urbaine qu'en zone périurbaine.

Les niveaux enregistrés à Angoulême et Poitiers présentent des niveaux en NO_x sensiblement plus élevés qu'à Niort.

2. Matériel et méthodes

La méthodologie proposée par l'Institut de veille sanitaire pour l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine a été appliquée [2]. Cette méthodologie se décompose en 4 étapes (identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque, caractérisation de l'impact sanitaire) rapidement résumées ci-après.

2.1. Identification des dangers

Il s'agit de déterminer les dangers liés à un polluant en s'appuyant sur les résultats de l'observation médicale, des études épidémiologiques et toxicologiques. Les effets de la pollution atmosphérique survenant à court terme (quelques heures ou quelques jours après l'exposition) et à long terme ont été retenus en utilisant les fonctions expositions/risques issues des études épidémiologiques françaises (Psas-9) et européennes (Apeha) décrites dans le guide méthodologique [2].

En ce qui concerne les effets à court terme, la mortalité et les hospitalisations touchent probablement les personnes ayant déjà des problèmes cardiaques ou respiratoires, c'est-à-dire, les personnes âgées, enfants, ou les adultes souffrant d'affections chroniques, d'asthme et de grippe. Il s'agit d'effets dus à une exposition de courte durée. En ce qui concerne le degré d'anticipation des décès pour les personnes atteintes de problèmes respiratoires, la littérature suggère environ 2 mois alors que pour les personnes atteintes d'affections cardiaques, cette anticipation pourrait être supérieure à 3 mois.

S'agissant des effets à long terme, seule la mortalité totale a pu être prise en compte. Ils sont dus à une exposition chronique et l'effet sur la santé est le développement de maladies chroniques tels que les cancers pulmonaires et les affections cardio-respiratoires conduisant à une diminution de l'espérance de vie.

2.2. Choix des relations exposition-risque

2.2.1. Fonctions exposition/risque court terme

Il s'agit de caractériser les liens entre l'exposition et la probabilité de survenue du danger à cette exposition, en recourant aux résultats des études épidémiologiques déjà réalisées. Les estimateurs de risque sont ceux préconisés par l'InVS [2].

Ainsi, pour les indicateurs sanitaires liés à la mortalité, les fonctions exposition/risque utilisées sont issues de l'étude multicentrique française Psas-9 phase II [4] pour l'ozone et les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les fumées noires. Pour les particules en suspension PM_{10} , seul le programme Apeha 2 [6] a produit des fonctions exposition/risque en Europe.

En ce qui concerne les indicateurs sanitaires relatifs aux admissions hospitalières pour motif respiratoire ou cardio-vasculaire, les fonctions exposition/risque retenues sont celles élaborées dans le cadre des études européennes Apeha 1 et Apeha 2 [5].

Ces fonctions correspondent à des risques relatifs, c'est-à-dire, au rapport du risque encouru par une population exposée à un niveau donné de pollution par le risque de cette population si elle était très faiblement exposée. Ainsi pour un indicateur donné, un risque relatif de 1,006 associé à une augmentation de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ du niveau de pollution se traduirait par l'augmentation de 0,6 % du risque d'être malade à cause de l'élévation de la contamination atmosphérique.

Les tableaux 13 à 16 présentent les fonctions exposition/risque proposées dans le guide méthodologique de l'InVS.

Tableau 13. Risques relatifs de mortalité totale journalière pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution		Risque relatif (RR) et IC 95 %	Risque relatif (RR) et IC 95 %	Risque relatif (RR) et IC 95 %
		Mortalité totale	Mortalité cardio-vasculaire	Mortalité respiratoire
PM ₁₀	Moy. 24 h	1,006 [1,004 - 1,008]	-	-
SO ₂	Moy. 24 h	1,011 [1,005 - 1,017]	1,008 [1,004 - 1,011]	1,011 [1,001 - 1,021]
NO ₂	Moy. 24 h	1,010 [1,007 - 1,013]	1,012 [1,005 - 1,018]	1,013 [1,005 - 1,021]
Fumées noires	Moy. 24 h	1,008 [1,006 - 1,010]	1,005 [1,001 - 1,010]	1,007 [0,999 - 1,015]
O ₃	Moy. 8 h été	1,007 [1,003 - 1,010]	1,011 [1,004 - 1,018]	1,013 [1,005 - 1,021]

Tableau 14. Risques relatifs d'admission pour affection cardio-vasculaire pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution		Risque relatif (RR)	IC 95 %
SO ₂	Moy. 24 h hiver	1,013	[1,006 - 1,020]
NO ₂	Moy. 24 h hiver	1,010	[1,006 - 1,014]
NO ₂	Moy. 24 h été	1,012	[1,007 - 1,017]

Tableau 15. Risques relatifs d'admission pour pathologie cardiaque pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution		Tous âges		65 ans et plus	
		RR	IC 95 %	RR	IC 95 %
PM ₁₀	Moy. 24 h	1,005	[1,002 - 1,008]	1,007	[1,004 - 1,018]
Fumées noires	Moy. 24 h	1,011	[1,004 - 1,018]	1,013	[1,004 - 1,022]

Tableau 16. Risques relatifs d'admissions hospitalières pour affections respiratoires pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution

Indicateurs de pollution		15-64 ans		65 ans et plus	
		RR	IC 95 %	RR	IC 95 %
SO ₂	Moy. 24 h	1,002	[0,998 - 1,005]	1,004	[1,001 - 1,009]
PM ₁₀	Moy. 24 h	-	-	1,009	[1,006 - 1,013]
FN	Moy. 24 h	1,006	[1,001 - 1,010]	1,001	[0,993 - 1,009]
NO ₂	Moy. 24 h	1,002	[0,997 - 1,007]	1,04	[0,996 - 1,012]
O ₃	Moy. 8 h été	1,004	[0,998 - 1,010]	1,008	[1,004 - 1,014]

2.2.2. Fonctions exposition/risque long terme

Actuellement, le guide de l'InVS [2] préconise d'utiliser la fonction exposition/risque de l'étude tri-nationale [6] relative à la mortalité toutes causes à long terme pour une augmentation de 10 µg/m³ de l'indicateur PM₁₀. D'autres études permettraient d'utiliser un risque relatif pour calculer la mortalité cardio-respiratoire [7], [8] et la mortalité par cancer du poumon [7], [9] à partir des concentrations en particules en suspension. Cependant, il n'est pas envisagé de les utiliser dans le cadre de l'EIS car cela nécessiterait d'une part, d'effectuer une conversion des PM₁₀ en PM 2,5 [7] et d'autre part, en ce qui concerne le risque de cancer du poumon, de reconstruire l'indicateur en tenant compte de la distance aux voies de circulation [9]. Par ailleurs, cette dernière étude a été réalisée aux Pays-Bas et l'extrapolation des résultats vers la France constitue une source d'incertitude supplémentaire compte tenu de la différence d'homogénéité des concentrations en polluants entre les deux pays.

