

DIRECTION REGIONALE
DES AFFAIRES SANITAIRES
ET SOCIALES DU CENTRE

DIRECTION DEPARTEMENTALE
DES AFFAIRES SANITAIRES
ET SOCIALES DU LOIRET



Cellule Inter-Régionale
d'Epidémiologie Centre-Ouest

Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération d'Orléans

Juin 2001



MINISTÈRE DE L'EMPLOI
ET DE LA SOLIDARITÉ



Réalisation de l'étude :

- Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Centre-Ouest, DRASS du Centre :
Daniel RIVIERE
Dr. Véronique SERVAS

Ont contribué à cette étude :

- Lig'air (Réseau de surveillance de la qualité de l'air en région Centre :
P. COLIN
A. YAHYAOU
- Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales du Loiret :
Garance MAURIN
- Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales du Centre :
Jean-François LEBOURG
- Observatoire Régional de la Santé :
Docteur Muriel BOIN
Magali COLDEFY
- Centre Hospitalier Régional d'Orléans :
Docteur Eric EYNARD
- Clinique de la Reine Blanche :
A.M. COUSIN
Docteur HUGUET

SOMMAIRE

- ABREVIATIONS ET SIGLES UTILISES	4
- INTRODUCTION	5
1. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	6
1.1. METEOROLOGIE ET TOPOGRAPHIE	6
a/ Climat	6
b/ Topographie	7
1.2. POPULATION ET DEPLACEMENTS.....	7
a/ Nombre d'habitants et densités de population	7
b/ Déplacements domicile/travail	7
c/ Caractéristiques de la population	8
1.3. SOURCES DE POLLUTION	9
1.4. SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR	10
1.5. SYNTHESE DES CRITERES DE SELECTION DE LA ZONE D'ETUDE	11
2. MATERIEL ET METHODE	12
2.1. IDENTIFICATION DES DANGERS	12
2.2. CHOIX DES RELATIONS EXPOSITION-RISQUE	12
2.3. ESTIMATION DE L'EXPOSITION	13
2.4. CARACTERISATION DU RISQUE	14
a/ Principe du calcul	14
b/ Recueil des données sanitaires	14
3. RESULTATS	15
3.1. ESTIMATION DE L'EXPOSITION	15
a/ Population exposée	15
b/ Niveaux d'exposition	15
• <i>Choix des polluants</i>	15
• <i>Période d'étude</i>	15
• <i>Sélection des stations</i>	16
• <i>Indicateurs d'exposition</i>	17
3.2. CARACTERISATION DU RISQUE	18
a/ Indicateurs sanitaires	18
• <i>Mortalité</i>	18
• <i>Admissions hospitalières</i>	19
b/ Estimation de l'impact sanitaire	20
• <i>Scénarii de réduction de la pollution</i>	21
c/ Comparaison avec les résultats de l'étude «9 villes»	23

4. DISCUSSION	26
4.1. HYPOTHÈSES, LIMITES ET INCERTITUDES	26
a/ Identification des dangers	26
b/ Relations exposition-risque	26
c/ Estimation de l'exposition	27
d/ Caractérisation du risque	27
4.2. INTERPRÉTATION DES RÉSULTATS	28
5. CONCLUSION	29
5.1. UN IMPACT COLLECTIF NON NÉGLIGEABLE	29
5.2. DES STRATÉGIES DE RÉDUCTION DES ÉMISSIONS PLUS OU MOINS EFFICACES	29
5.3. DES CONNAISSANCES ENCORE LACUNAIRES	30
- BIBLIOGRAPHIE	31
- ANNEXES	32

▫ ABREVIATIONS ET SIGLES UTILISES

APHEA	Air Pollution and Health - An European Approach
APPA	Association pour la Prévention de la Pollution Atmosphérique
CHRO	Centre Hospitalier Régional d'Orléans
CIM	Classification Internationale des Maladies
CIRE	Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie
CITEPA	Centre Inter Professionnel d'Etude 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
RSA	Résumé de Sortie Anonymisé
RSS	Résumé de Sortie Standardisé
RUM	Résumé d'Unité Médicale
SC8	Service Commun n° 8 de l'INSERM
CO	Monoxyde de carbone
COVNM	Composés Organiques Volatils Non Méthaniques
FN	Fumées noires
NOx	Oxydes d'azote
NO ₂	Dioxyde d'azote
O ₃	Ozone
PS	Particules en suspension
SO ₂	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 Centre [2] que la DDASS du Loiret et la DRASS ont demandé à la Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie du Centre-Ouest de réaliser une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) sur l'agglomération d'Orléans.

En effet, les risques sanitaires liés à la pollution atmosphérique sont maintenant établis, du moins en ce qui concerne les effets survenant à court 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 à l'échelon local.

Pour ce faire, l'Institut de Veille Sanitaire (InVS) a rédigé en juillet 1999 un guide méthodologique d'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine [1] accompagné d'un classeur Excel permettant de réaliser les calculs nécessaires.

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

- d'estimer l'impact à court terme de la pollution sur la mortalité toutes causes et sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiovasculaires,
- 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 DE LA ZONE D'ETUDE

Située à 120 km au sud de Paris, l'agglomération d'Orléans est composée de 19 communes et compte 243 153 habitants (INSEE 1999) [3].

Capitale de la région Centre, cette unité urbaine fait l'objet d'une des plus fortes progressions démographiques en France (+ 7 % entre 1990 et 1999) accompagnant un développement économique significatif. La proximité de la région Parisienne, le processus de déconcentration des entreprises et la bonne image environnementale du Val de Loire contribuent sans doute à cette situation.

La zone retenue pour l'étude de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique ne couvre pas l'ensemble des 19 communes car toutes ne remplissent pas les critères de sélection nécessaires à sa réalisation, à savoir :

- les communes doivent être continues en terme d'urbanisation et de densité comparable, 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) ;
- seules les communes entières sont retenues (pas de quartiers) car les données sanitaires sont accessibles uniquement par communes ;
- 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 «suffisantes» avec un nombre de capteurs bien placés, des mesures validées et des données disponibles, pour estimer l'exposition de la population.

Ainsi, sur l'agglomération orléanaise, la zone délimitée remplissant au mieux les critères de sélection comprend 10 communes : Orléans, Fleury-les-Aubrais, La Chapelle Saint-Mesmin, Olivet, Saran, Semoy, Saint-Jean-de-Braye, Saint-Jean-de-la-Ruelle, Saint-Jean-le-Blanc, Saint-Pryvé-Saint-Mesmin.

Les paramètres intervenant dans l'évaluation de l'impact sanitaire et ceux justifiant la sélection des 10 communes sont décrits ci-après.

1.1. METEOROLOGIE ET TOPOGRAPHIE

a/ Climat

Le climat est marqué par une alternance entre l'influence océanique du climat breton et celle plus continentale en provenance de l'Europe de l'Est.

Les masses d'air plutôt froides arrivent sur l'agglomération orléanaise généralement par le secteur sud-ouest alors que les masses d'air dont la température dépasse les 20°C arrivent plutôt par le secteur nord-est.

Les masses d'air d'origine nord-est sont donc généralement caractérisées par des vents faibles et des températures relativement élevées. Ces conditions sont souvent favorables à l'accumulation des polluants et à la production photochimique lorsque l'ensoleillement est important.

Les masses d'air d'origine sud-ouest sont largement caractérisées par des vents relativement forts ce qui engendre une bonne dispersion des polluants (source : Météo-France et Lig'Air).

b/ Topographie

L'agglomération orléanaise est située dans une zone relativement plane sans obstacles naturels aux vents. Les cotes altimétriques des communes concernées varient dans une fourchette de 90 à 130 m (sources IGN et Ville d'Orléans).

1.2. POPULATION ET DEPLACEMENTS

a/ Nombre d'habitants et densités de population

Les 10 communes concernées regroupent 228 035 habitants pour une surface d'environ 134 Km².

La commune d'Orléans couvre plus de 20 % de cette superficie et totalise 113 129 habitants.

La densité globale est de 1 700 hab/km².

