

# Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine Agglomérations d'Orléans et de Tours Impact à court et long terme

## Réalisation de l'étude

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

## Ont contribué à cette étude

- Lig'Air (Réseau de surveillance régionale de la qualité de l'air dans la région Centre) :  
Patrice Colin  
Abderrazak Yahyaoui
- Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de l'Indre-et-Loire :  
François Viguié
- Direction départementale des affaires sanitaires et sociales du Loiret :  
Garance Maurin
- Direction régionale des affaires sanitaires et sociales du Centre :  
Jean-François Lebourg
- Centre hospitalier universitaire de Tours :  
Emmanuel Rusch  
Sophie Baron
- Clinique Fleming (Tours) :  
Raphaël Rogez
- Centre hospitalier régional d'Orléans :  
Éric Eynard
- Clinique de la Reine Blanche (Orléans) :  
René Gabriel Huguet

## Abréviations et sigles utilisés

Aphea	Air pollution and health – an european approach
Appa	Association pour la prévention de la pollution atmosphérique
CH	Centre hospitalier
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
IC 95 %	Intervalle de confiance à 95 %
NO <sub>x</sub>	Oxydes d'azote
NO <sub>2</sub>	Dioxyde d'azote
O <sub>3</sub>	Ozone
PM <sub>2,5</sub>	Particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 2,5 micromètres
PM <sub>10</sub>	Particules d'un diamètre aérodynamique inférieur à 10 micromètres
PS	Particules en suspension
RR	Risque relatif
SO <sub>2</sub>	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 [1] que la Direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) du Loiret, la Ddass de l'Indre-et-Loire et la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales (Drass) du Centre avaient demandé en 2001 à la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire) Centre-Ouest, de réaliser une évaluation de l'impact sanitaire (EIS) sur les agglomérations d'Orléans et de Tours [2,3]. Cette étude avait permis de caractériser les effets à court terme à partir du guide de l'Institut de veille sanitaire (InVS) de 1999.

La parution d'un nouveau guide en juin 2003 [4] mettant à jour les nouvelles connaissances épidémiologiques, en intégrant notamment les effets à long terme, ont motivé la demande de réalisation d'une nouvelle EIS.

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 cardiovasculaires dans les agglomérations d'Orléans et de Tours ;
- d'estimer l'impact à long terme de la pollution actuelle sur la mortalité toutes causes ;
- de comparer l'efficacité, en termes 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 d'Orléans et de Tours, 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 deux agglomérations, la zone délimitée remplissant au mieux les critères de sélection avait été étudiée dans les premières EIS en 2001 et 2002 [2,3]. Les éléments étudiés n'ont pas ou peu évolué depuis en termes d'urbanisation, d'homogénéisation des sources d'émission et de démographie. On reprendra donc les zones précédemment sélectionnées et comprenant les communes suivantes :

- agglomération orléanaise : Fleury-les-Aubrais, La Chapelle-Saint-Mesmin, Olivet, Orléans, Saran, Semoy, Saint-Jean-de-Braye, Saint-Jean-de-la-Ruelle, Saint-Jean-le-Blanc, Saint-Pryvé-Saint-Mesmin.
- agglomération tourangelle : Chambray-lès-Tours, Joué-lès-Tours, La Riche, La Ville-aux-Dames, Saint-Avertin, Saint-Cyr-sur-Loire, Saint-Pierre-des-Corps, Tours.

Pour rappel, la distribution des populations par classe d'âge et par commune est présentée dans les tableaux suivants :

**Tableau 1 - Distribution de la population par classe d'âge, zone d'étude d'Orléans (source : Insee 99)**

Communes de la zone d'étude	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total
Fleury-les-Aubrais	4 033	13 880	2 789	20 702
La Chapelle-Saint-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
Saint-Jean-de-Braye	3 511	12 277	1 969	17 757
Saint-Jean-de-la-Ruelle	3 240	10 770	2 550	16 560
Saint-Jean-le-Blanc	1 407	5 875	1 203	8 485
Saint-Pryvé-Saint-Mesmin	1 106	3 764	739	5 609
<b>Total</b>	<b>41 304</b>	<b>156 006</b>	<b>30 725</b>	<b>228 035</b>
% classe d'âge	18,1 %	68,4 %	13,5 %	-

**Tableau 2 - Distribution de la population par classe d'âge, zone d'étude de Tours (source : Insee 99)**

Communes de la zone d'étude	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	Total
Chambray-lès-Tours	1 755	7 010	1 504	10 269
Joué-lès-Tours	6 199	25 212	5 100	36 511
La Riche	1 452	5 903	1 244	8 599
La Ville-aux-Dames	862	3 214	567	4 643
Saint-Avertin	2 599	9 410	2 085	14 094
Saint-Cyr-sur-Loire	2 457	10 532	3 177	16 166
Saint-Pierre-des-Corps	2 600	10 437	2 720	15 757
Tours	17 984	91 670	23 023	132 677
<b>Total</b>	<b>35 908</b>	<b>163 388</b>	<b>39 420</b>	<b>238 716</b>
% classe d'âge	15,0 %	68,5 %	16,5 %	-

La population tourangelle est légèrement plus âgée que celle d'Orléans (16,5 % des 65 ans et + *versus* 13,5 %).

## 1.1 | Sources de pollution atmosphérique

Le Centre interprofessionnel technique d'étude de la pollution atmosphérique (Citepa) [5] a réalisé, en 1997, un rapport 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 deux agglomérations le SO<sub>2</sub>, le CO et les NO<sub>x</sub> sont principalement imputables aux transports routiers.

**Tableau 3 - Émissions de polluants atmosphériques dans les agglomérations (source : Citepa 1997)**

Polluant	SO <sub>2</sub>	NO <sub>x</sub>	CO
<b>% industrie et traitement des déchets</b>			
Orléans	9,0	6,6	0,4
Tours	10,9	3,5	0,4
<b>% résidentiel et tertiaire</b>			
Orléans	17,3	8,2	13,9
Tours	33,9	9,1	17,2
<b>% transports routiers</b>			
Orléans	27,9	80,4	85,4
Tours	47,2	84,0	82,1

## 1.2 | Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de la qualité de l'air dans les agglomérations d'Orléans et de Tours est assurée par l'association Lig'Air. Cette association a été créée en 1996 pour assurer la surveillance de la qualité de l'air en région Centre. Membre de la fédération nationale "Atmo" qui regroupe 39 réseaux de surveillance de la pollution atmosphérique.