En résumé, la fonction exposition/risque disponible est celle concernant la mortalité toute cause sauf accidentelle à partir de l'indicateur PM₁₀ issu de l'étude [6].

Tableau 17. Risque relatif de mortalité totale long terme pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de l'indicateur PM₁₀

Indicateurs de pollution		Risque relatif (RR)	IC 95 %
PM ₁₀	Moy. 24 h	1,043	[1,026 - 1,061]

2.3. Estimation de l'exposition

L'objectif de cette étape est de quantifier l'exposition de la population de la zone d'étude à la pollution atmosphérique à partir des données de surveillance de la qualité de l'air, mesurées en routine par les stations du réseau de surveillance. L'estimation de l'exposition de la population repose sur l'hypothèse selon laquelle, pour chaque polluant considéré, la moyenne journalière des capteurs sélectionnés constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières. Il s'agit donc de construire des indicateurs d'exposition pour les polluants dont les concentrations sont mesurées et pour lesquels on dispose de relations exposition-risque.

Après avoir sélectionné les stations représentatives de l'exposition de la population générale (stations urbaines qui mesurent des niveaux moyens proches et corrélés dans le temps), on calcule, pour chaque polluant retenu, l'indicateur journalier d'exposition qui est la moyenne arithmétique des moyennes journalières (moyennes sur 8 h pour l'ozone) des capteurs sélectionnés.

2.4. Caractérisation de l'impact sanitaire

Cette étape combine les données d'exposition et les relations exposition-risque et permet de calculer le nombre de cas attribuables à l'exposition à la pollution atmosphérique pendant la période considérée.

2.4.1. Principe du calcul

Pour une période de temps donnée, la proportion d'événements sanitaires attribuables PA à un niveau de pollution donné et par rapport à un niveau de référence choisi se calcule de la manière suivante :

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

où : RR = risque relatif associé au niveau de pollution étudié et en rapport avec un niveau de référence ;

f = prévalence de l'exposition, c'est-à-dire proportion de la population exposée au niveau de pollution considéré.

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

$$NA = ((RR-1)/RR) \times Nr$$

où : Nr = nombre moyen d'événements sanitaires attendu au niveau de pollution de référence.

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 différents 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 parmi ceux associés aux différents indicateurs d'exposition.

2.4.2. Recueil des données sanitaires

Les nombres moyens N d'événements sanitaires au cours des périodes étudiées sont obtenus :

- pour les données de mortalité : auprès du CépiDc de l'Inserm pour les personnes domiciliées dans chacune des zones d'étude ;
- pour les données d'admissions hospitalières : auprès des Départements d'information médicale (DIM) des établissements de santé situés dans la zone d'étude et disposant de services hospitaliers

de court séjour. Les nombres annuels d'admissions pour motifs cardio-vasculaires et respiratoires sont extraits du PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information).

Le système d'information des hôpitaux ne permet pas d'accéder au diagnostic d'admission. On l'approche par le diagnostic principal de la première unité médicale fréquentée au cours du séjour hospitalier, hors services d'urgences. Sont donc comptabilisés, pour les périodes étudiées, les nombres de premiers RUM (Résumé d'unité médicale) contenant un DP (Diagnostic principal) respiratoire ou cardiovasculaire (code CIM 10 en I ou J) pour les patients hospitalisés pendant plus de 24 h et en provenance directe de leur domicile.

3. Résultats

3.1 Estimation de l'exposition

3.1.1. Populations exposées

Les déplacements domicile-travail décrits au paragraphe 1.2 s'effectuant très majoritairement au sein des trois zones d'étude, toute la population de chaque zone peut donc être considérée comme étant exposée en permanence à la même qualité d'air.

3.1.2. Niveaux d'exposition

a. Choix des polluants

Parmi les polluants surveillés sur les trois agglomérations, seuls les indicateurs comme les PM₁₀, SO₂, NO₂ et O₃ disposent de relations expositions-risques.

Les niveaux de SO₂ sont très faibles dans les trois agglomérations étudiées avec des moyennes annuelles variant selon les stations de mesure entre 0,5 et 3,5 µg/m³ (si on les compare avec l'objectif de qualité de 50 µg/m³ du décret 2002-213). Par ailleurs, cet indicateur n'est surveillé que par une seule station de mesure à Poitiers et Niort. A Angoulême, les mesures des stations mesurant ce paramètre sont insuffisamment corrélées, (coefficient de corrélation = 0,02) ce qui conduit à exclure le dioxyde de soufre de l'étude¹.

b. Période d'étude

L'étude a porté sur deux saisons tropiques (été 2001, hiver 2002) pour lesquelles les données météorologiques étaient disponibles. Les saisons étudiées correspondent aux périodes suivantes :

- été 2001 : du 01/03/2001 au 30/09/2001;
- hiver 2001-2002 : du 01/10/2001 au 31/03/2002.

Les paramètres météorologiques de l'année retenue ont été comparés à ceux des années 1973-2002 afin de s'assurer que l'année étudiée était représentative de la situation habituelle en terme de conditions atmosphériques influençant les niveaux de pollution.

Tableau 18. Comparaison des paramètres météorologiques de l'année tropique 2001-2002 avec ceux de 1973-2002 (Source : Météo-France Poitou-Charentes)

Paramètres météo		Durée totale de l'insolation (heures)			Nombre de jours de vent fort (>16 m/s)			Nombre moyen de jours avec pluie (>0,1 mm)			Températures moyennes (T°C)		
		Année	Été	Hiver	Année	Été	Hiver	Année	Été	Hiver	Année	Été	Hiver
			01/04 30/09	01/10 31/03		01/04 30/09	01/10 31/03		01/04 30/09	01/10 31/03		01/04 30/09	01/10 31/03
Poitiers	(2001-2002) (1973-2002)	1 931,8 1 877,8	1 313,6 1 285,3	618,2 592,5	42 40,8	18 14,3	24 26,5	97 112,2	47 49,7	50 62,5	11,8 11,5	15,8 15,8	7,9 7,2
Niort	(2001-2002) (1973-2002)	2 040 1 975	1 364 1 343	676 632	31 34,6	11 10,5	20 24,1	107 122,1	51 51,5	56 70,6	12,5 12,3	16,4 16,6	8,6 8
Angoulême	(2001-2002) (1973-2002)	2 025 1 999	1 335 1 336	690 663	14 24,5	5 7,9	9 16,6	109 124,8	52 55,6	57 69,2	13,1 12,5	17,7 16,7	9,8 8,3