Tableau 1 :
Recensement 1999
Source INSEE

	Superficie en km ²	Population sans double compte	Densité (habitants/km ²)
Fleury les Aubrais	10.12	20 690	2 044.5
La Chapelle St Mesmin	8.96	8 967	1 000.8
Olivet	23.39	19 195	820.6
Orléans	27.48	113 126	4 116.7
Saran	19.65	14 797	753.0
Semoy	7.78	2 879	370.1
St Jean de Braye	13.70	17 758	1 296.2
St Jean de la Ruelle	6.10	16 560	2 714.8
St Jean le Blanc	7.66	8 493	1 108.7
St Pryvé St Mesmin	8.87	5 609	632.4
TOTAL	133.71	228 074	1 705.4

b/ Déplacements domicile/travail

Les données sur les navettes domicile-travail n'étant pas disponibles lors de la rédaction de ce rapport, ce sont les chiffres de 1990 qui sont exploités - cf. tableau 2.

Tableau 2 :
Distribution de la population et navettes domicile-travail

Source INSEE 1990

Communes de la zone d'étude	Population	Nombre actifs avec emploi	Actifs travaillant dans leur commune de résidence		Actifs travaillant dans une autre commune de la zone d'étude		Population quittant la zone d'étude pour travailler	
			Effectif	% population	Effectif	% population	Effectif	% population
Fleury	20 673	9 156	2 720	13,2%	4 891	23,7%	1 545	7,5%
La Chapelle St Mesmin	8 207	3 602	1 067	13,0%	1 937	23,6%	598	7,3%
Olivet	17 572	7 789	1 834	10,4%	4 808	27,4%	1 147	6,5%
Orléans	105 111	43 926	27 503	26,2%	10 393	9,9%	6 030	5,7%
Saran	13 436	6 077	1 901	14,1%	3 216	23,9%	960	7,1%
Semoy	2 237	1 081	158	7,1%	774	34,6%	149	6,7%
St Jean de Braye	16 387	7 780	2 788	17,0%	3 701	22,6%	1 291	7,9%
St Jean de la Ruelle	16 335	6 785	2 181	13,4%	3 496	21,4%	1 108	6,8%
St Jean le Blanc	6 806	3 042	619	9,1%	1 972	29,0%	451	6,6%
St Pryvé St Mesmin	5 463	2 534	531	9,7%	1 671	30,6%	332	6,1%
TOTAL	212 227	91 772	41 302	19,5%	36 859	17,4%	13 611	6,4%

Seulement 6,4 % de la population résidente quitte quotidiennement la zone d'étude pour aller travailler.

A l'intérieur de la zone d'étude, près de 20 % des habitants travaillent à l'intérieur de leur commune de résidence et 17% travaillent dans une autre commune que celle de leur résidence.

En conclusion, la très grande majorité des personnes résidentes (plus de 93 %) ne quitte pas le périmètre d'étude pour travailler.

c/ Caractéristiques de la population

La répartition par tranche d'âge de la population est représentée dans le tableau 3 ci-dessous :

Tableau 3 :

Distribution de la population par classe d'âge

Source INSEE 1999

Communes de la zone d'étude	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Population
Fleury	4 033	13 880	2 789	20 702
La Chapelle St Mesmin	1 588	5 881	1 477	8 946
Olivet	3 197	13 196	2 816	19 209
Orléans	19 567	78 440	15 082	113 089
Saran	2 989	9 973	1 839	14 801
Semoy	666	1 950	261	2 877
St Jean de Braye	3 511	12 277	1 969	17 757
St Jean de la Ruelle	3 240	10 770	2 550	16 560
St Jean le Blanc	1 407	5 875	1 203	8 485
St Pryvé St Mesmin	1 106	3 764	739	5 609
TOTAL	41 304	156 006	30 725	228 035

1.3. SOURCES DE POLLUTION

L'axe autoroutier A10-A71 peut drainer un trafic de plus de 60 000 véhicules par jour passant dans le secteur Ouest de l'agglomération.

68 000 véhicules/jour empruntent l'axe de la nationale 20 traversant Orléans, les autres boulevards importants de l'unité urbaine comptabilisent des flux variant de 18 000 à 35 000 véhicules/j (source DDE - 1999).

Le centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (CITEPA) [4] a réalisé en 1994 un rapport sur les émissions de polluants atmosphériques en estimant les proportions attribuables aux différentes sources de pollution. Cette étude montre que les rejets de dioxyde de soufre (SO₂), oxydes d'azote (NO_x), composés organiques volatils non méthaniques (COVNM) et monoxyde de carbone (CO) de l'agglomération orléanaise représentent respectivement 37 %, 22 %, 31 % et 46 % des rejets du département.

Au sein de l'agglomération :

- les émissions de NO_x, CO et COVNM sont principalement imputables aux transports routiers avec respectivement 80 %, 85 % et 63 % de part attribuable. Les autres sources de pollution sont dans l'ordre décroissant le secteur «commercial - tertiaire - résidentiel» et le secteur industriel.
- les émissions de SO₂ proviennent essentiellement de l'extraction et du transfert d'énergie (chauffage urbain) avec une contribution de 45 %, la part des transports routiers étant de 28 % (tableau 4).

Dans l'agglomération orléanaise, le transport routier constitue donc la principale source de pollution atmosphérique.

Tableau 4 :

Emissions de polluants atmosphériques dans l'agglomération orléanaise

Source : CITEPA, 1994

Polluants	SO ₂	NO _x	COVNM	CO
Emissions (tonnes)	2 513	4 621	10 326	52 589
<i>Origines principales en % de l'émission totale :</i>				
- extraction et transfert d'énergie	45,7	4,2	4,9	0,1
- résidence et tertiaire	17,3	8,2	15,5	13,9
- industrie et traitement des déchets	9,0	6,6	14,0	0,4
- transports routiers	27,9	80,4	63,6	85,4

1.4. SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR

La surveillance de la qualité de l'air sur l'agglomération orléanaise est assurée par l'association Lig'Air [5].

Cette association a été créée en 1996 pour contrôler la qualité de l'air en région Centre et elle est membre du réseau national «Atmo» constitué des 39 réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique.

Quatre stations de mesure sont exploitées sur l'agglomération d'Orléans avec 3 stations mesurant la pollution de fond et une station de proximité automobile.

Les stations de fond sont situées en centre ville (Préfecture), au sud de l'agglomération (La Source) et à St-Jean-de-Braye (station périurbaine). Cette dernière, équipée uniquement pour la mesure d'ozone, permet de connaître l'influence de la pollution du centre ville sur la périphérie.

La station de proximité se trouve sur la place Gambetta.

Tableau 5 :
Classification des stations sur l'agglomération d'Orléans

Source Lig'Air

Station	Type de station	Environnement immédiat de la station	Source de pollution	Hauteur du prélèvement	Polluants mesurés	Date de mise en service
Gambetta	Proximité	Centre ville sur un carrefour à forte circulation automobile (> 20 000 véh/jour)	Trafic automobile	3 m	NO ₂ , CO, Poussières (PM10)	03.03.99
Préfecture	Urbaine de fond	Jardin de la préfecture	Principalement automobile	3 m	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , Poussières (PM10)	24.03.98
La Source	Urbaine de fond	Dans un petit centre commercial d'un quartier HLM du quartier de La Source (commune d'Orléans)	Principalement automobile	3 m	O ₃ , NO ₂ , SO ₂ , Poussières (PM10)	12.03.98
St Jean de Braye	Périurbaine de fond	Enceinte d'une école maternelle, quartier résidentiel de St Jean de Braye	Principalement automobile	3 m	O ₃	03.03.98

La station de proximité automobile «Gambetta» mesure des niveaux de pollution qui sont représentatifs de la qualité de l'air généré par les véhicules circulant à moins de 5 m. Par ailleurs, son installation tardive (mars 1999) ne permet pas d'estimer l'exposition pendant la saison hivernale. Enfin, le capteur de la Préfecture ne se trouve qu'à 1 500 m de celui de Gambetta. Ainsi, il n'est pas jugé opportun d'utiliser les données de la station de proximité automobile, seuls seront retenus pour l'étude les résultats des 3 autres stations.