## 1

## Description des zones d'étude

## 1.2.1 | Description des stations de mesure

**Orléans**

Quatre stations de mesure sont exploitées sur l'agglomération d'Orléans avec trois 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

Saint-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 le boulevard Gambetta au niveau du carrefour avec le faubourg Bannier.

Tableau 4 - Classification des stations sur l'agglomération d'Orléans (source : Lig'Air)

Station	Gambetta	Préfecture	La Source	Saint-Jean-de-Braye
Type de station	Proximité	Urbaine de fond	Urbaine de fond	Périurbaine de fond
Environnement immédiat	Centre ville : un carrefour à forte circulation automobile (> 20 000 véh/jour)	Jardin	Centre commercial d'un quartier HLM	Enceinte d'une école maternelle, quartier résidentiel
Source de pollution	Trafic automobile	Principalement automobile	Principalement automobile	Principalement automobile
Hauteur du prélèvement	3 m	3 m	3 m	3 m
Polluants mesurés	NO <sub>2</sub> , CO, Poussières (PM <sub>10</sub> )	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Poussières (PM <sub>10</sub> )	O <sub>3</sub> , NO <sub>2</sub> , SO <sub>2</sub> , Poussières (PM <sub>10</sub> )	O <sub>3</sub>
Date de mise en service	03/03/99	24/03/98	12/03/98	03/03/98

**Tours**

Cinq stations de mesure sont exploitées sur l'agglomération tourangelle avec quatre stations mesurant la pollution de fond et une station de proximité automobile (cf. tableau 5).

Les stations de fond sont situées dans le centre et au nord de Tours, à Joué-lès-Tours et à la Ville-aux-Dames (station périurbaine). Cette dernière, équipée uniquement pour la mesure d'ozone et d'oxydes d'azote, permet de connaître l'influence de la pollution du centre ville sur la périphérie.

Tableau 5 - Classification des stations sur l'agglomération de Tours (source : Lig'Air)

Station	Mirabeau	La Ville-aux-Dames	Jardin botanique	Joué-lès-Tours	La Bruyère
Type de station	Trafic	Périurbaine	Urbaine	Urbaine	Urbaine
Environnement immédiat	Centre ville de Tours – Prélèvement d'air à 5 m de la rue Mirabeau (à fort trafic automobile)	Zone industrielle du Bois des Plantes, au centre technique de la Drire La zone n'est pas fortement industrialisée	Centre ville de Tours dans la zone réservée aux services techniques du jardin botanique	Cour de l'école Blotterie, quartier résidentiel	Cour du collège La Bruyère à Tours Nord, quartier résidentiel
Source de pollution	Trafic automobile	Principalement automobile	Principalement automobile	Principalement automobile	Principalement automobile
Hauteur du prélèvement	2,5 m	3 m	3 m	3 m	3 m
Polluants mesurés	NO <sub>2</sub> , CO, Poussières (PM <sub>10</sub> )	O <sub>3</sub>	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , Poussières (PM <sub>10</sub> )	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , Poussières (PM <sub>10</sub> )	NO <sub>2</sub> , O <sub>3</sub> , SO <sub>2</sub> , Poussières (PM <sub>10</sub> )
Date de mise en service	Sept-98	Juil-98	Sept-98	Août-99	Avr-00

Les stations trafic ou de proximité automobile de Gambetta à Orléans et Mirabeau à Tours mesurent des niveaux de pollution qui sont représentatifs de la qualité de l'air, générés par les véhicules circulant à moins de 5 m.

Ainsi, il n'est pas jugé opportun d'utiliser les données de ces stations. Seuls seront retenus pour l'étude les résultats des stations urbaines et périurbaines mesurant la pollution de fond.

## 1.2.2 | Niveaux de pollution moyens enregistrés en 2002-2003

La période d'étude choisie couvre deux saisons tropiques : du 1<sup>er</sup> avril 2002 au 31 mars 2003. 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 6 - Niveaux moyens de pollution 2002-2003 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à Orléans**

Indicateurs d'exposition ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		Préfecture urbaine	La Source urbaine	Saint-Jean-de-Braye périurbaine	Objectif de qualité décret 2002-213
NO <sub>2</sub>	Moy. 24 h/an	22,4	17,7	18,8	40
SO <sub>2</sub>	Moy. 24 h/an	2	1	-	50
O <sub>3</sub>	Moy. 8 h/an	69	75	73	-
	Max. moy. 8 h	144	151	147	110
PM <sub>10</sub>	Moy. 24 h/an	23	19	-	30

**Tableau 7 - Niveaux moyens de pollution 2002-2003 (en  $\mu\text{g}/\text{m}^3$ ) à Tours**

Indicateurs d'exposition ( $\mu\text{g}/\text{m}^3$ )		La Ville-aux-Dames périurbaine	Jardin Botanique urbaine	Joué-lès-Tours urbaine	La Bruyère urbaine	Objectif de qualité décret 2002-213
NO <sub>2</sub>	Moy. 24 h/an	-	25,3	24,9	26,3	40
SO <sub>2</sub>	Moy. 24 h/an	-	-	1	1	50
O <sub>3</sub>	Moy. 8 h/an	68	68	64	66	-
	Max. moy. 8 h	150	155	153	138	110
PM <sub>10</sub>	Moy. 24 h/an	-	20	18	17	30

## 2 Matériel et méthodes

La méthodologie proposée par l'InVS pour l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine [4] a été appliquée. Cette méthodologie se décompose en quatre 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 exposition/risque issues des études épidémiologiques françaises (Psas 9) et européennes (Apeha) décrites dans le guide méthodologique [4].

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, les enfants, ou des

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 deux mois alors que pour les personnes atteintes d'affections cardiaques, cette anticipation pourrait être supérieure à trois 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 à 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 [4].