¹ Source Atmo Poitou-Charentes

Tableau 20. Niort - distribution des indicateurs

	O ₃ été	NO ₂ année	NO ₂ été	NO ₂ hiver	PM ₁₀ année	PM ₁₀ été	PM ₁₀ hiver
Nombre	182	362	180	182	365	183	182
Minimum	44	3	3	4	7	7	7
Percentile 5	57	7	6	10	10	10	11
Percentile 25	69	12	10	17	14	14	15
Médiane	82	18	15	24	18	17	19
Percentile 75	98	26	20	30	24	22	26
Percentile 95	130	39	27	43	32	28	33
Maximum	145	54	34	54	53	33	53
Moyenne journalière	86	20	15	24	19	18	20
Ecart-Type	22,2	9,8	6,4	10,3	7,0	5,7	7,8
% Valeurs manquantes	1 %	1 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Tableau 21. Poitiers - distribution des indicateurs

	O ₃ été	NO ₂ année	NO ₂ été	NO ₂ hiver	PM ₁₀ année	PM ₁₀ été	PM ₁₀ hiver
Nombre	182	365	183	182	365	183	182
Minimum	40	5	5	5	5	6	5
Percentile 5	57	8	8	10	9	9	9
Percentile 25	69	14	13	19	12	12	12
Médiane	83	22	18	24	17	15	18
Percentile 75	99	28	23	31	22	21	24
Percentile 95	126	37	32	42	32	29	32
Maximum	142	62	38	62	51	33	51
Moyenne journalière	86	22	18	25	18	17	19
Ecart-Type	21,4	9,4	7,6	9,9	7,3	6,1	8,2
% Valeurs manquantes	1 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Le nouveau guide de l'InVS [2] précise que les données de l'ozone doivent être utilisées dans le calcul de l'impact sanitaire uniquement pour la période estivale. En effet, il n'existe pas à ce jour de relation exposition/risque validée pour la saison tropique hivernale en raison des faibles niveaux d'ozone à cette période.

3.1.3. Caractérisation de l'impact sanitaire

a. Indicateurs sanitaires

Mortalité

L'observatoire régional de la santé de Poitou-Charentes (ORS) a transmis les dernières données disponibles des effectifs de mortalité des communes concernées toutes causes, sauf accidentelles pour les dernières années disponibles émanant du service CépiDc de l'Inserm de 1999 et 2000. Ceci a permis de calculer un nombre moyen journalier de décès en été et en hiver. Les indicateurs de mortalité cardiovasculaire et respiratoire n'ont pas pu être inclus dans l'étude, les demandes des effectifs de mortalité ayant été faites avant la parution du nouveau guide InVS [2] sur les évaluations de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique.

Tableau 22. Nombre de décès toutes causes sauf accidentelles sur les zones d'étude (Source ORS/Inserm CIM10 CépiDc)

Zone d'étude	Décès (moyenne 1999-2000)	1 ^{er} avril	1 ^{er} octobre	1 ^{er} avril
		30 septembre	31 mars	31 mars
Angoulême	- Nombre	346	421	384
	- Moy. journalière	1,89	2,32	2,1
Niort	- Nombre	230	263	247
	- Moy. journalière	1,26	1,45	1,35
Poitiers	- Nombre	321	375	348
	- Moy. journalière	1,75	2,06	1,91

Admissions hospitalières

Après avis favorable du Cotrim (Comité technique régional de l'information médicale), les données d'admissions hospitalières ont été obtenues auprès des départements d'information médicale du centre hospitalier d'Angoulême, de la clinique Sainte-Marie de l'Isle d'Espagnac (16) et des centres hospitaliers de Niort et de Poitiers.

Pour les deux saisons tropiques retenues, ont été comptabilisés les nombres des premiers résumés d'unité médicale (RUM) contenant un diagnostic principal (DP) respiratoire (CIM10 J00 à J99) ou cardio-vasculaire (CIM10 I00 à I99) pour les patients résidant dans les communes étudiées et hospitalisés pendant plus de 24 h, en provenance de leur domicile. Ces données sont résumées dans le tableau 23 et exprimées en nombres moyens journaliers. Les admissions pour cause cardiaque n'ont pas pu être incluses dans l'étude, les services des DIM ayant été sollicités avant la parution du nouveau guide de l'InVS [2].

Tableau 23. Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires

Périodes étudiées	Agglomération	Nombre de 1 ^{er} RUM contenant un DP respiratoire			Nombre de 1 ^{er} RUM contenant un DP cardio-vasculaire
		0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	
Du 01/04/2001 au 30/09/2001	Angoulême	0,29	0,48	0,91	2,52
	Niort	0,27	0,16	0,48	1,59
	Poitiers	0,21	0,49	0,38	2,9
Du 01/10/2001 au 31/03/2002	Angoulême	0,68	0,55	1,12	2,76
	Niort	0,66	0,32	0,54	1,95
	Poitiers	0,36	0,42	1,12	3,26
Du 01/04/2001 au 31/03/2002	Angoulême	0,48	0,52	1,01	2,64
	Niort	0,46	0,24	0,51	1,77
	Poitiers	0,29	0,23	0,74	3,08

b. Estimation de l'impact sanitaire

Effets à court terme :

Pour l'année considérée, l'impact de la pollution atmosphérique est calculé, polluant par polluant, par rapport à une situation théorique où la pollution est très faible (40 µg/m³ pour l'ozone et 10 µg/m³ pour les autres polluants). Ces niveaux de pollution de référence correspondent à des concentrations inférieures ou proches du percentile 5 des distributions de concentration des indicateurs. Les nombres de cas attribuables représentent donc ici l'impact global de la pollution atmosphérique pour chacun des indicateurs d'exposition étudiés. Les calculs de l'impact global sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 24. Effets court terme. Nombres de cas attribuables pour chaque indicateur sanitaire et indicateur d'exposition étudiés

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables année 2001-2002 et intervalle de confiance à 95 %		
		Angoulême	Niort	Poitiers
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O ₃ (été)	10,9 [4,6 ; 15,7]	7,2 [3,1 ; 10,4]	10,0 [4,3 ; 14,4]
	NO ₂	8,6 [6,0 ; 11,1]	5,0 [3,5 ; 6,5]	8,4 [5,8 ; 10,9]
	PM ₁₀	3,8 [2,6 ; 5,1]	2,8 [1,8 ; 3,7]	3,4 [2,3 ; 4,6]
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans*	O ₃ (été)	1,6 [-0,8 ; 4,0]	0,5 [-0,3 ; 1,34]	1,6 [-0,8 ; 4,1]
	NO ₂	0,4 [-0,6 ; 1,5]	0,2 [-0,3 ; 0,6]	0,4 [-0,6 ; 1,4]
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃ (été)	6,0 [3,0 ; 10,6]	3,1 [1,6 ; 5,6]	2,5 [1,2 ; 4,4]
	NO ₂	1,7 [-1,6 ; 5,0]	0,8 [-0,7 ; 2,3]	1,3 [-1,3 ; 4,0]
	PM ₁₀	2,8 [1,8 ; 4,0]	1,6 [1,0 ; 2,3]	2,0 [1,3 ; 2,9]
Morbidity cardio-vasculaire**	NO ₂	11,9 [7,0 ; 16,8]	7,1 [4,2 ; 10,0]	14,6 [8,6 ; 20,6]

* Il n'existe pas de relation exposition-risque disponible pour la tranche d'âge 0-14 ans.