Les niveaux moyens de pollution sur l'année tropique 98/99 (du 1^{er} octobre 98 au 30 septembre 99) sont comparés aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS).

Tableau 6
Niveaux moyens de pollution 98-99 (en g/m³) sur l'agglomération Orléanaise

Source Lig'Air

Indicateurs d'exposition (µg/m ³)		Gambetta (période 1.04 au 30.09)	Préfecture	La Source	St Jean de Braye	Valeurs guides OMS (1996)
NO ₂	Moy. 24 h annuelle	45,6	26,6	19,1	-	40
SO ₂	Moy. 24 h annuelle	-	2,6	2,7	-	50
O ₃	Moy. 8 h annuelle	-	61,9	81,3	72,2	-
	Maximum moy. 8 h	-	157,9	185,6	179,1	110

1.5. SYNTHÈSE DES CRITÈRES DE SÉLECTION DE LA ZONE D'ÉTUDE

Dans un premier temps, la zone d'étude (10 communes) a été délimitée en fonction du critère de continuité urbaine entre les communes.

La commune de Semoy adjacente à Orléans, bien qu'ayant une densité plus faible (370 hab/km²) a été conservée dans le périmètre de l'étude car elle se trouve enclavée entre Fleury-les-Aubrais et St-Jean-de-Braye. On suppose donc, qu'à priori, les habitants de Semoy sont exposés d'une manière comparable à la population de la zone d'étude. Par ailleurs, la proximité de la station de mesure de St-Jean-de-Braye est un argument de plus pour intégrer Semoy dans l'EIS.

Sur cette zone, les autres critères ont été vérifiés :

- la population demeure majoritairement dans la zone ;
- la pollution semble assez homogène d'après la cartographie du trafic réalisé par la DDE ;
- à priori, l'exposition de la population peut être estimée puisque 3 capteurs de fond sont localisés sur la zone.

2. MATERIEL ET METHODE

La méthodologie proposée par l'Institut de Veille Sanitaire pour l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine a été appliquée à l'agglomération orléanaise. Cette méthodologie se décompose en 4 étapes (identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque, caractérisation du risque) 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. En ce qui concerne la méthodologie proposée par l'InVS, seuls les effets de la pollution atmosphérique survenant à court terme (quelques heures ou quelques jours après l'exposition) ont été retenus. En effet, des études épidémiologiques en population générale ont permis d'établir le rôle de la pollution atmosphérique sur la mortalité toutes causes (sauf accidentelles) anticipée (i.e. à court terme) et sur les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires, rendant possible une quantification de l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique. Les effets à long terme font actuellement l'objet d'études qui doivent être à termes utilisables pour les évaluations de l'impact sanitaire.

2.2. CHOIX DES RELATIONS EXPOSITION-RISQUE

L'InVS a retenu dans son guide méthodologique des relations exposition-risque issues d'études épidémiologiques s'intéressant directement aux liens existant entre la pollution de l'air et la santé de l'homme et réalisées en population générale. Les études multicentriques et européennes ont été privilégiées. Les relations retenues entre indicateurs de pollution (FN, SO₂, NO₂, O₃) et effets sanitaires sont issues de l'étude multicentrique conduite dans 9 villes françaises pour la mortalité totale (hors causes accidentelles), de l'étude multicentrique européenne APHEA pour les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et de 2 études menées à Paris et Londres pour les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires. Ces relations exposition-risque sont toutes de type linéaire sans seuil. Les risques relatifs associés à une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution se situent, selon l'effet étudié et l'indicateur retenu, entre 1,00 et 1,065. Cela signifie que pour une augmentation de 50 µg/m³ des indicateurs d'expositions, les risques de mortalité ou de morbidité hospitalière respiratoire ou cardiovasculaire augmentent de 0 % à 6,5 %.

Les tableaux 7, 8 et 9 présentent les risques relatifs issus de l'étude de l'InVS [6] Tableau 7 :

Tableau 7 :

Risques relatifs de mortalité journalière totale pour une augmentation de 50µg/m3 des niveaux d'indicateurs de pollution (analyse combinée des études effectuées dans neuf agglomérations françaises) Source InVS

Indicateurs de pollution	Risque relatif (RR)	IC 95%
FN - moy 24 h	1,029	1,013 - 1,044
SO ₂ - moy 24 h	1,036	1,021 - 1,052
NO ₂ - moy 24 h	1,038	1,020 - 1,055
O ₃ - moy 8 h	1,027	1,013 - 1,041

Tableau 8 :

Risques relatifs d'admission pour affection cardio-vasculaire toutes causes pour une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution (métarisque calculé à partir d'études temporelles à Paris et Londres) Source InVS

Indicateurs de pollution	Risque relatif (RR)	IC 95%
FN - moy 24 h hiver	1,065	1,027 - 1,104
FN- moy 24 h été	1,102	1,042 - 1,164
SO ₂ - moy 24 h hiver	1,063	1,027 - 1,101
NO ₂ - moy 24 h hiver	1,050	1,029 - 1,072
NO ₂ - moy 24 h été	1,058	1,033 - 1,083

Tableau 9 :

Risques relatifs d'admissions hospitalières pour affections respiratoires pour une augmentation de 50 µg/m³ des niveaux d'indicateurs de pollution (étude européenne) Source InVS

Indicateurs de pollution	Saison tropique	15-64 ans		+ 65 ans	
		RR	IC 95 %	RR	IC 95 %
SO ₂ moy 24h	été	1,01	0,98-1,04	1,06	1,01-1,11
	hiver	1,01	0,97-1,07	1,02	0,99-1,04
FN moy 24h	été	0,99	0,90-1,09	1,07	1,00-1,15
	hiver	1,04	1,02-1,07	1,00	0,95-1,04
NO ₂ moy 24h	été	1,00	0,96-1,04	1,02	0,99-1,06
	hiver	1,01	0,98-1,04	1,00	0,98-1,03
O ₃ moy 8h	été	1,02	0,99-1,05	1,04	1,02-1,07
	hiver	1,03	0,98-1,08	1,02	0,99-1,05

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 bien corrélées entre elles), 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. CARACTERISATION DU RISQUE

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.

a/ Principe du calcul

Pour une période de temps donnée, la proportion d'évènements sanitaires attribuables PA à un niveau de pollution donné se calcule de la manière suivante :

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

où RR = risque relatif associé au niveau de pollution étudié (ou au différentiel de pollution étudié),

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 calculé à partir de la formule simplifiée :

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

où N = nombre moyen d'évènements sanitaires au cours de la période considérée.

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'évènements 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'évènements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudié.

b/ Recueil des données sanitaires

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

- pour les données de mortalité : auprès du Service Commun n°8 (SC8) de l'INSERM pour les individus domiciliés dans la zone 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 motif 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 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 cardio-vasculaire (code CIM 10 en I ou J) pour les patients hospitalisés pendant plus de 24 h en provenance de leur domicile.

3. RESULTATS

3.1. ESTIMATION DE L'EXPOSITION

a/ Population exposée

La zone d'étude regroupe une population de 228 035 habitants au recensement général de la population de 1999. Les déplacements domicile-travail s'effectuant très majoritairement au sein de la zone d'étude, toute la population peut être considérée comme étant exposée en permanence à la même qualité de l'air dans cette zone.

b/ Niveaux d'exposition

• Choix des polluants

Parmi les polluants surveillés sur l'agglomération orléanaise seuls les indicateurs comme le SO₂, NO₂ et O₃ disposent de relations expositions-risques.

Considérant les niveaux de pollution mesurés au niveau des 3 stations, (Préfecture, St Jean de Braye et la Source), il apparaît que l'ozone et le dioxyde d'azote caractérisent le mieux la pollution, essentiellement automobile, de l'agglomération. En effet, les niveaux de SO₂ sont très faibles (2,7 µg/m³ à la Source et 2,6 µg/m³ à la préfecture en moyenne 24 h annuelle) si on les compare avec les recommandations de l'OMS (cf. p. 11) et, d'autre part les valeurs mesurées par ces stations sont insuffisamment corrélées (cf. p. 17).