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 [6] pour l'ozone et les oxydes d'azote, le dioxyde de soufre et les fumées noires. Pour les particules en suspension PM<sub>10</sub>, seul le programme Apeha 2 [7] a produit des fonctions exposition/risque en Europe.

En ce qui concerne les indicateurs sanitaires relatifs aux admissions hospitalières pour motif respiratoire ou cardiovasculaire les fonctions exposition/risque retenues sont

celles élaborées dans le cadre des études européennes Apeha 1 et Apeha 2 [8].

Ces fonctions correspondent à des risques relatifs (RR), 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 µg/m<sup>3</sup> 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 8 à 11 présentent les fonctions exposition/risque proposées dans le guide méthodologique de l'InVS [4].

**Tableau 8 - Risques relatifs journaliers de mortalité totale, cardio-vasculaire, respiratoire pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution**

Indicateurs de pollution	RR et IC 95 %		
	Mortalité totale	Mortalité cardio-vasculaire	Mortalité respiratoire
PM <sub>10</sub> -moy. 24 h	1,006 [1,004-1,008]	-	-
SO <sub>2</sub> -moy. 24 h	1,011 [1,005-1,017]	1,008 [1,004-1,011]	1,011 [1,001-1,021]
NO <sub>2</sub> -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 <sub>3</sub> -moy. 8 h été	1,007 [1,003-1,010]	1,011 [1,004-1,018]	1,013 [1,005-1,021]

**Tableau 9 - Risques relatifs journaliers d'admission pour affections cardio-vasculaires pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution**

Indicateurs de pollution	RR	IC 95 %
SO <sub>2</sub> -moy. 24 h hiver	1,013	[1,006-1,020]
NO <sub>2</sub> -moy. 24 h hiver	1,010	[1,006-1,014]
NO <sub>2</sub> -moy. 24 h été	1,012	[1,007-1,017]

**Tableau 10 - Risques relatifs journaliers d'admission pour pathologies cardiaques pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution**

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

**Tableau 11 - Risques relatifs journaliers d'admission pour affections respiratoires pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux d'indicateurs de pollution**

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

## 2 Matériel et méthodes

### 2.2.2 | Fonctions exposition/risque à long terme

Actuellement, le guide de l'InVS [4] préconise d'utiliser la fonction exposition/risque de l'étude trinationale [8] relative à la mortalité toutes causes à long terme pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> de l'indicateur PM<sub>10</sub>. D'autres études permettraient d'utiliser un risque relatif pour calculer la mortalité cardio-respiratoire [9,10] et la mortalité par cancer du poumon [9,11] 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 PM<sub>10</sub> en PM<sub>2,5</sub> [9] et d'autre part, en ce qui concerne le risque de cancer

du poumon, de reconstruire l'indicateur en tenant compte de la distance par rapport aux voies de circulation [10]. 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 toutes causes sauf accidentelles à partir de l'indicateur PM<sub>10</sub> issu de l'étude [8].

**Tableau 12 - Risque relatif journalier de mortalité totale à long terme pour une augmentation de 10 µg/m<sup>3</sup> des niveaux de l'indicateur PM<sub>10</sub>**

Indicateurs de pollution	RR	IC 95 %
PM <sub>10</sub> -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 calculé 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 service CépiDc de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (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 (DP) 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 Résumés d'unité médicale (RUM) contenant un DP respiratoire ou cardio-vasculaire (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 étudiés dans les EIS précédentes, 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 [2,3].

### 3.1.2 | Niveaux d'exposition

#### 3.1.2.1 | Choix des polluants

Parmi les polluants surveillés sur les deux agglomérations, seuls les indicateurs comme les PM<sub>10</sub>, SO<sub>2</sub>, NO<sub>2</sub> et O<sub>3</sub> disposent de relations exposition/risque.

Les niveaux de SO<sub>2</sub> sont très faibles dans les deux unités urbaines avec des moyennes annuelles variant selon les stations de mesure entre 1 et 2 µg/m<sup>3</sup> (si on les compare

avec l'objectif de qualité de 50 µg/m<sup>3</sup> du décret 2002-213). À Tours, les mesures des stations mesurant ce paramètre sont insuffisamment corrélées (coefficient de corrélation = 0,41), ce qui conduit à exclure le dioxyde de soufre de l'étude (source : Lig'Air).

#### 3.1.2.2 | Période d'étude

L'étude a porté sur deux saisons tropicales (été 2002, hiver 2002-2003) pour lesquelles les données météorologiques étaient disponibles. Les saisons étudiées correspondent aux périodes suivantes :

- été 2002 : du 01/04/2002 au 30/09/2002 ;
- hiver 2002-2003 : du 01/10/2002 au 31/03/2003.

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 termes de conditions atmosphériques influençant les niveaux de pollution.

**Tableau 13 - Comparaison des paramètres météorologiques de l'année tropique 2002-2003 avec ceux de 1973-2002 (source : Météo-France, Orléans et Tours)**

Paramètres météorologiques	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 01/04 30/09	Hiver 01/10 31/03	Année	Été 01/04 30/09	Hiver 01/10 31/03	Année	Été 01/04 30/09	Hiver 01/10 31/03	Année	Été 01/04 30/09	Hiver 01/10 31/03
<b>Orléans</b>												
(2002-2003)	1 782	1 176	606	45	18	27	109	45	64	11,3	15,4	7,2
(1973-2002)	1 776	1 248	528	49	17,5	31,5	115,5	51,7	63,8	11,0	15,5	6,5
<b>Tours</b>												
(2002-2003)	1 831	1 213	619	28	12	16	112	46	66	11,9	15,9	7,9
(1973-2002)	1 836,6	1 286,5	550,2	46,8	16,6	30,3	115	49	66	11,5	15,9	7,1

Pour les deux agglomérations, les paramètres météorologiques de l'année étudiée sont du même ordre de grandeur par rapport à la période des 30 années précédentes, avec toutefois un nombre d'heures d'ensoleillement légèrement inférieur pendant l'été 2002. Il est alors possible que les concentrations en polluants photochimiques (O<sub>3</sub> et NO<sub>2</sub>) soient sous-estimées par

rapport à ce qui aurait été observé avec les conditions météorologiques des années antérieures. En revanche, en hiver, les durées d'insolation sont supérieures à celles de la période de référence pour les deux villes favorisant une possible surestimation des teneurs en polluants photochimiques.