** Il n'existe pas de relation exposition-risque disponible pour les indicateurs O₃ - PM₁₀ et les admissions pour motifs cardio-vasculaires.

Si les polluants étudiés peuvent, pour certains, avoir un effet direct sur la santé, ils sont avant tout les témoins d'une exposition à un mélange atmosphérique complexe, inaccessible directement à la mesure. De ce fait, les impacts estimés par indicateur de pollution 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. Les impacts estimés pour chacun des indicateurs ne peuvent donc pas être sommés mais l'impact minimal est au moins égal au plus grand nombres d'évènements attribuables parmi ceux calculés pour les indicateurs d'exposition étudiés (cf. tableau 25).

Tableau 25. Effets court terme. Nombres de cas les plus élevés attribuables à l'un des indicateurs d'exposition

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables (pour l'indicateur d'exposition ayant l'impact le plus élevé) et intervalle de confiance à 95 %		
		Angoulême	Niort	Poitiers
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O ₃	10,9 [4,6 ; 15,7]	7,2 [3,1 ; 10,4]	10,0 [4,3 ; 14,4]
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃	1,6 [-0,8 ; 4,0]	0,5 [-0,3 ; 1,34]	1,6 [-0,8 ; 4,1]
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃	6,0 [3,0 ; 10,6]	3,1 [1,6 ; 5,6]	2,5 [1,2 ; 4,4]
Morbidity cardio-vasculaire	NO ₂	11,9 [7,0 ; 16,8]	7,1 [4,2 ; 10,0]	14,6 [8,6 ; 20,6]

Ce sont les nombres d'évènements sanitaires qui seraient théoriquement évités si la pollution était très faible.

Effets à long terme :

A partir de la fonction exposition / risque disponible (cf. chapitre 2 matériel et méthodes), il a été possible d'estimer l'impact sanitaire lié à la mortalité totale et aux concentrations en PM₁₀. Les résultats sont présentés dans le tableau suivant.

Tableau 26. Effets long terme. Mortalité totale sauf accidentelle attribuable à l'indicateur d'exposition PM₁₀

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables et intervalle de confiance à 95 %		
		Angoulême	Niort	Poitiers
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	PM ₁₀	25,4 [15,4 ; 36,0]	18,6 [11,2 ; 26,3]	23,0 [13,9 ; 32,6]

Ce sont les nombres d'évènements sanitaires annuels qui seraient potentiellement évitables si les concentrations en PM₁₀ étaient réduites à un niveau très faible de pollution (10 µg/m³). Il convient cependant d'interpréter avec prudence ces résultats, car il s'agit d'effets à long terme, c'est-à-dire, se produisant plusieurs années après une exposition chronique. L'impact ici calculé est soumis à l'hypothèse que la nature de la pollution (composition chimique, nature des carburants utilisés), les concentrations en polluants et les caractéristiques socio-démographiques de la population restent constants pendant une longue période.

Scénarii de réduction de la pollution

Effets à court terme :

Deux scénarii de réduction de la pollution sont étudiés.

- Le scénario de "réduction des pics" (S1) pour lequel les pics de pollution dépassant un niveau donné sont ramenés à ce niveau. Ces niveaux de base sont fixés à 110 µg/m³ pour l'ozone, 40 µg/m³ pour le dioxyde d'azote et 30 µg/m³ pour les PM₁₀. Ces valeurs correspondent aux objectifs de qualité de l'air fixée par le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 modifié par le décret 2002-213 relatif à la surveillance de la qualité de l'air.

Le gain sanitaire et le risque résiduel accepté sont calculés après avoir supprimé les jours de pollution dépassant l'objectif de qualité pour les ramener au niveau de cet objectif.

- Le scénario "moins 25 %" (S2) pour lequel les niveaux journaliers de pollution sur l'ensemble de la période d'étude sont tous réduits de 25 %.

Pour ces scénarii, les gains sanitaires (GS) pour chaque indicateur sanitaire sont calculés et présentés pour chaque agglomération dans les tableaux 27 à 29. Les gains sanitaires calculés peuvent être interprétés comme étant les nombres d'évènements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique non pas estimés par rapport à une situation théorique sans pollution (comme lorsque l'on calcule l'impact total) mais par rapport à des situations plus réalistes étant entendu que la pollution atmosphérique urbaine ne peut pas être quasi-nulle.

En d'autres termes, ces gains sanitaires sont une estimation des nombres d'évènements sanitaires qui pourraient être "évités" si les scénarii de réduction de la pollution étaient appliqués. Pour chaque scénario et chaque effet, la différence entre l'impact total et le gain sanitaire est le risque implicitement accepté.

Effets à long terme :

Il s'agit des mêmes scénarii et de la même logique d'interprétation qu'à court terme hormis le mode de calcul qui consiste à calculer le gain sanitaire à partir de la moyenne annuelle qui est soit ramenée à l'objectif de qualité (scénario 1), soit diminuée de 25 %.