• Période d'étude

Il n'a pas été choisi de travailler sur l'année 2000 en raison des travaux lourds ayant affecté à cette période la ville d'Orléans pour la construction d'une ligne de tramway impliquant une modification des conditions de circulation automobile.

L'étude a alors porté sur deux saisons tropiques (hiver 98-99, été 99) pour lesquelles les données météorologiques étaient disponibles. Les saisons étudiées correspondent aux périodes suivantes :

- hiver 98-99 : du 1^{er} octobre 1998 au 31 mars 1999,
- été 99 : du 1^{er} avril 1999 au 30 septembre 1999.

Les paramètres météorologiques de l'année retenue ont été comparés à ceux des années 1950-1997 afin de s'assurer si l'année étudiée était représentative de la situation habituelle en terme de conditions atmosphériques influençant les niveaux de pollution.

Tableau 10 :
Comparaison des paramètres météorologiques de l'année tropique 98-99 avec ceux de 1950-1997 Source : Météo-France

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	hiver 01/10 31/03	été 01/04 30/09	année	hiver 01/10 31/03	été 01/04 30/09	année	hiver 01/10 31/03	été 01/04 30/09	année	hiver 01/10 31/03	été 01/04 30/09
Année 1998-1999	1669,7	479,5	1190,2	43	25	18	187	100	87	11,8	6,7	16,9
Année 1950-1997	1799,4	533,1	1266,3	39,1	24,7	14,4	154,1	85	69,1	10,7	6,1	15,2

Les paramètres météorologiques de l'année 98-99 sont du même ordre de grandeur que les 47 années précédentes, avec toutefois un nombre de jours de pluie sensiblement plus élevé pour l'année considérée.

• **Sélection des stations**

La sélection a porté sur les 3 stations de mesure de pollution de fond et a été réalisée sur la période définie précédemment. Les distributions saisonnières des immissions de polluants sur la période d'étude, ainsi que les corrélations entre stations sont présentées en annexe 2.

Le dioxyde d'azote :

Sur la zone d'étude, 2 stations sont disponibles : Préfecture et La Source. Les distributions des deux stations sont bien corrélées (coefficient proche de 85 %). Il faut toutefois noter que les valeurs moyennes observées sont plus élevées à la Préfecture qu'à La Source, avec des écarts variant entre 3 et 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Les oxydes d'azotes sont principalement produits par le trafic automobile, ce qui explique des niveaux sensiblement plus importants dans le centre ville d'Orléans que dans le sud de la zone étudiée.

Les deux stations de fond de la Préfecture et de La Source ont donc été retenues pour le calcul de l'indicateur global d'exposition.

L'ozone :

Trois stations mesurent l'ozone : Préfecture, La Source et St-Jean-de-Braye. Les distributions des valeurs enregistrées par ces trois stations montrent des valeurs légèrement plus fortes dans le secteur de La Source avec un écart de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ par rapport aux teneurs enregistrées à la Préfecture. La station de St-Jean-de-Braye enregistre des niveaux intermédiaires. Le coefficient de corrélation entre les stations est proche de 99 %.

Tableau 11 :
Coefficients de corrélation des stations de mesure de l'ozone
Source Lig'Air

	Préfecture	La Source	St Jean de Braye
Préfecture	1,00	0,9831	0,9831
La Source		1,00	0,9905
St Jean de Braye			1,00

Le sud de l'agglomération orléanaise est plus soumis aux pics d'ozone que le nord. D'après le rapport d'activité 1999 de Lig'Air [5], cette tendance s'explique plutôt par une consommation d'ozone du nord de l'agglomération, où le secteur est plus chargé en oxydes d'azote que par une éventuelle forte production d'ozone dans le sud d'Orléans.

Il apparaît donc que l'indicateur global d'exposition à l'ozone de la population puisse être raisonnablement calculé à partir des valeurs enregistrées par ces trois stations.

Dioxyde de soufre :

Seules les stations de La Source et de la Préfecture mesurent les teneurs en SO₂. Les valeurs moyennes enregistrées restent faibles (3-4 µg/m³ en moyenne 24 h hiver).

Ces niveaux mesurés n'apporteraient qu'un impact faible et donc pas d'intérêt décisionnel sur la gestion de ce paramètre en comparaison avec l'ozone et les oxydes d'azote.

Par ailleurs, le coefficient de corrélation entre ces deux stations est faible (0,49), ce qui ne permet pas de considérer que les deux stations évoluent de la même manière dans le temps. Le guide méthodologique de l'InVS [1] préconise en effet un coefficient de corrélation d'au moins 0,60 pour la détermination d'un indicateur global.

• **Indicateurs d'exposition**

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

Les taux de valeurs manquantes pour ces capteurs étant faibles (cf. annexe 2) les valeurs mesurées et validées par Lig'Air ont donc été utilisées sans transformation préalable.

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition et leur distribution par gamme de concentration sont présentés dans les tableaux 12 et 13.

Tableau 12 :
Distribution des indicateurs
données sources Lig'Air

Indicateur Exposition	NO ₂ (µg/m ³)			O ₃ (µg/m ³)			
	Saison	an	hiver	été	an	hiver	été
Minimum		4,3	6,1	4,3	3,9	3,9	44,9
Percentile 5		8,0	11,3	6,5	23,8	18,7	59,9
Percentile 25		13,9	19,2	11,1	52,4	36,1	74,7
Médiane		20,0	27,4	15,8	70,7	52,4	89,9
Percentile 75		29,5	34,5	20,6	91,5	65,5	107,6
Percentile 95		47,1	55,1	30,4	124,2	82,2	140,2
Maximum		75,1	75,1	45,9	174,2	107,3	174,2
Moyenne journalière annuelle		22,9	29,2	16,7	72,1	51,1	93,0
Ecart type		12,5	13,4	7,4	30,5	20,1	24,1
% val manquantes		0,0	0,0	0,0	0,0	0,0	0,0

Tableau 13 :
Distribution des indicateurs par classes de concentration

données Sources Lig'Air

Indicateur Exposition ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	NO ₂ (nbre jours)			O ₃ (nbre jours)			
	Saison	an	hiver	été	an	hiver	été
[0-10]		43	5	38	4	4	0
]10-20]		139	44	95	9	9	0
]20-30]		93	53	40	22	22	0
]30-40]		54	45	9	15	15	0
]40-50]		20	19	1	34	33	1
]50-60]		11	11	0	40	31	9
]60-70]		3	3	0	56	36	20
]70-80]		2	2	0	50	21	92
]80-90]		0	0	0	40	7	33
]90-100]		0	0	0	36	3	33
]100-110]		0	0	0	14	1	13
]110-120]		0	0	0	22	0	22
]120-130]		0	0	0	9	0	9
]130-140]		0	0	0	4	0	4
]140-150]		0	0	0	4	0	4
]150-160]		0	0	0	5	0	5
]160-170]		0	0	0	0	0	0
]170-180]		0	0	0	1	0	1
]180-190]		0	0	0	0	0	0
>180		0	0	0	0	0	0
Total nombre valeurs		365	182	183	365	182	183

3.2. CARACTERISATION DU RISQUE

a/ Indicateurs sanitaires

• Mortalité

L'observatoire régional de la santé (ORS) a transmis les effectifs de mortalité toutes causes, sauf accidentelles pour les 4 dernières saisons tropiques émanant du service commun n° 8 de l'INSERM à savoir : hiver 95-96, été 96, hiver 96-97, été 97. Ceci a permis de calculer un nombre moyen journalier de décès en été et en hiver.

Tableau 14 :

Nombre de décès toutes causes sauf accidentelles sur l'agglomération orléanaise

Source ORS/INSERM SC 8

	Hiver	Eté	Total
Année 95-96	770	652	1422
Année 96-97	749	615	1364
MOYENNE	759,50	633,50	1393,00
Moyenne journalière	4,17	3,50	3,82

• Admissions hospitalières

Après avis favorable du COTRIM (Comité Technique Régional de l'Information Médicale), les données d'admissions hospitalières ont été demandées aux départements d'information médicale du Centre Hospitalier Régional d'Orléans (CHRO), à la Clinique de la Reine Blanche et à la Clinique des Murlins qui sont les trois établissements de santé situés dans l'agglomération orléanaise disposant de services de court séjour.