### 3.1.2.3 | Sélection des stations

La sélection a porté sur les stations de mesure de pollution de fond urbain et périurbain. Les distributions saisonnières des immissions de polluants sur la période d'étude sont décrites en annexe 2. Ces stations mesurent les paramètres retenus pour l'étude : O<sub>3</sub>, NO<sub>2</sub>, PM<sub>10</sub>.

Pour chacune des agglomérations, les distributions des indicateurs suivis sont suffisamment corrélées entre les stations avec un coefficient supérieur à 0,60 pendant la période d'étude (annexe 3).

Les niveaux d'ozone mesurés sont légèrement supérieurs dans les stations périurbaines, par rapport aux stations urbaines, avec des écarts n'excédant pas 10 à 13 µg/m<sup>3</sup>. Inversement, pour les oxydes d'azote et les particules en

suspension, ce sont les stations urbaines qui enregistrent des valeurs légèrement supérieures mais avec un écart n'excédant pas 10 à 20 µg/m<sup>3</sup>.

On peut donc considérer que l'exposition des populations peut être calculée à partir des stations suivantes :

#### Orléans

Préfecture (urbaine), La Source (urbaine), Saint-Jean-de-Braye (périurbaine).

#### Tours

La Ville-aux-Dames (périurbaine), Jardin Botanique (urbaine), Joué-lès-Tours (urbaine), La Bruyère (urbaine).

### 3.1.2.4 | Indicateurs d'exposition

Les indicateurs d'exposition ont été construits en effectuant la moyenne arithmétique des données journalières des capteurs sélectionnés à l'aide du tableur Excel Epi-Expo, développé par l'InVS, qui permet également de remplacer les valeurs manquantes.

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition et leur distribution par gamme de concentration pour chacune des agglomérations étudiées sont présentées dans les tableaux suivants.

Tableau 14 - Distribution des indicateurs à Orléans

	O <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub>		PM <sub>10</sub>		
	Été	Année	Été	Hiver	Année	Été	Hiver
Nombre	183	365	183	182	365	183	182
Minimum	39	3	3	4	5	5	6
Percentile 5	55	6	5	8	8	9	8
Percentile 25	74	12	10	15	13	14	12
Médiane	89	17	14	24	19	19	19
Percentile 75	102	26	20	29	26	24	27
Percentile 95	128	39	32	45	43	38	45
Maximum	147	66	44	66	61	61	55
Moyenne journalière	89	20	16	24	21	20	21
Écart-Type	21,7	10,8	8,4	11,4	10,4	9,3	11,4
% Valeurs manquantes	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %	0,0 %

## 3 Résultats

Tableau 15 - Distribution des indicateurs à Tours

	O <sub>3</sub>		NO <sub>2</sub>		PM <sub>10</sub>		
	Été	Année	Été	Hiver	Année	Été	Hiver
Nombre	182	362	180	182	365	183	182
Minimum	38	5	5	8	6	6	6
Percentile 5	58	10	9	12	9	9	9
Percentile 25	69	17	14	21	13	12	13
Médiane	84	24	20	30	17	16	18
Percentile 75	95	33	26	40	23	21	25
Percentile 95	115	48	33	57	35	31	38
Maximum	140	70	40	70	56	43	56
Moyenne journalière	84	26	20	31	19	17	20
Ecart-Type	18,1	12,2	7,9	13,2	8,2	6,8	9,2
% Valeurs manquantes	1 %	1 %	2 %	0 %	0 %	0 %	0 %

Le nouveau guide de l'InVS [4] 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

#### 3.1.3.1 | Indicateurs sanitaires

##### *Mortalité*

Les dernières données disponibles des effectifs de mortalité des communes concernées toutes causes, sauf accidentelles (code CIM 10 < S00) pour les dernières années disponibles, ont été obtenues auprès du service CépiDc de l'Inserm de 1999 à 2000. Ceci a permis de

calculer un nombre moyen journalier de décès en été et en hiver. Les indicateurs de mortalité cardio-vasculaire (code CIM 10 : I00 à I99) et respiratoire (code CIM 10 : J00 à J99) ont également été inclus dans l'étude.

##### *Mortalité totale*

Tableau 16 - Nombres de décès toutes causes sauf accidentelles (source : CépiDc Inserm)

Zone d'étude	Décès (moyenne 1998-2000)	Année	Été	Hiver
Orléans	Nombre	1 344,5	640	704,5
	Moy. journalière	3,7	3,5	3,9
Tours	Nombre	1 964	779	915
	Moy. journalière	4,6	4,3	5,0

##### *Mortalité cardio-vasculaire*

Tableau 17 - Nombres de décès pour motif cardio-vasculaire (source : CépiDc Inserm)

Zone d'étude	Décès (moyenne 1998-2000)	Année	Été	Hiver
Orléans	Nombre	395,5	198,5	197
	Moy. journalière	1,1	1,1	1,1
Tours	Nombre	539,5	225,5	314
	Moy. journalière	1,5	1,2	1,7

### Mortalité respiratoire

Tableau 18 - Nombre de décès pour motif respiratoire (source : CépiDc Inserm)

Zone d'étude	Décès (moyenne 1998-2000)	Année	Été	Hiver
Orléans	Nombre	98	36,5	61,5
	Moy. journalière	0,3	0,2	0,34
Tours	Nombre	122	43,5	78,5
	Moy. journalière	0,3	0,2	0,4

### Admissions hospitalières

Après avis favorable du Cotrim (Comité technique régional de l'information médicale), les données d'admissions hospitalières ont été obtenues auprès des DIM des établissements suivants :

- agglomération d'Orléans : Centre hospitalier régional, Clinique de la Reine Blanche ;
- agglomération de Tours : Centre hospitalier universitaire, Clinique Fleming.