Tableau 27. Gains sanitaires (GS) à Angoulême selon différents scénarii de réduction de la pollution et pour chaque indicateur sanitaire

Indicateur sanitaire	Indicateurs d'exposition	Nombre de cas	Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (suppression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Mortalité court terme	O ₃ (été)	Impact total		10,9
		Gain sanitaire	0,5	5,0
		% de gain sanitaire	4,6	45,9
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃ (été)	Impact total		1,6
		Gain sanitaire	0,1	0,7
		% de gain sanitaire	6,2	43,7
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃ (été)	Impact total		6,0
		Gain sanitaire	0,2	2,7
		% de gain sanitaire	3,3	45,0
Morbidity cardio-vasculaire	NO ₂ (an)	Impact total		11,9
		Gain sanitaire	0,04	5,5
		% de gain sanitaire	0,3	46,2
Mortalité long terme	PM ₁₀ (an)	Impact total		25,4
		Gain sanitaire	0,0	13,9
		% de gain sanitaire	0,0	54,7

Tableau 28. Gains sanitaires (GS) à Niort selon différents scénarii de réduction de la pollution et pour chaque indicateur sanitaire

Indicateur sanitaire	Indicateurs d'exposition	Nombre de cas	Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (supression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Mortalité court terme	O ₃ (été)	Impact total		7,2
		Gain sanitaire	0,4	3,3
		% de gain sanitaire	5,5	45,8
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃ (été)	Impact total		0,5
		Gain sanitaire	0,03	0,2
		% de gain sanitaire	6,0	40,0
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃ (été)	Impact total		3,1
		Gain sanitaire	0,2	1,4
		% de gain sanitaire	6,4	45,2
Morbidity cardio-vasculaire	NO ₂	Impact total		7,2
		Gain sanitaire	0,2	3,4
		% de gain sanitaire	2,8	47,2
Mortalité long terme	PM ₁₀	Impact total		18,6
		Gain sanitaire	0,0	9,4
		% de gain sanitaire	0,0	50,5

Tableau 29. Gains sanitaires (GS) à Poitiers selon différents scénarii de réduction de la pollution et pour chaque indicateur sanitaire

Indicateur sanitaire	Indicateurs d'exposition	Nombre de cas	Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (supression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Mortalité court terme	O ₃ (été)	Impact total		10,0
		Gain sanitaire	0,4	4,6
		% de gain sanitaire *	4,0	46,0
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃ (été)	Impact total		1,6
		Gain sanitaire	0,1	0,75
		% de gain sanitaire	6,2	46,8
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃ (été)	Impact total		2,5
		Gain sanitaire	0,1	1,1
		% de gain sanitaire	4,0	44,0
Morbidity cardio-vasculaire	NO ₂	Impact total		14,6
		Gain sanitaire	0,3	6,5
		% de gain sanitaire	2,1	44,5
Mortalité long terme	PM ₁₀	Impact total		23,0
		Gain sanitaire	0,0	12,6
		% de gain sanitaire	0,0	54,8

* le pourcentage de gain sanitaire est le rapport du nombre de cas évités (gain sanitaire) sur le nombre de cas totaux (impact total)

Pour le scénario "réduction des pics" (S1), le gain sanitaire est toujours faible (entre 0 et 6 %). En effet, si les jours de forte pollution sont ceux pour lesquels l'impact journalier est le plus élevé, leur faible fréquence limite leur impact sur une année entière.

En ce qui concerne les effets long terme liés aux particules PM₁₀, le scénario de suppression des pics n'a pas d'influence sur les gains sanitaires, car les valeurs mesurées quotidiennement sur les trois agglomérations sont très majoritairement inférieures à l'objectif de qualité 30 µg/m³ (cf. tableau 10 à 12).

Pour le scénario "moins 25 %" (S2), le gain sanitaire varie, selon les effets sanitaires, entre 45 % pour les effets court terme et 55 % pour la mortalité long terme.

En conclusion, c'est le scénario de réduction de 25 % de tous les niveaux de pollution qui permet d'obtenir les gains sanitaires annuels les plus importants, soit :

Dans l'agglomération d'Angoulême :

- 14 [8 – 20]* décès long terme
- 3 [1 – 7] admissions hospitalières pour motifs respiratoires (total des tranches d'âge)
- 6 [3 - 8] admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires

Dans l'agglomération de Niort :

- 9 [6 – 13] décès long terme
- 2 [0,5 – 3] admissions hospitalières pour motifs respiratoires (total des tranches d'âge)
- 3 [2 - 5] admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires

Dans l'agglomération de Poitiers :

- 13 [8 – 18] décès long terme
- 2 [0 – 4] admissions hospitalières pour motifs respiratoires (total des tranches d'âge)
- 6 [4 - 9] admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires

* intervalle de confiance à 95 %

3.2. Discussion

3.2.1. Hypothèses, limites et incertitudes

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique urbaine sur les agglomérations d'Angoulême, Niort et Poitiers a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide de l'InVS, c'est-à-dire en déroulant les quatre étapes de la démarche : identification des dangers, choix des relations exposition-risque, estimation de l'exposition, caractérisation de l'impact. Afin d'apprécier la validité des résultats obtenus, il convient de rappeler et de préciser les hypothèses, erreurs et incertitudes inhérentes à chacune de ces étapes.

a. Identification des dangers

Cette évaluation d'impact sanitaire a porté sur les effets de la pollution atmosphérique sur la santé survenant à court terme mais aussi à long terme pour la mortalité. L'impact à long terme doit cependant être interprété avec prudence. En effet, ce calcul ne doit pas être interprété, à proprement parler, comme un excès absolu de mortalité, mais comme une estimation du nombre de personnes qui ont vu leur espérance de vie diminuée d'une certaine durée, sous l'hypothèse que les niveaux d'exposition restent constants pendant une longue période.

En ce qui concerne la morbidité, seuls sont pris en compte les effets ayant nécessité une hospitalisation, alors que l'on peut penser que, seule, une modeste fraction de la population présentant des troubles respiratoires a recours au système hospitalier. Ainsi, en ne prenant pas en compte les cas ayant nécessité une médecine ambulatoire, l'EIS conduit à une estimation partielle de l'impact sanitaire global.

b. Relations exposition-risque

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, on dispose de relations fondées sur des observations épidémiologiques à des faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme, ni hautes doses/basses doses. Cet aspect réduit ainsi les incertitudes attachées à la démarche d'évaluation des risques sanitaires qui se base classiquement sur ces types d'extrapolation.

Par contre, une démarche d'EIS dans une zone donnée, nécessite de recourir à des relations établies « ailleurs » sans pour autant être assuré de la validité de cette extrapolation, les indicateurs de pollution pouvant être les traceurs d'une pollution différente. Cela peut notamment être le cas si le parc automobile diffère (part de diesel plus importante). Cependant, l'utilisation préférentielle d'estimateurs de risques établis au niveau européen et à partir des résultats multicentriques limite cet inconvénient. Les résultats des études APHEA et « 9 villes » limitent également l'incertitude liée à l'extrapolation géographique des courbes exposition-risque. Ils ont en effet montré la cohérence des relations exposition-risque dans plusieurs villes d'Europe sur la mortalité et les admissions pour motif respiratoire, et en France, sur la mortalité, quelles que soient les caractéristiques locales.

c. Estimation de l'exposition

L'exposition est estimée au niveau de la population et non au niveau individuel. On attribue à l'ensemble des personnes séjournant sur la zone d'étude un même niveau d'exposition alors que chaque individu est, au cours d'une même journée, exposé à des niveaux de pollution variables. Autrement dit, faute de disposer de la connaissance des budgets espace temps de la population (temps passé à tel endroit pour tant de personnes) et des niveaux d'exposition réels à la pollution atmosphérique ambiante, 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.