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 cardiovasculaire (CIM10 I00 à I99) pour les patients résidant dans les 10 communes étudiées et hospitalisés pendant plus de 24 h, en provenance de leur domicile. Ces données sont résumées dans le tableau 15.

Il n'a pas été possible d'obtenir des informations auprès de la clinique des Murlins, spécialisée en cancérologie. Néanmoins, une recherche dans la base informatique de la DRASS a montré que très peu d'hospitalisations dans cet établissement répondaient aux critères décrits ci-dessus.

Tableau 15 :

Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiovasculaires sur l'agglomération orléanaise pour les deux saisons tropiques considérées

Périodes étudiées	Etablissements	Nombre de 1 ^{er} RUM contenant un DP respiratoire			Nombre de 1 ^{er} RUM contenant un DP cardiovasculaire
		0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	
Du 01/10/98 au 31/03/99	CHRO	382	217	236	600
	Reine Blanche	0	19,6	48,6	441,6
	Total	382	236,6	282,6	1041,6
	Nombre moy/j	2,10	1,30	1,56	5,72
Du 01/04/99 au 30/09/99	CHRO	113	159	170	608
	Reine Blanche	0	10,7	20,4	387
	Total	113	169,7	190,4	995
	Nombre moy/j	0,62	0,93	1,04	5,46
Du 01/10/98 au 30/09/99	CHRO	495	376	406	1208
	Reine Blanche	0	30,3	69	828,6
	Total	495	406,3	475	2036,6
	Nombre moy/j	1,35	1,11	1,30	5,58

En résumé, les nombres d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiovasculaires par année tropique sont inscrits dans le tableau suivant :

Tableau 16 :
Synthèse des données d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardiovasculaires sur l'agglomération orléanaise, pour l'année tropique considérée

	Motifs respiratoires									Motifs cardiovasculaires		
	0-14 ans			15-64 ans			65 ans et +			hiver 98-99	été 99	Total
	hiver 98-99	été 99	Total	hiver 98-99	été 99	Total	hiver 98-99	été 99	Total			
Nombre d'admissions hospitalières	382	113	495	236	170	406	285	190	475	1042	999	2041

b/ Estimation de l'impact sanitaire

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 (niveaux de pollution égaux au percentile 5 soit les 5% des jours les moins pollués). Les nombres de cas attribuables à la pollution atmosphérique calculés sont présentés dans le tableau suivant pour chacun des indicateurs sanitaires et indicateurs d'exposition étudiés.

Tableau 17 :
Nombres de cas attribuables pour chaque indicateur sanitaire et indicateur d'exposition étudiés

Indicateurs sanitaires et indicateurs d'exposition		Nombre de cas attribuables		
		hiver 98-99	été 99	Total
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O ₃	13,2	11,3	24,5
	NO ₂	10,2	4,9	15,1
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃	4,6	2,2	6,8
	NO ₂	0,8	0,0	0,8
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃	3,7	4,9	8,6
	NO ₂	0,0	0,8	0,8
Morbidity cardio-vasculaire	NO ₂ *	18,2	11,5	29,7

* Il n'existe pas de relation exposition-risque disponible pour l'indicateur O₃ 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 sont au minimum égaux aux plus grands nombres d'événements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudiés (cf. tableau 18).

Tableau 18 :
Nombres de cas les plus élevés attribuables à l'un des indicateurs d'exposition

Indicateurs sanitaires et indicateurs d'exposition		Nombre de cas attribuables (pour l'indicateur d'exposition ayant l'impact le plus élevé)		
		hiver 98-99	été 99	an 98-99
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O ₃	13,2	11,3	24,5
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃	4,6	2,2	6,8
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃	3,7	4,9	8,6
Morbidité cardiovasculaire	NO ₂	18,2	11,5	29,7

Pour l'année étudiée, l'impact sanitaire total de la pollution atmosphérique à Orléans se traduit par :

- 24 [12 - 37]* décès anticipés, soit 18 décès sur 1000 ;
- 15 [3 - 40]* admissions hospitalières pour motifs respiratoires (dont 7 chez les 15-64 ans et 8 chez les 65 ans et plus, soit 17 hospitalisations sur 1000 ;
- 30 [17 - 42]* admissions hospitalières pour motifs cardiovasculaires, soit 14 hospitalisations sur 1000.

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

* *intervalle de confiance à 95 %.*

• **Scénarii de réduction de la pollution**

Trois 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. Pour l'ozone ce niveau est fixé à 110 µg/m³ et 50 µg/m³ pour le dioxyde d'azote qui correspondent aux objectifs de qualité de l'air fixée par le décret n° 98-362 du 6 mai 1998 relatif aux plans régionaux de 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 %.

↳ Le scénario «P75/P25» (S3) qui consiste, sur la période d'étude, à considérer que les 91 jours les plus pollués (percentile 75) atteignent le niveau de pollution non dépassé par les 91 jours les moins pollués (percentile 25).

Pour ces trois scénarii, les gains sanitaires (GS) pour chaque indicateur sanitaire sont calculés et présentés dans le tableau 19. 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.

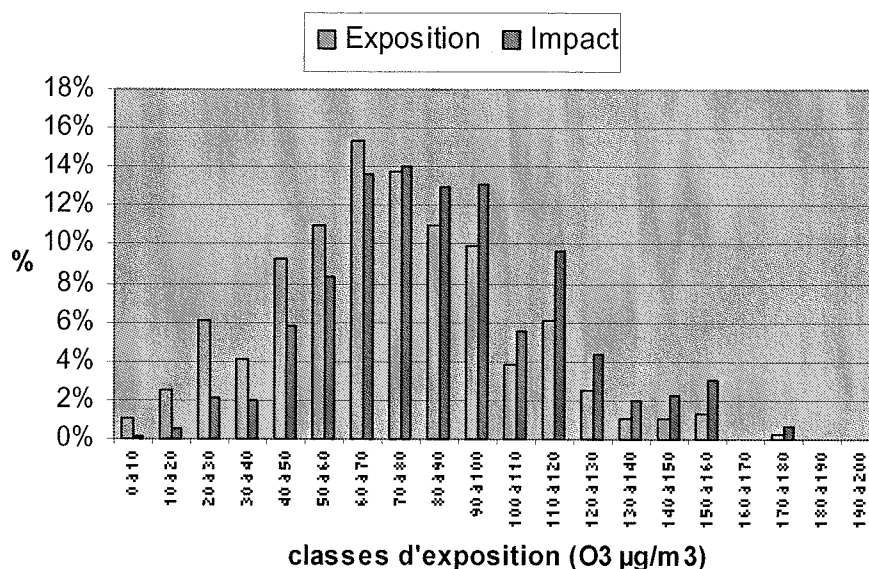
Tableau 19 :
Gains sanitaires (GS) selon différents scénarii de réduction de la pollution et pour chaque indicateur sanitaire

			Gains sanitaires								
			hiver 98/99			été 99			année 98-99		
			S1	S2	S3	S1	S2	S3	S1	S2	S3
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O ₃	GS	0,0	5,1	2,9	1,4	7,8	2,8	1,4	12,9	5,7
		Impact total	13,2			11,3			24,5		
		% de GS	0,0	38,6	22,0	12,4	69,0	24,8	5,7	52,6	23,3
Morbidity respiratoire chez les 15-64 ans	O ₃	GS	0,0	1,8	1,0	0,3	1,6	0,6	0,3	3,4	1,6
		Impact total	4,6			2,2			6,8		
		% de GS	0,0	39,1	21,7	13,6	72,7	27,3	4,4	50,0	23,5
Morbidity respiratoire chez les 65 ans et plus	O ₃	GS	0,0	1,4	0,8	0,6	3,4	1,2	0,6	4,8	2,0
		Impact total	3,7			4,9			8,6		
		% de GS	0,0	37,8	21,6	12,2	69,4	24,5	7,0	55,0	23,2
Morbidity cardiovasculaire	NO ₂	GS	0,7	7,3	3,8	0,0	4,7	2,7	0,7	12,0	6,5
		Impact total	18,2			11,5			29,7		
		% de GS	3,8	40,1	20,9	0,0	40,9	23,5	2,1	40,4	21,9

Pour le scénario «réduction des pics» (S1), le gain sanitaire est toujours faible (entre 0 et 13%). 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. Le diagramme suivant illustre la répartition des cas attribuables à chaque niveau d'exposition (de 10 en 10µg/m³) pour l'ozone pendant l'année considérée.