Pour les deux saisons tropicales retenues, ont été comptabilisés les nombres des premiers RUM contenant un DP respiratoire (CIM 10 : J00 à J99), cardio-vasculaire (CIM 10 : I00 à I99) ou cardiaque (CIM 10 : I00 à I52) 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 19 et exprimées en nombres moyens journaliers.

Tableau 19 - Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoire et cardio-vasculaire (moyenne/jour)

Périodes étudiées	Zone d'étude	Admissions				
		motif respiratoire		motif cardio-vasculaire Tous âges	motif cardiaque	
		15-64 ans	65 ans et +		Tous âges	65 ans et +
Été 2002	Orléans	1,0	1,1	5,8	4,5	3,0
	Tours	0,9	1,3	5,3	3,3	2,3
Hiver 2002-2003	Orléans	1,1	1,8	6,8	5,3	3,6
	Tours	0,9	1,6	5,7	3,7	2,5
Année 2002-2003	Orléans	1,1	1,5	6,3	4,9	3,3
	Tours	0,9	1,5	5,5	3,5	2,4

### 3.1.3.2 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/m<sup>3</sup> pour l'ozone et 10 µg/m<sup>3</sup> 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.

### 3 Résultats

**Tableau 20 - Effets à court terme : nombres de cas attribuables pour chaque indicateur sanitaire et indicateur d'exposition étudiés**

Indicateurs sanitaires	Indicateurs d'exposition	Nombre de cas attribuables et IC 95 % année 2002-2003	
		Orléans	Tours
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O <sub>3</sub> (été)	21,6 [9,2;31,2]	23,8 [10,1;34,3]
	NO <sub>2</sub>	13,8 [9,7;10,0]	26,8 [18,7;34,9]
	PM <sub>10</sub>	8,9 [5,9;11,9]	9,0 [6,0;12,1]
Mortalité cardio-vasculaire	O <sub>3</sub> (été)	10,4 [3,7;17,3]	10,7 [3,8;17,8]
	NO <sub>2</sub>	4,9 [2,0;7,3]	10,2 [4,2;15,4]
Mortalité respiratoire	O <sub>3</sub> (été)	2,1 [1,0;3,4]	2,3 [1,1;3,7]
	NO <sub>2</sub>	1,3 [0,5;2,1]	2,5 [0,9;4,0]
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans*	O <sub>3</sub> (été)	3,6 [-1,7;9,0]	2,9 [-1,4;7,3]
	NO <sub>2</sub>	0,8 [-1,2;2,9]	1,0 [-1,6;3,7]
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et +	O <sub>3</sub> (été)	7,8 [3,8;13,8]	8,3 [4,1;14,7]
	NO <sub>2</sub>	2,3 [-2,2;6,8]	3,5 [-3,5;10,5]
	PM <sub>10</sub>	5,4 [3,6;7,9]	4,4 [2,9;6,3]
Morbidité cardio-vasculaire**	NO <sub>2</sub>	25,7 [15,7;36,2]	34,1 [20,2;48,1]
Morbidité cardiaque	PM <sub>10</sub>	9,9 [4,0;15,9]	5,7 [2,3;9,1]
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et +	PM <sub>10</sub>	9,3 [5,3;13,3]	5,5 [3,1;7,8]

\*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 O<sub>3</sub>-PM<sub>10</sub> et les admissions pour motif cardio-vasculaire.

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 nombre d'événements attribuables parmi ceux calculés pour les indicateurs d'exposition étudiés (cf. tableau 21).

**Tableau 21 - Effets à court terme : nombres de cas les plus élevés attribuables pour chaque indicateur sanitaire à l'un des indicateurs d'exposition**

Indicateurs sanitaires	Indicateurs d'exposition	Nombre de cas attribuables et IC 95 % année 2002-2003	
		Orléans	Tours
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	O <sub>3</sub> (été) et NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> (été) : 21,6 [9,2;31,2]	NO <sub>2</sub> : 26,8 [18,7;34,9]
Mortalité cardio-vasculaire	O <sub>3</sub> (été)	10,4 [3,7;17,3]	10,7 [3,8;17,8]
Mortalité respiratoire	O <sub>3</sub> (été) et NO <sub>2</sub>	O <sub>3</sub> (été) : 2,1 [1,0;3,4]	NO <sub>2</sub> : 2,3 [1,1;3,7]
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	O <sub>3</sub> (été)	3,6 [-1,7;9,0]	2,9 [-1,4;7,3]
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et +	O <sub>3</sub> (été)	7,8 [3,8;13,8]	8,3 [4,1;14,7]
Morbidité cardio-vasculaire	NO <sub>2</sub>	25,7 [15,7;36,2]	34,1 [20,2;48,1]
Morbidité cardiaque	PM <sub>10</sub>	9,9 [4,0;15,9]	5,7 [2,3;9,1]
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et +	PM <sub>10</sub>	9,3 [5,3;13,3]	5,5 [3,1;7,8]

Ce sont les nombres d'événements sanitaires qui seraient théoriquement évités si la pollution était très faible. On constate que c'est l'ozone qui agit le plus sur la mortalité totale et respiratoire à Orléans, alors que ce sont

les oxydes d'azote qui ont l'impact le plus important à Tours. La moyenne annuelle de ce dernier indicateur est en effet plus élevée dans l'agglomération tourangelle ( $26 \mu\text{g}/\text{m}^3$  versus  $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ).

**Tableau 22 - Effets à long terme : mortalité toutes causes sauf accidentelles attribuable à l'indicateur d'exposition  $\text{PM}_{10}$**

Indicateur sanitaire	Indicateur d'exposition	Nombre de cas attribuables et IC 95 %	
		Orléans	Tours
Mortalité toutes causes sauf accidentelles	$\text{PM}_{10}$	58,9 [35,6;83,6]	60,8 [36,8;86,1]

### Effets à long terme

À 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  $\text{PM}_{10}$ . Les résultats sont présentés dans le tableau précédent.