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

Afin de caractériser le niveau moyen de pollution dans une zone donnée, les valeurs d'immissions enregistrées par des stations de mesure sont utilisées pour calculer une moyenne journalière. De ce fait, une implantation différente des capteurs aurait pu conduire à une estimation différente des indicateurs d'exposition. Dans l'EIS, les stations urbaines (de fond) dont l'objectif est le suivi du niveau d'exposition moyen de la population résidente de l'agglomération doivent être privilégiées. Cependant, les réseaux de mesure des agglomérations d'Angoulême et Poitiers étudiées comptent chacun deux stations situées en zone périurbaine et une station urbaine. Pour cette raison, il est possible que les indicateurs d'exposition au NO₂ et aux PM₁₀ aient été sous-estimés dans ces agglomérations et celui de l'ozone légèrement surestimé. En ce qui concerne Niort, la surveillance de la qualité de l'air est mesurée par une station urbaine et une station périurbaine permettant d'avoir un indicateur global équilibré entre les habitants du centre-ville et ceux résidant en périphérie.

d. Caractérisation de l'impact sanitaire

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

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

L'erreur de classification sur le dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) est limitée par le recours à de grandes catégories de diagnostics (mortalité toutes causes sauf

accidentelles, hospitalisation pour tous motifs respiratoires ou cardio-vasculaires) ce qui limite l'influence des erreurs de diagnostics et de codage. Par contre, la non prise en compte des urgences, car non disponibles dans le PMSI, conduit à sous-estimer le nombre d'événements sanitaires et donc l'impact de la pollution atmosphérique sur l'activité de soins hospitaliers.

3.2.2. Interprétation des résultats

Compte tenu des incertitudes 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. Il s'agit d'une estimation réalisée sur la base des acquis scientifiques actuels et des données disponibles. Ils apportent des éléments d'information sanitaire quantifiés permettant d'éclairer les choix dans la gestion de la qualité de l'air.

Il est important de garder à l'esprit que le présent travail ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets à court terme ou long terme sur la santé, ce qui a été fait par ailleurs [5] à [9] 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. En effet, s'il est probable que les effets de la pollution atmosphérique se produisent à partir d'un certain seuil au niveau individuel, ce seuil est très variable selon les individus. Ainsi, à l'échelle d'une population urbaine toute entière, il se trouvera toujours un ou des individus suffisamment sensibles pour réagir à des expositions même faibles.

Par ailleurs, la notion de risque attribuable doit s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine, facteur de risque supposé causal, approché indirectement par des indicateurs de pollution. Ainsi, 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 de risque ne peut être envisagée qu'à travers 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.

Les résultats de la présente EIS sont une illustration de ces acquis scientifiques. Leur présentation peut contribuer à leur appropriation au niveau local dans le plan régional de qualité de l'air et le plan de déplacement urbain par exemple.

4. Conclusion

Un impact collectif non négligeable

Sur une année, l'impact total annuel de la pollution atmosphérique évalué par rapport à une situation théorique sans pollution, a été estimé dans chacune des agglomérations :

- Angoulême : 19 hospitalisations (dont 8 pour motif respiratoire, 12 pour motif cardio-vasculaire) et 25 décès ;
- Niort : 11 hospitalisations (dont 4 pour motif respiratoire et 7 pour motif cardio-vasculaire) et 19 décès ;
- Poitiers : 19 hospitalisations (dont 4 pour motif respiratoire, 15 pour motif cardio-vasculaire) et 23 décès.

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

Par ailleurs, l'EIS offre la possibilité de présenter des résultats directement compréhensibles, en nombre d'événements attribuables, pour une prise de décision fondée sur la comparaison de l'efficacité, en termes de santé publique, de différentes stratégies d'amélioration de la qualité de l'air. Elle est réalisable même si la population est peu importante, voire insuffisante pour envisager la mise en place d'une surveillance ou d'enquête épidémiologique.

Des stratégies de réduction des émissions plus ou moins efficaces

Les épisodes de pics de pollution atmosphérique 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 le plus important, leur faible fréquence leur fait jouer un rôle limité si l'on observe l'impact sanitaire de la pollution de l'air sur une année entière.

Le gain sanitaire associé à différents scénarii de réduction des émissions polluantes permet de comparer l'impact d'une diminution des niveaux quotidiens de pollution atmosphérique à celui d'une suppression des pointes de pollution.

Ainsi, la suppression des pointes de pollution dépassant les niveaux réglementaires permettrait un gain sanitaire d'au maximum 6 % de l'impact total tandis qu'une réduction des niveaux de pollution de 25 % serait accompagnée d'une réduction de 45 % à 55 % des effets sanitaires.

En pratique, cela signifie qu'une politique locale de gestion de la qualité de l'air qui ne viserait qu'à éviter les dépassements des seuils réglementaires n'aurait qu'un impact faible en termes de bénéfices sur la santé publique.

Les actions les plus efficaces seront donc celles qui viseront à réduire les émissions à la source, de façon quotidienne. La pollution atmosphérique sur les trois agglomérations étant principalement due aux transports routiers (cf. 1.2.4 Sources de pollution atmosphérique), ce sont les émissions automobiles dans leur ensemble qu'il conviendrait de réduire. Cependant, sur Angoulême, les teneurs en NOx étant plus imputables aux rejets industriels, une attention particulière doit également être portée sur ces activités.

Des connaissances encore lacunaires

Il serait nécessaire d'élargir le champ de l'évaluation de l'impact sanitaire et ne pas rester cantonné à la mortalité et aux effets nécessitant une hospitalisation. Ainsi, si l'on disposait d'indicateurs de santé recueillis en population générale, notamment la prévalence de l'asthme en fonction de sa sévérité, cela permettrait de mesurer l'impact de la pollution atmosphérique sur l'incidence des crises d'asthme.

En conclusion, une gestion rationnelle du risque implique une prise en compte par les décideurs locaux, le public et les relais d'opinion que sont le corps médical et les journalistes, des mécanismes essentiels qui gouvernent l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique : absence d'effet seuil (effets en deçà des seuils réglementaire), grand nombre de personnes exposées, importance de la pollution chronique par rapport aux pics et nécessité de considérer l'ensemble des polluants.