Figure 1 :

Distribution des niveaux d'exposition journaliers et des impacts associés, année 1998, 1999 - Mortalité toutes causes sauf accidentelles



Pour le scénario «moins 25 %» (S2), le gain sanitaire varie, selon les effets sanitaires, entre 38 et 40 % en hiver et entre 40 et 73 % en été.

Enfin, pour le scénario «P75/P25» (S3) le gain sanitaire se situe, quelle que soit la période entre 21 et 27 %.

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

- 13 [6 ; 20]* décès anticipés
- 8 [2 ; 18]* admissions hospitalières pour motifs respiratoires (dont 3,4 chez les 15-64 ans et 4,8 chez les 65 ans et plus)
- 12 [7 ; 17]* admissions hospitalières pour motifs cardiovasculaires.

* Intervalle de confiance à 95 %

c/ Comparaison avec les résultats de l'étude «9 villes»

L'étude «9 villes» [6] est une étude multicentrique coordonnée par l'InVS et menée selon le même protocole à Bordeaux, Le Havre, Lille, Lyon, Marseille, Rouen, Strasbourg, Toulouse. Ces villes ont été choisies pour le caractère contrasté de leurs sources, de leurs niveaux de pollution et de leurs conditions géo-climatiques. Paris s'est joint à l'étude avec les résultats du programme ERPURS.

L'étude «9 villes» vise donc à quantifier la relation à court terme entre la pollution atmosphérique et ses effets sur la santé. Les données recueillies sur la période 1990-1995 ont déjà permis de conclure à l'homogénéité des risques en terme de mortalité anticipée entre les différentes zones d'étude. Une relation exposition-risque pour la mortalité totale à partir de l'analyse combinée de l'ensemble des zones étudiées a ainsi pu être déterminée. Cette relation a permis de calculer le nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique dans les 9 villes. A titre de comparaison, les tableaux 20 et 21 présentent donc les niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique et l'impact de la pollution sur la mortalité attribuable dans les 9 villes avec ceux de l'agglomération d'Orléans.

Tableau 20 :
**Distribution des indicateurs d'exposition sur les zones urbaines de l'étude «9 villes»
 et sur l'agglomération orléanaise**

Zones	NO ₂ (moy 24 h en µg/m ³)			O ₃ (moy 8 h) en µg/m ³		
	P25	P50	P75	P25	P50	P75
Bordeaux (**)						
Le Havre	26	35	46	28	43	61
Lille (**)						
Lyon	33	40	50	25	52	89
Marseille (**)						
Paris	45	54	65	12	26	44
Rouen	25	33	42	39	58	77
Strasbourg	41	51	63	17	37	72
Toulouse	22	28	37	46	68	91
Orléans	14	20	30	52,4	70,7	91

** l'indicateur d'exposition exploité dans ces villes est le dioxyde de soufre (SO₂) qui n'a pas été utilisé pour l'EIS d'Orléans

Pour le dioxyde d'azote, Orléans présente les niveaux d'exposition les plus faibles. Ces résultats doivent néanmoins être interprétés avec prudence, en effet cet indicateur a été construit à partir de la moyenne entre une station urbaine et une station périurbaine, ce qui entraîne une sous-estimation des niveaux enregistrés en centre ville.

En ce qui concerne l'ozone, l'agglomération orléanaise présente les niveaux les plus élevés ceux-ci étant comparables à ceux enregistrés sur Toulouse.

Les nombres de décès anticipés attribuables présentés dans le tableau 21 correspondent à l'hypothèse d'une réduction des niveaux d'exposition en ramenant au niveau du percentile 25, le quart des jours les plus pollués, c'est-à-dire dépassant le percentile 75.

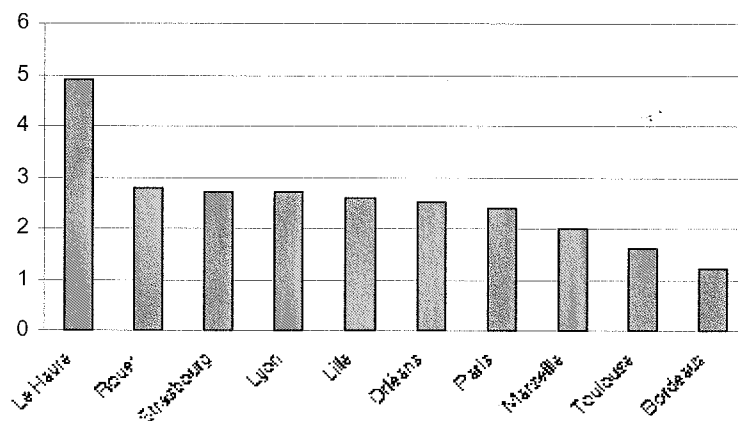
Tableau 21 :
**Caractéristiques démographiques et taux de décès anticipés attribuables
 à la pollution atmosphérique pour 100 000 habitants**

Zones	Population*	Densité de Population (hab/km ²)	Nombres moyens journaliers de décès toutes causes sauf accidentelles	Taux de décès pour 100 000 hab. et par an	Nombre annuel de décès anticipés attribuables (P75/P25)	Taux de décès anticipés attribuables pour 100 000 hab. et par an (P75/P25)
Bordeaux	557 670	1 971	12,3	805	6,7	1,2
Le Havre	259 965	1 306	6,3	885	12,7	4,9
Lille	1 067 563	1 744	22,4	766	27,8	2,6
Lyon	765 789	5 801	15,5	739	20,7	2,7
Marseille	855 411	2 409	21,7	926	17,1	2,0
Paris	6 178 359	8 059	125	738	148,3	2,4
Rouen	428 971	1 342	10	851	12,0	2,8
Strasbourg	422 642	1 273	8,5	734	11,4	2,7
Toulouse	606 706	955	10,2	614	9,7	1,6
Orléans	228 035	1 705	3,8	611	5,7	2,5

* RGP 99 pour Orléans, RGP 90 pour les autres villes

Le taux de décès anticipés attribuables pour 100 000 habitants et par an sur l'agglomération orléanaise est assez proche des taux retrouvés à Lille, Lyon, Marseille, Paris, Rouen et Strasbourg. Le Havre présente un taux deux fois plus élevé qu'à Orléans alors que ceux de Bordeaux et Toulouse sont plus faible (figure 2). Il faut noter qu'à Bordeaux, Lille et Marseille, seuls les indicateurs de pollution de type acido-particulaires (particules et SO₂) ont été pris en compte, alors qu'à Toulouse, ce sont uniquement les indicateurs de pollution de type photo-oxydante (NO₂ et O₃) qui ont pu être étudiés. Il est donc possible que l'EIS qui a été réalisée dans chacune de ces zones ait été sous-estimé.

Figure 2 :
Taux de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique pour 100 000 habitants et par an (P75/P25)



4. DISCUSSION

4.1. HYPOTHÈSES, LIMITES ET INCERTITUDES

L'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique urbaine sur l'agglomération orléanaise a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide de l'InVS, c'est-à-dire en déroulant les 4 étapes de la démarche : identification des dangers, choix des relations exposition-risque, estimation de l'exposition, caractérisation du risque. 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 n'a porté que sur les effets de la pollution atmosphérique sur la santé survenant à court terme. Elle a permis notamment de calculer un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné, au cours d'une année. 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, au cours d'une année, ont vu leur espérance de vie diminuée d'une certaine durée. Cette durée (ou anticipation) peut être interprétée comme étant le délai avec lequel la population sensible à la pollution aurait évolué vers le décès en l'absence d'exposition à la pollution atmosphérique. Pour la mortalité cardiovasculaire, elle est actuellement estimée à 6 mois.