Ce sont les nombres d'événements sanitaires annuels qui seraient potentiellement évitables si les concentrations en  $\text{PM}_{10}$  étaient réduites à un niveau très faible de pollution ( $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ). 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 sociodémographiques 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. Pour l'ozone, ces niveaux de base sont fixés à  $110 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour l'ozone,  $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour le dioxyde d'azote et  $30 \mu\text{g}/\text{m}^3$  pour les  $\text{PM}_{10}$ . Ces valeurs correspondent aux objectifs de qualité de l'air fixé 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 pour chaque indicateur sanitaire sont calculés et présentés pour chaque agglomération dans les tableaux 23 à 26. Les gains sanitaires calculés peuvent être interprétés comme étant les nombres d'événements 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'événements 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 %.

Les tableaux 23 à 26 présentent les gains sanitaires attribuables à chaque scénario de réduction de pollution.

# 3 Résultats

**Tableau 23 - Mortalité et gain sanitaire à Orléans selon les scénarii de réduction de la pollution pour chaque indicateur sanitaire**

Indicateurs sanitaires	Indicateurs d'exposition		Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (suppression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Mortalité à court terme toutes causes	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		21,6
		Gain sanitaire	0,9	9,6
		% de gain sanitaire*	4,2	44,4
Mortalité à court terme cardio-vasculaire	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		10,4
		Gain sanitaire	0,5	4,5
		% de gain sanitaire*	4,8	43,3
Mortalité à court terme respiratoire	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		2,1
		Gain sanitaire	0,1	0,9
		% de gain sanitaire*	4,8	42,8
Mortalité à long terme toutes causes	PM <sub>10</sub>	Impact total (nb de cas)		58,9
		Gain sanitaire	0,0	27,6
		% de gain sanitaire*	0,0	46,8

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

**Tableau 24 - Morbidité hospitalière et gain sanitaire à Orléans selon les scénarii de réduction de la pollution pour chaque indicateur sanitaire**

Indicateurs sanitaires	Indicateurs d'exposition		Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (suppression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		3,6
		Gain sanitaire	0,1	1,6
		% de gain sanitaire*	2,8	44,4
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et +	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		7,8
		Gain sanitaire	0,3	3,4
		% de gain sanitaire*	3,8	43,6
Morbidité cardio-vasculaire	NO <sub>2</sub>	Impact total (nb de cas)		25,7
		Gain sanitaire	1,0	12,1
		% de gain sanitaire*	3,9	47,1
Morbidité cardiaque	PM <sub>10</sub>	Impact total (nb de cas)		9,9
		Gain sanitaire	1,4	4,6
		% de gain sanitaire*	14,1	46,5
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et +	PM <sub>10</sub>	Impact total (nb de cas)		9,3
		Gain sanitaire	1,3	4,3
		% de gain sanitaire*	14,0	46,2

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

**Tableau 25 - Mortalité et gain sanitaire à Tours selon les scénarii de réduction de la pollution pour chaque indicateur sanitaire**

Indicateurs sanitaires	Indicateurs d'exposition		Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (suppression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Mortalité à court terme toutes causes	NO <sub>2</sub>	Impact total (nb de cas)		26,8
		Gain sanitaire	2,0	10,7
		% de gain sanitaire*	7,4	39,9
Mortalité à court terme cardio-vasculaire	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		10,7
		Gain sanitaire	0,2	4,9
		% de gain sanitaire*	1,8	45,8
Mortalité à court terme respiratoire	NO <sub>2</sub>	Impact total (nb de cas)		2,5
		Gain sanitaire	0,2	1,0
		% de gain sanitaire*	8,0	40,0
Mortalité à long terme toutes causes	PM <sub>10</sub>	Impact total (nb de cas)		60,8
		Gain sanitaire	0,0	31,7
		% de gain sanitaire*	0,0	52,1

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

**Tableau 26 - Morbidité hospitalière et gain sanitaire à Tours selon les scénarii de réduction de la pollution pour chaque indicateur sanitaire**

Indicateurs sanitaires	Indicateurs d'exposition		Scénarii de réduction de pollution	
			S1 (suppression des pics)	S2 (diminution des niveaux de 25 %)
Morbidité respiratoire chez les 15-64 ans	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		2,9
		Gain sanitaire	0,1	1,4
		% de gain sanitaire*	3,4	48,2
Morbidité respiratoire chez les 65 ans et +	O <sub>3</sub> (été)	Impact total (nb de cas)		8,3
		Gain sanitaire	0,2	3,8
		% de gain sanitaire*	2,4	45,8
Morbidité cardio-vasculaire	NO <sub>2</sub>	Impact total (nb de cas)		34,1
		Gain sanitaire	2,4	16,1
		% de gain sanitaire*	7,0	47,2
Morbidité cardiaque	PM <sub>10</sub>	Impact total (nb de cas)		5,7
		Gain sanitaire	0,4	3,0
		% de gain sanitaire*	7,0	52,6
Morbidité cardiaque chez les 65 ans et +	PM <sub>10</sub>	Impact total (nb de cas)		5,5
		Gain sanitaire	0,4	2,8
		% de gain sanitaire*	7,2	50,1

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

## 3 Résultats

Pour le scénario "réduction des pics" (S1), le gain sanitaire est toujours faible (entre 0 et 8 %). 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 la mortalité à long terme lié aux particules PM<sub>10</sub>, le scénario de suppression des pics n'a pas d'influence sur les gains sanitaires car les valeurs mesurées quotidiennement sur les deux agglomérations sont très majoritairement inférieures à l'objectif de qualité 30 µg/m<sup>3</sup>.

Pour le scénario "moins 25 %" (S2), le gain sanitaire varie, selon les effets sanitaires, entre 40 % et 53 % pour les effets à court terme et est de l'ordre de 50 % pour la mortalité à 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'Orléans :**

- 28 [17-39]\* décès à long terme ;
- 5 [1-10]\* admissions hospitalières pour motifs respiratoires (total des tranches d'âge) ;
- 12 [7-17]\* admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires.

### **Dans l'agglomération de Tours :**

- 32 [19-45]\* décès à long terme ;
- 5 [1-10]\* admissions hospitalières pour motifs respiratoires (total des tranches d'âge) ;
- 16 [8-19]\* admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires.