5. Bibliographie

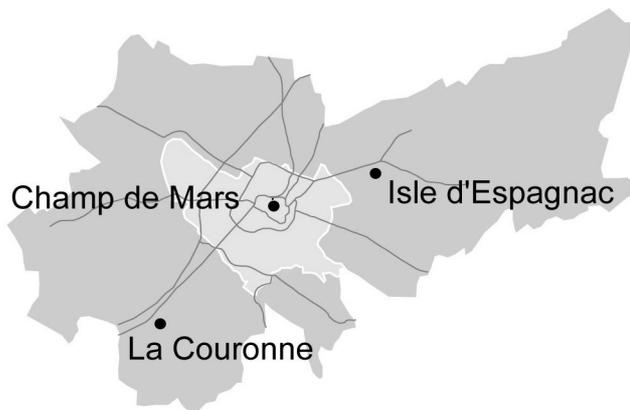
- [1] Préfecture de la région Poitou-Charentes - DIRE. Plan régional pour la qualité de l'air - Janvier 2002.
- [2] Institut de veille sanitaire. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Guide méthodologique. Institut de veille sanitaire. Juin 2003.
- [3] Citepa - Inventaire d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air. Rapport Poitou-Charentes Octobre 1997.
- [4] Institut de veille sanitaire. Programme de surveillance air et santé – 9 villes, rapport Phase II. Institut de veille sanitaire. Juin 2002.
- [5] Atkinson RW, et al. 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.
- [6] Künstli N, Kaiser R, Medina S *et al.* Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution : an european assessment. Lancet 2000; 356:795-801.
- [7] Pope CA, *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. JAMA 2002; 287 (9):1132-41.
- [8] Hoek G., *et al.* Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. Lancet, 2002; 360:1203 – 1209.
- [9] Katsouyanni K, *et al.* Ambient air pollution exposure and cancer. Cancer Causes Control 1997; 8 (3):284 – 291.

6. Annexes

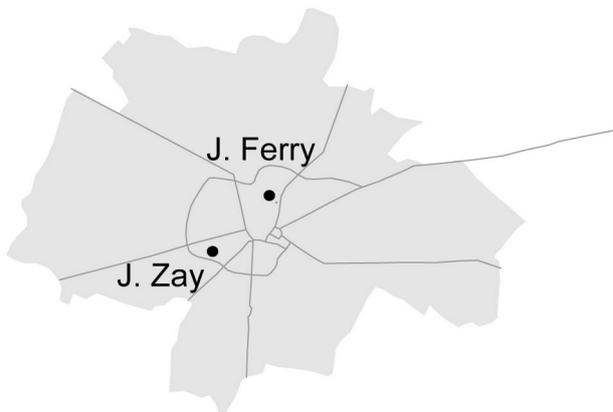
Annexe 1

Zones d'étude et emplacement des stations de mesure

Angoulême. Stations de mesure d'Atmo Poitou-Charentes sur la communauté d'agglomération d'Angoulême



Niort. Stations de mesure d'Atmo Poitou-Charentes sur Niort



Poitiers. Stations de mesure d'Atmo Poitou-Charentes sur la communauté d'agglomération de Poitiers



Annexe 2

Distribution des émissions polluantes urbaines

Distribution des indicateurs de pollution par station

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

Angoulême : distribution de chaque indicateur de pollution en fonction des sites de mesure

Dioxyde de soufre

SO ₂ D'après les données journalières	Nom et type de la station	
	La Couronne périurbaine	Champ de Mars urbaine
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001		
P5	0	0
P25	1	1
Médiane	2	2
P75	3	2
Moyenne 24 h	2	2
Minimum	0	0
Maximum	11	7
% de valeurs manquantes	2 %	0 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002		
P5	0	0
P25	0	1
Médiane	1	2
P75	2	4
Moyenne 24 h	1	3
Minimum	0	0
Maximum	11	13
% de valeurs manquantes	0 %	0 %

Dioxyde d'azote

NO ₂ D'après les valeurs journalières	Nom et type de la station		
	La Couronne périurbaine	Champ de Mars urbaine	L'Isle d'Espagnac périurbaine
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001			
P5	5	9	6
P25	10	21	9
Médiane	15	26	13
P75	20	32	17
Moyenne 24 h	16	26	13
Minimum	1	7	2
Maximum	40	47	26
% de valeurs manquantes	5 %	0 %	3 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002			
P5	8	14	7
P25	14	25	12
Médiane	21	33	17
P75	27	40	22
Moyenne 24 h	21	32	17
Minimum	5	8	3
Maximum	51	63	40
% de valeurs manquantes	0 %	3 %	8 %

Poussières en suspension

PM ₁₀ D'après les valeurs journalières	Nom et type de la station		
	La Couronne périurbaine	Champ de Mars urbaine	L'Isle d'Espagnac périurbain
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001			
P5	10	11	1
P25	13	15	4
Médiane	17	17	6
P75	22	22	10
Moyenne 24 h	18	18	7
Minimum	8	8	0
Maximum	38	34	26
% de valeurs manquantes	0 %	4 %	11 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002			
P5	9	10	5
P25	15	16	10
Médiane	22	20	16
P75	29	26	26
Moyenne 24 h	24	21	18
Minimum	6	7	1
Maximum	85	45	49
% de valeurs manquantes	0 %	1 %	11 %

Ozone

O ₃ D'après les données journalières 8 h	Nom et type de la station		
	La Couronne périurbaine	Champ de Mars urbaine	L'Isle d'Espagnac périurbain
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001			
P5	56	50	62
P25	73	63	77
Médiane	87	74	89
P75	102	93	104
Moyenne	89	78	91
Minimum	37	24	40
Maximum	143	135	143
% de valeurs manquantes	0 %	4 %	1 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002			
P5	17	16	21
P25	34	30	39
Médiane	52	43	56
P75	64	57	67
Moyenne	50	45	54
Minimum	8	8	10
Maximum	122	113	120
% de valeurs manquantes	1 %	1 %	1 %

Niort : distribution de chaque indicateur de pollution en fonction des sites de mesure

Dioxyde de soufre

SO₂ D'après les données journalières	Nom et type de la station	
	J. Zay périurbaine	
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001		
P5	0	
P25	0	
Médiane	0	
P75	0	
Moyenne 24 h	0	
Minimum	0	
Maximum	3	
% de valeurs manquantes	7 %	
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002		
P5	0	
P25	0	
Médiane	1	
P75	2	
Moyenne 24 h	1	
Minimum	0	
Maximum	7	
% de valeurs manquantes	0 %	

Dioxyde d'azote

NO₂ D'après les valeurs journalières	Nom et type de la station	
	J. Zay périurbaine	J. Ferry urbaine
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001		
P5	4	7
P25	8	12
Médiane	12	16
P75	18	22
Moyenne 24 h	13	17
Minimum	1	4
Maximum	31	38
% de valeurs manquantes	5 %	4 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002		
P5	6	10
P25	15	19
Médiane	21	25
P75	29	32
Moyenne 24 h	22	27
Minimum	1	7
Maximum	53	54
% de valeurs manquantes	1 %	2 %