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.

En ne prenant en compte ni les effets à long terme de la pollution atmosphérique, ni ses effets à court terme ne nécessitant pas d'hospitalisation, l'EIS conduit à une sous-estimation 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.

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 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.

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, le réseau de mesure de l'agglomération orléanaise compte 2 stations plutôt situées en zone périurbaine et 1 station urbaine. Pour cette raison, il est possible que l'indicateur d'exposition au NO₂ et SO₂ ait probablement été sous-estimé et celui de l'ozone légèrement surestimé.

d/ Caractérisation du risque

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.

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 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.

L'erreur sur le dénombrement des effets sanitaires (mortalité, admissions hospitalières) est limitée par le recours à des 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 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.

4.2. 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.

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 sur la santé 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.

Les résultats de la présente EIS sont une illustration de ces acquis scientifiques. Leur présentation peut contribuer à leur appropriation au niveau local.

5. CONCLUSION

5.1. UN IMPACT COLLECTIF NON NÉGLIGEABLE

Sur une année, l'impact total de la pollution atmosphérique pour l'agglomération orléanaise (228 035 habitants), évalué par rapport à une situation théorique sans pollution, a été estimé à, en moyenne, 24 décès anticipés et 45 hospitalisations (dont 7 pour motifs respiratoires chez les 15-64 ans, 8 pour motifs respiratoires chez les 65 ans et 30 pour motifs cardiovasculaires). Il s'agit là d'ordre de grandeur mais ces chiffres illustrent le fait que la pollution atmosphérique exerce des effets sur la santé d'une population, même pour de 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'une enquête épidémiologique.

5.2. 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 13 % de l'impact total tandis qu'une réduction des niveaux de pollution de 25 % serait accompagnée d'une réduction de 40 % à 70 % des effets sanitaires. Si les niveaux de pollution dépassant le 75^{ème} percentile (correspondant au niveau dépassé ou atteint au cours des 91 jours les plus " pollués " de l'année) étaient ramenés au niveau du 25^{ème} percentile, les gains sanitaires se situeraient entre 20 % et 25 %.

En pratique, cela signifie qu'une politique locale de gestion des risques 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 l'agglomération orléanaise étant principalement due aux transports routiers, ce sont les émissions automobiles dans leur ensemble qu'il conviendrait de réduire.

A cet égard, on notera que les données utilisées sont antérieures à la mise en service du tramway. A terme, il pourrait être intéressant de renouveler cette étude afin d'estimer l'impact que peut avoir ce type d'infrastructure sur l'exposition de la population à la pollution de l'air.

5.3. DES CONNAISSANCES ENCORE LACUNAIRES

Il serait nécessaire élargir le champ de l'évaluation de l'impact sanitaire et ne pas rester cantonné à la mortalité anticipée et aux effets à court terme 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.

Enfin, il serait intéressant de conduire une étude complémentaire sur d'autres indicateurs de pollution comme les particules fines (PM10- PM2,5) en utilisant par exemple les relations doses réponses publiées par l'OMS [7].

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 normes), grand nombre de personnes exposées et importance de la pollution chronique par rapport aux pics.

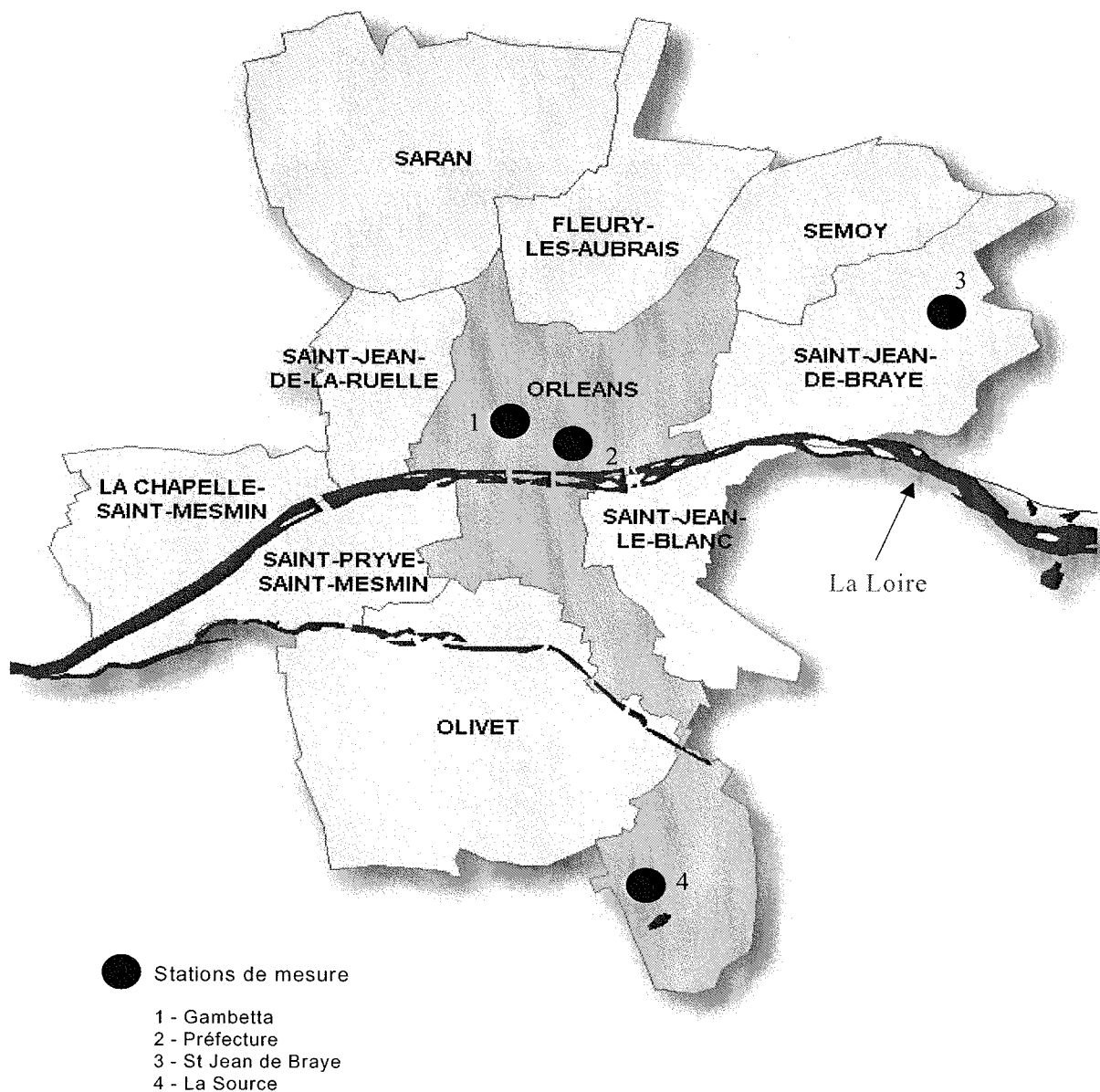
□ BIBLIOGRAPHIE

- [1] Institut de Veille Sanitaire. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine - Guide méthodologique. Institut de Veille Sanitaire, Juillet 1999.
- [2] Préfecture de la région Centre - DRIRE. Plan Régional pour la qualité de l'air - Projet pour consultation et mise à disposition du public - Décembre 2000.
- [3] INSEE - Bases de données communes-Profiles ; recensement de la population 1999 - Exploitation principale.
- [4] CITEPA - Inventaire d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air. Rapport Centre. Octobre 1997.
- [5] LIG'AIR - Rapport d'activité 1999. Qualité de l'air sur la région Centre. Août 2000.
- [6] Institut de Veille Sanitaire. Surveillance épidémiologique Air et Santé - Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Rapport de l'étude - Mars 1999.
- [7] OMS. Guidelines for air quality. <http://www.who.int>.