\* Intervalle de confiance à 95 %

## 3.2 | Discussion

### 3.2.1 | Hypothèses, limites et incertitudes

L'EIS de la pollution atmosphérique urbaine sur les agglomérations d'Orléans et de Tours a été menée en suivant la méthodologie proposée par le guide de l'InVS [4], 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.

#### 3.2.1.1 | 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 compris 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 consultation ambulatoire, l'EIS conduit à une estimation partielle de l'impact sanitaire global.

#### 3.2.1.2 | Relations exposition/risque

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, on dispose de relations fondées sur des observations épidémiologiques pour de 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 Apeha et Psas 9 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.

### 3.2.1.3 | 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 pollutions 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. À 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.

### 3.2.1.4 | 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 [6,9], mais de quantifier cet impact au niveau local. 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 :

- Orléans : 11 [2-23]\* hospitalisations pour motif respiratoire, 26 [16-36]\* pour motif cardio-vasculaire et 59 [36-84]\* décès long terme ;
- Tours : 11 [3-22]\* hospitalisations pour motif respiratoire, 34 [20-48]\* pour motif cardio-vasculaire et 61 [37-86]\* décès long terme ;

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.

\* Intervalle de confiance à 95 %

### 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 8 % de l'impact total, tandis qu'une réduction des niveaux de pollution de 25 % serait accompagnée d'une réduction de 40 % à 53 % 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 deux agglomérations étant principalement due aux transports routiers (cf. 1.3 : Sources de pollution atmosphérique), ce sont les émissions automobiles dans leur ensemble qu'il conviendrait de réduire.

## 4 Conclusion

### Des connaissances encore lacunaires

Il serait nécessaire d'élargir le champ de l'évaluation de l'impact sanitaire et de 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 réglementaires), grand nombre de personnes exposées, importance de la pollution chronique par rapport aux pics et nécessité de considérer l'ensemble des polluants.

## 5

## Références bibliographiques

- [1] Préfecture de la région Centre – Drire. Plan régional pour la qualité de l'air – Janvier 2002.
- [2] Cellule interrégionale d'épidémiologie Centre-Ouest : Évaluation de l'impact sanitaire à Orléans. Octobre 2001.
- [3] Cellule interrégionale d'épidémiologie Centre-Ouest : Évaluation de l'impact sanitaire à Tours. Novembre 2002.
- [4] Institut de veille sanitaire. Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Guide méthodologique. Institut de veille sanitaire. Juin 2003.
- [5] Citepa – Inventaire d'émissions dans l'atmosphère dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air. Rapport Poitou-Charentes – Octobre 1997.
- [6] Institut de veille sanitaire. Programme de surveillance air et santé – 9 villes, rapport Phase II. Institut de veille sanitaire. Juin 2002.
- [7] Atkinson RW *et al.* Acute effects of particulate air pollution on respiratory admissions: results from APHEA 2 project. *Air pollution and Health: a European Approach.* Am J Respir Crit Care Med, 2001 Nov 15;164 (10 Pt 1):1860-6.
- [8] 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.
- [9] Pope CA *et al.* Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287(9):1132-41.
- [10] Hoek G *et al.* Association between mortality and indicators of traffic-related air pollution in the Netherlands: a cohort study. *Lancet*, 2002;360:1203-9.
- [11] Katsouyanni K *et al.* Ambient air pollution exposure and cancer. *Cancer Causes Control* 1997;8(3):284-91.



## Annexe 2 - Distribution des immissions polluantes urbaines

### Distribution de chaque indicateur de pollution en fonction des sites de mesure

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

#### Orléans

##### Dioxyde de soufre

SO <sub>2</sub>	Données journalières	Nom et type de la station	
		Préfecture urbaine	La Source urbaine
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 septembre 02	P <sub>5</sub>	0	0
	P <sub>25</sub>	0	0
	Médiane	1	0
	P <sub>75</sub>	3	1
	Moyenne 24 h	2	1
	Minimum	0	0
	Maximum	10	7
	% de valeurs manquantes	1,1 %	1,1 %
Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	0	0
	P <sub>25</sub>	1	0
	Médiane	2	0
	P <sub>75</sub>	3	2
	Moyenne 24 h	2	1
	Minimum	0	0
	Maximum	16	17
	% de valeurs manquantes	3,8 %	0,5 %

##### Dioxyde d'azote

NO <sub>2</sub>	Données journalières	Nom et type de la station		
		Préfecture urbaine	La Source urbaine	Saint-Jean-de-Braye périurbaine
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 septembre 02	P <sub>5</sub>	9	1	6
	P <sub>25</sub>	12	7	9
	Médiane	17	12	13
	P <sub>75</sub>	21	20	17
	Moyenne 24 h	18	14	14
	Minimum	3	0	4
	Maximum	48	52	35
	% de valeurs manquantes	14 %	16 %	9 %
Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	11	6	9
	P <sub>25</sub>	18	12	15
	Médiane	26	22	23
	P <sub>75</sub>	33	28	30
	Moyenne 24 h	27	22	23
	Minimum	4	3	5
	Maximum	68	70	67
	% de valeurs manquantes	8 %	4 %	0 %

# 6 Annexes

## Poussières en suspension

<b>PM<sub>10</sub></b>		<b>Nom et type de la station</b>		
Données journalières		<b>Préfecture urbaine</b>	<b>La Source urbaine</b>	
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 sept 02	P <sub>5</sub>	10	7	
	P <sub>25</sub>	15	12	
	Médiane	20	17	
	P <sub>75</sub>	26	23	
	Moyenne 24 h	22	18	
	Minimum	6	1	
	Maximum	70	54	
	% de valeurs manquantes	0 %	1,6 %	
Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	9	6	
	P <sub>25</sub>	14	9	
	Médiane	21	16	
	P <sub>75</sub>	29	26	
	Moyenne 24 h	30	24	
	Minimum	7	4	
	Maximum	65	56	
	% de valeurs manquantes	3 %	0 %	