Poussières en suspension

PM₁₀ D'après les valeurs journalières	Nom et type de la station	
	J. Zay périurbaine	J. Ferry urbaine
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001		
P5	10	9
P25	13	13
Médiane	17	16
P75	22	21
Moyenne 24 h	18	18
Minimum	8	6
Maximum	35	33
% de valeurs manquantes	3 %	0 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002		
P5	9	11
P25	14	15
Médiane	18	19
P75	25	26
Moyenne 24 h	20	21
Minimum	6	7
Maximum	53	52
% de valeurs manquantes	2 %	2 %

Ozone

O₃ D'après les données journalières 8 h	Nom et type de la station	
	J. Zay périurbaine	J. Ferry urbaine
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001		
P5	55	56
P25	70	68
Médiane	83	81
P75	101	96
Moyenne	87	85
Minimum	42	46
Maximum	147	142
% de valeurs manquantes	2 %	0 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002		
P5	19	15
P25	35	34
Médiane	52	49
P75	65	60
Moyenne	51	47
Minimum	4	6
Maximum	111	103
% de valeurs manquantes	0 %	0 %

Poitiers : distribution de chaque indicateur de pollution en fonction des sites de mesure

Dioxyde de soufre

SO ₂ D'après les données journalières	Nom et type de la station	
	Place du marché urbaine	
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001		
P5	0	
P25	1	
Médiane	2	
P75	3	
Moyenne 24 h	2	
Minimum	0	
Maximum	13	
% de valeurs manquantes	3 %	
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002		
P5	1	
P25	3	
Médiane	5	
P75	7	
Moyenne 24 h	5	
Minimum	0	
Maximum	20	
% de valeurs manquantes	9 %	

Dioxyde d'azote

NO ₂ D'après les valeurs journalières	Nom et type de la station		
	Les Couronneries périurbaine	Place du marché urbaine	Chasseneuil périurbaine
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001			
P5	7	17	4
P25	14	28	10
Médiane	20	38	16
P75	26	44	23
Moyenne 24 h	20	37	17
Minimum	1	8	3
Maximum	55	76	49
% de valeurs manquantes	0 %	5 %	6 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002			
P5	2	13	5
P25	6	21	8
Médiane	11	30	11
P75	16	42	15
Moyenne 24 h	12	32	12
Minimum	3	10	1
Maximum	31	63	26
% de valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %

Poussières en suspension

PM ₁₀ D'après les valeurs journalières	Nom et type de la station		
	Les Couronneries périurbaine	Place du marché urbaine	Chasseneuil périurbain
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001			
P5	7	10	9
P25	10	14	12
Médiane	14	17	16
P75	19	23	21
Moyenne 24 h	15	19	17
Minimum	4	8	7
Maximum	34	38	33
% de valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002			
P5	7	10	8
P25	12	15	12
Médiane	17	19	17
P75	24	25	23
Moyenne 24 h	19	20	18
Minimum	4	5	5
Maximum	56	53	52
% de valeurs manquantes	1 %	1 %	4 %

Ozone

O ₃ D'après les données journalières 8 h	Nom et type de la station		
	Les Couronneries périurbaine	Place du marché urbaine	Chasseneuil périurbain
Période du 1 ^{er} avril 2001 au 30 septembre 2001			
P5	59	49	59
P25	73	62	73
Médiane	86	75	85
P75	104	89	105
Moyenne	90	76	90
Minimum	44	36	38
Maximum	151	139	153
% de valeurs manquantes	1 %	0 %	0 %
Période du 1 ^{er} octobre 2001 au 31 mars 2002			
P5	22	14	19
P25	38	27	39
Médiane	52	43	53
P75	66	56	66
Moyenne	51	42	53
Minimum	6	4	5
Maximum	101	93	114
% de valeurs manquantes	0 %	7 %	0 %

Annexe 3

Coefficients de corrélation des stations de mesure

Angoulême : période du 01-04-01 au 31-03-02

Dioxyde d'azote

	NO ₂ Champ de Mars	NO ₂ La Couronne	NO ₂ L'Isle d'Espagnac
NO ₂ Champ de Mars	1		
NO ₂ La Couronne	0,69	1	
NO ₂ L'Isle d'Espagnac	0,74	0,81	1

Dioxyde de soufre

	SO ₂ La Couronne	SO ₂ Champ de Mars
SO ₂ La Couronne	1	
SO ₂ Champ de Mars	0,02	1

Poussières en suspension

	PM ₁₀ La Couronne	PM ₁₀ L'Isle d'Espagnac	PM ₁₀ Champ de Mars
PM ₁₀ La Couronne	1		
PM ₁₀ L'Isle d'Espagnac	0,69	1	
PM ₁₀ Champ de Mars	0,64	0,79	1

Ozone

	O ₃ Champ de Mars	O ₃ La Couronne	O ₃ L'Isle d'Espagnac
O ₃ Champ de Mars	1		
O ₃ La Couronne	0,96	1	
O ₃ L'Isle d'Espagnac	0,96	0,99	1

Niort : période du 01-04-01 au 31-03-02

Dioxyde d'azote

	NO ₂ J. Zay	NO ₂ J. Ferry
NO ₂ J. Zay	1	
NO ₂ J. Ferry	0,93	1

Dioxyde de soufre

Une seule station de mesure

Poussières en suspension

	PM ₁₀ J. Zay	PM ₁₀ J. Ferry
PM ₁₀ J. Ferry	1	
PM ₁₀ J. Zay	0,94	1

Ozone

	O ₃ J. Zay	O ₃ J. Ferry
O ₃ J. Ferry	1	
O ₃ J. Zay	0,99	1

Poitiers : période du 01-04-01 au 31-03-02

Dioxyde d'azote

	NO ₂ Les Couronneries	NO ₂ Marché	NO ₂ Chasseneuil
NO ₂ Les Couronneries	1		
NO ₂ Marché	0,78	1	
NO ₂ Chasseneuil	0,79	0,60	1

Dioxyde de soufre

Une station

Poussières en suspension

	PM ₁₀ Marché	PM ₁₀ Les Couronneries	PM ₁₀ Chasseneuil
PM ₁₀ Marché	1		
PM ₁₀ Les Couronneries	0,90	1	
PM ₁₀ Chasseneuil	0,94	0,90	1

Ozone

	O ₃ Marché	O ₃ Les Couronneries	O ₃ Chasseneuil
O ₃ Marché	1		
O ₃ Les Couronneries	0,88	1	
O ₃ Chasseneuil	0,84	0,98	1

Notes