□ ANNEXES

ANNEXE 1

Zone d'étude de l'évaluation de l'impact sanitaire



ANNEXE 2 :

Distribution des indicateurs de pollutions par station (du 01/10/98 au 30/09/99)

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

Tableau 1 :
Distribution du NO₂ par station

NO ₂		Préfecture	La Source
01/10/98 - 30/09/99	Moyenne	26,6	19,1
	Médiane	23,8	16,5
	P5	9,5	5,1
	P25	16,0	10,4
	P75	35,3	24,2
	P95	51,9	45,2
	Minimum	5,4	2,1
	Maximum	77,8	72,4
	% Valeurs manquantes	1,1	3,8
01/10/98 - 31/03/99	Moyenne	35,0	23,2
	Médiane	34,2	20,4
	P5	15,9	5,8
	P25	24,8	12,0
	P75	43,1	29,6
	P95	57,8	51,7
	Minimum	8,0	2,1
	Maximum	77,8	72,4
	% Valeurs manquantes	1,1	5,5
01/04/99 - 30/09/99	Moyenne	18,2	15,2
	Médiane	16,5	14,2
	P5	8,1	4,3
	P25	12,8	9,2
	P75	23,1	20,0
	P95	31,8	29,9
	Minimum	5,4	2,3
	Maximum	47,0	44,8
	% Valeurs manquantes	1,1	2,2

Tableau 2 :
Distribution du O₃ par station

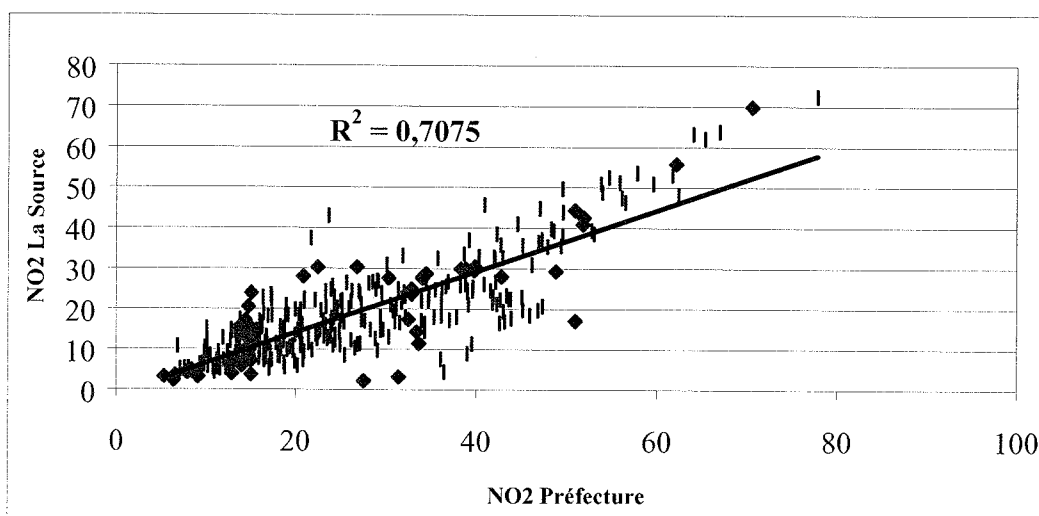
O ₃		Préfecture	La Source	St Jean de Braye
Période Totale 01/10/98 - 30/09/99	Moyenne	61,9	81,3	72,2
	Médiane	59,6	79,6	70,9
	P5	14,5	32,2	24,0
	P25	41,9	62,0	51,6
	P75	79,0	100,7	92,1
	P95	115,5	134,2	123,5
	Minimum	0,8	7,8	3,0
	Maximum	157,9	185,6	179,1
	% Valeurs manquantes	0,3	1,1	2,4
01/10/98 - 31/03/99	Moyenne	41,4	60,6	51,6
	Médiane	42,4	62,7	52,1
	P5	10,8	28,2	15,6
	P25	27,2	47,8	34,9
	P75	55,9	74,1	66,5
	P95	69,5	90,3	83,6
	Minimum	0,8	7,8	3,0
	Maximum	99,7	109,6	112,7
	% Valeurs manquantes	0	0,3	0
01/04/99 - 30/09/99	Moyenne	82,4	102,1	93,7
	Médiane	78,5	99,4	91,3
	P5	48,5	69,7	59,7
	P25	64,7	83,3	76,1
	P75	98,3	116,5	106,8
	P95	131,4	150,7	134,7
	Minimum	36,0	50,9	47,8
	Maximum	157,9	185,6	179,1
	% Valeurs manquantes	0,3	1,6	4,9

Tableau 3 :
Distribution du SO₂ par station

SO ₂		Préfecture	La Source
Période totale 01/10/98 - 30/09/99	Moyenne	2,6	2,7
	Médiane	1,2	1,9
	P5	0,0	0,0
	P25	0,2	0,7
	P75	3,4	3,8
	P95	11,4	8,1
	Minimum	0	0
	Maximum	23,3	21,6
	% Valeurs manquantes	2,7	1,1
01/10/98 - 30/09/99	Moyenne	4,1	3,0
	Médiane	2,5	1,9
	P5	0,0	0,0
	P25	0,9	0,5
	P75	5,5	4,5
	P95	13,0	9,2
	Minimum	0	0
	Maximum	23,3	21,6
	% Valeurs manquantes	1,1	0,5
01/04/99 - 30/09/99	Moyenne	1,1	2,4
	Médiane	0,4	1,9
	P5	0,0	0,0
	P25	0,02	0,9
	P75	1,3	3,3
	P95	4,3	5,8
	Minimum	0,0	0,0
	Maximum	13,8	18,5
	% Valeurs manquantes	4,4	1,6

**Coefficients de corrélation entre stations
pour les indicateurs de pollution
(sur la période du 01/10/98 au 30/09/99)**

Figure 1 :
Coefficient de corrélation entre stations pour NO₂

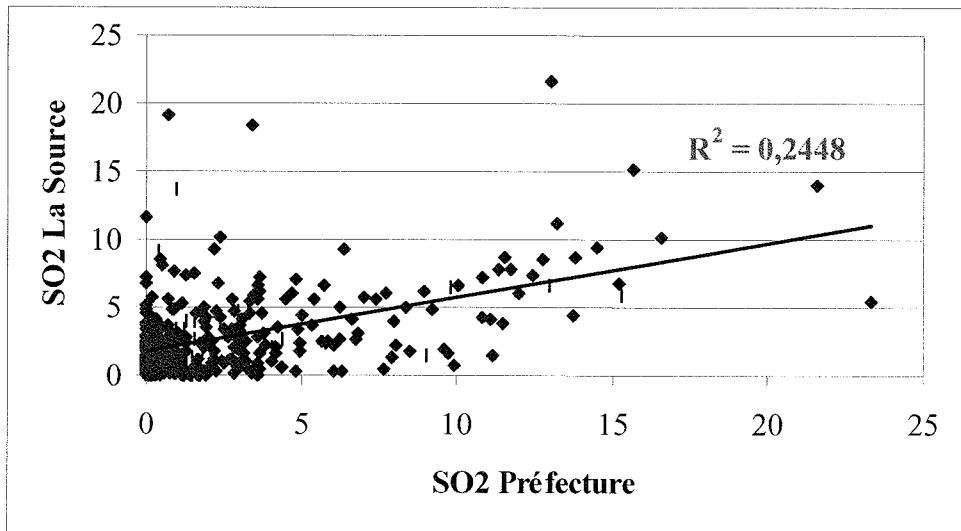


Coefficient de corrélation = 0,841

Tableau 4 :
Coefficients de corrélation entre stations pour O₃

	Préfecture	La Source	St Jean de Braye
Préfecture	1,00	0,9831	0,9891
La Source		1,00	0,9905
St Jean de Braye			1,00

Figure 2
Coefficient de corrélation entre stations pour SO₂



Coefficient de corrélation = 0,494