## Ozone

<b>O<sub>3</sub></b>		<b>Nom et type de la station</b>		
Données journalières 8 h		<b>Préfecture urbaine</b>	<b>La Source urbaine</b>	<b>Saint-Jean-de-Braye périurbaine</b>
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 septembre 02	P <sub>5</sub>	53	57	55
	P <sub>25</sub>	71	78	74
	Médiane	85	91	89
	P <sub>75</sub>	100	106	105
	Moyenne	86	92	89
	Minimum	34	44	33
	Maximum	144	151	147
	% de valeurs manquantes	0 %	2 %	0 %
Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	15	17	16
	P <sub>25</sub>	34	45	41
	Médiane	49	60	58
	P <sub>75</sub>	63	70	70
	Moyenne	50	59	57
	Minimum	8	4	5
	Maximum	137	133	142
	% de valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %

**Tours****Dioxyde de soufre**

SO <sub>2</sub>	Données journalières	Nom et type de la station		
		Joué-les-Tours urbaine	La Bruyère urbaine	
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 septembre 02	P <sub>5</sub>	0	0	
	P <sub>25</sub>	0	0	
	Médiane	0	1	
	P <sub>75</sub>	1	2	
	Moyenne 24 h	1	1	
	Minimum	0	0	
	Maximum	4	6	
	% de valeurs manquantes	9 %	13 %	
	Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	0	0
		P <sub>25</sub>	1	0
Médiane		0	1	
P <sub>75</sub>		1	2	
Moyenne 24 h		1	1	
Minimum		0	0	
Maximum		10	7	
% de valeurs manquantes		1 %	7 %	

**Dioxyde d'azote**

NO <sub>2</sub>	Données journalières	Nom et type de la station			
		Jardin botanique urbaine	Joué-les-Tours urbaine	La Bruyère urbaine	
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 septembre 02	P <sub>5</sub>	6	11	6	
	P <sub>25</sub>	11	15	14	
	Médiane	18	20	20	
	P <sub>75</sub>	26	27	26	
	Moyenne 24 h	19	22	19	
	Minimum	1	6	3	
	Maximum	49	47	38	
	% de valeurs manquantes	1 %	0 %	9 %	
	Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	7	13	15
		P <sub>25</sub>	19	19	24
Médiane		30	27	31	
P <sub>75</sub>		41	37	39	
Moyenne 24 h		31	29	33	
Minimum		3	11	10	
Maximum		77	65	86	
% de valeurs manquantes		1 %	9 %	9 %	

# 6 Annexes

## Poussières en suspension

PM <sub>10</sub>	Données journalières	Nom et type de la station		
		Jardin botanique urbaine	Joué-les-Tours urbaine	La Bruyère urbaine
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 sept 02	P <sub>5</sub>	9	9	9
	P <sub>25</sub>	13	13	12
	Médiane	16	16	16
	P <sub>75</sub>	22	20	19
	Moyenne 24 h	18	17	17
	Minimum	5	7	7
	Maximum	46	42	42
	% de valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %
Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	8	9	9
	P <sub>25</sub>	13	12	12
	Médiane	20	17	15
	P <sub>75</sub>	29	23	21
	Moyenne 24 h	22	19	17
	Minimum	6	6	6
	Maximum	77	45	34
	% de valeurs manquantes	10 %	7 %	28 %

## Ozone

O <sub>3</sub>	Données journalières 8 h	Nom et type de la station			
		La Ville-aux-Dames périurbaine	Jardin botanique urbaine	Joué-les-Tours urbaine	La Bruyère urbaine
Période du 1 <sup>er</sup> avril 02 au 30 septembre 02	P <sub>5</sub>	50	55	56	45
	P <sub>25</sub>	67	72	75	66
	Médiane	83	88	87	80
	P <sub>75</sub>	96	101	101	92
	Moyenne	83	87	89	79
	Minimum	30	41	42	23
	Maximum	150	155	153	138
	% de valeurs manquantes	0 %	16 %	0 %	0 %
Période du 1 <sup>er</sup> octobre 02 au 31 mars 03	P <sub>5</sub>	15	10	20	17
	P <sub>25</sub>	35	34	45	36
	Médiane	54	54	62	54
	P <sub>75</sub>	65	69	74	65
	Moyenne	52	52	60	52
	Minimum	6	6	4	5
	Maximum	117	113	124	121
	% de valeurs manquantes	0 %	0 %	1 %	0 %

## Annexe 3 - Coefficients de corrélation des stations de mesure

Période du 01/04/02 au 31/03/03

### Orléans

#### Dioxyde d'azote

NO <sub>2</sub>	Préfecture	La Source	Saint-Jean-de-Braye
Préfecture	1		
La Source	0,87	1	
Saint-Jean-de-Braye	0,94	0,88	1

#### Dioxyde de soufre

SO <sub>2</sub>	Préfecture	La Source
Préfecture	1	
La Source	0,66	1

#### Poussières en suspension

PM <sub>10</sub>	Préfecture	La Source
Préfecture	1	
La Source	0,90	1

#### Ozone

O <sub>3</sub>	Préfecture	La Source	Saint-Jean-de-Braye
Préfecture	1		
La Source	0,97	1	
Saint-Jean-de-Braye	0,94	0,98	1

# 6 Annexes

## Tours

### Dioxyde d'azote

NO <sub>2</sub>	Jardin botanique	Joué-les-Tours	La Bruyère
Jardin botanique	1		
Joué-les-Tours	0,87	1	
La Bruyère	0,76	0,76	1

### Dioxyde de soufre

SO <sub>2</sub>	Joué-les-Tours	La Bruyère
Joué-les-Tours	1	
La Bruyère	0,41	1

### Poussières en suspension

PM <sub>10</sub>	Jardin botanique	Joué-les-Tours	La Bruyère
Jardin botanique	1		
Joué-les-Tours	0,88	1	
La Bruyère	0,91	0,96	1

### Ozone

O <sub>3</sub>	La Ville-aux-Dames	Jardin botanique	Joué-les-Tours	La Bruyère
La Ville-aux-Dames	1			
Jardin botanique	0,96	1		
Joué-les-Tours	0,77	0,77	1	
La Bruyère	0,96	0,95	0,76	1