



Ministère de l'emploi
et de la solidarité



INSTITUT DE VEILLE
SANITAIRE

Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest

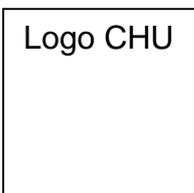
DDASS de Loire-Atlantique
DRASS des Pays de Loire

Impact sanitaire de la pollution atmosphérique sur l'agglomération nantaise

Août 1999

Avec le concours de :

Logo CHU



Ont participé à cette étude :

- Cellule Inter-Régionale d'Epidémiologie Ouest : P. Glorennec, L. Nourry
- Loirestu'air (Air Pays de Loire) : C. Bellanger, L. Lavrilleux
- Direction Départementale des Affaires Sanitaires et Sociales de Loire Atlantique : C. Lecluse
- Institut de Veille Sanitaire - Unité Santé Environnement : P. Quénel
- Centre Hospitalier Universitaire, Pôle d'Information Médicale :D. Antonioli
- Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale SC8 : P. Jougla
- Direction Régionale des Affaires Sanitaires et Sociales des Pays de Loire : V. Massinon, B. Piriou.
- Photographie : Loirestu'air

« Loirestu'air et la DRIRE des Pays de Loire ont fourni des résultats de mesure de la qualité de l'air et ont apporté des informations pour les replacer dans leur contexte d'acquisition. En revanche ils ne sauraient être engagés par les conclusions d'ordre épidémiologique ou sanitaire, sur lesquels ils ne sont ni compétents, ni légitimes »

TABLE DES MATIERES

I. DESCRIPTION DE LA ZONE D'ETUDE	6
1. POPULATION	6
2. SOURCES DE POLLUTION	6
3. METEOROLOGIE ET TOPOGRAPHIE	6
4. SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR	6
5. SYNTHESE DES CRITERES DE SELECTION DE LA ZONE D'ETUDE.....	9
II. MATERIEL ET METHODE	10
1. IDENTIFICATION DES DANGERS	10
2. ESTIMATION DE L'EXPOSITION.....	10
2.1 Principe.....	10
2.2 Choix des polluants.....	11
2.3 Période d'étude.....	11
2.4 Sélection des stations.....	12
3. CHOIX DE LA RELATION EXPOSITION-RISQUE	11
4. CARACTERISATION DU RISQUE	11
4.1 Principe.....	12
4.2 Recueil des données de mortalité.....	13
4.3 Recueil des données d'admissions hospitalières.....	13
III. RESULTATS	13
1. IDENTIFICATION DES DANGERS	13
2. ESTIMATION DE L'EXPOSITION.....	13
2.1. Population exposée.....	14
2.2 Niveaux d'exposition.....	15
2.2.1 <i>sélection des stations</i>	15
2.2.2 <i>indicateurs d'exposition</i>	16
3. CARACTERISATION DU RISQUE.....	18
3.1 Impact sur la mortalité anticipée.....	18
3.2 Impact sur la morbidité hospitalière.....	19
IV. DISCUSSION	22
1. LES ERREURS ET INCERTITUDES	22
1.1 IDENTIFICATION DES DANGERS	22
1.2 ESTIMATION DE L'EXPOSITION	22
1.3 RELATIONS EXPOSITION-RISQUE.....	23
1.4 CARACTERISATION DU RISQUE	24
2. INTERPRETATION DES RESULTATS.....	25

V. CONCLUSIONS	26
1. UN IMPACT COLLECTIF NON NEGLIGEABLE	26
2. UN IMPACT DU AUX NIVEAUX HABITUELS PLUTOT QU'AUX PICS DE POLLUTION.....	26
3. DES CONNAISSANCES ENCORE LACUNAIRES	27
VI. RECOMMANDATIONS	28
1. REDUIRE L'EXPOSITION DE LA POPULATION A LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE CHRONIQUE	28
2. AMELIORER LES CONNAISSANCES	28
3. DIFFUSER LES CONNAISSANCES AUPRES DES DECIDEURS, DU PUBLIC ET DES RELAIS D'OPINION	29
VII. ANNEXES	30
1. ANNEXE 1 : ZONE D'ETUDE.....	30
2. ANNEXE 2 : DISTRIBUTION DES IMMISSIONS POLLUANTES URBAINES	31
3. ANNEXE 3 : CONFIGURATION DU RESEAU DE SURVEILLANCE DE LA QUALITE DE L'AIR	36
BIBLIOGRAPHIE	37

Les objectifs de ce travail mené sur l'agglomération nantaise consistent à :

- répondre à l'obligation réglementaire du Plan Régional pour la Qualité de l'Air d'évaluer les effets sanitaires de la pollution atmosphérique ;
- permettre d'informer la population sur l'impact, au niveau local, de la pollution de l'air sur la santé.

Cette étude a ainsi pour objet de calculer l'impact à court terme sur la santé selon divers scénarii de pollution (passage d'un niveau moyen à un niveau plus important ou moindre), en utilisant comme indicateurs :

- la mortalité toutes causes ;
- les admissions hospitalières pour causes respiratoires et causes cardiovasculaires.

L'étude porte sur l'agglomération nantaise car la prévalence d'exposition y est plus importante (taille de la population et pollution supérieures) que dans d'autres zones de la région. De plus, celle-ci dispose depuis plusieurs années de mesures de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique grâce à un réseau de surveillance de la qualité de l'air (Loirestu'air, association loi 1901 fondée en 1980).

Ce document présente l'ensemble de la démarche d'évaluation d'impact sanitaire¹ (EIS) mise en œuvre sur l'agglomération nantaise.

I. Description de la zone d'étude

Situé au bord dans l'estuaire de la Loire, l'espace nantais est la principale agglomération de Loire-Atlantique.

L'ensemble des communes de l'agglomération n'est pas retenu pour l'EIS car toutes ne remplissent pas les critères de sélection nécessaires à sa réalisation¹ :

- 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 des 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 de la zone doit être exposée la majeure partie de son temps à l'indicateur d'exposition calculé et doit donc résider majoritairement dans la zone d'étude ;
- les mesures de pollution effectuées sur la zone d'étude doivent être « suffisantes » (nombre de capteurs bien placés, qualité des mesures, disponibilité des données) pour estimer l'exposition de la population.

Ainsi, sur l'agglomération nantaise, la zone délimitée remplissant les critères de sélection, comprend 3 communes : Nantes, Rezé et Saint Sébastien sur Loire.

Les paramètres intervenant dans l'EIS et ceux justifiant la sélection des 5 communes sont décrits ci-après.

1. Population

La zone d'étude regroupe une population de 299 996 habitants en 1990², séjournant très majoritairement (à 91%)³ sur cette zone.

2. Sources de pollution

Tableau 1. Quantité de pollution émise sur l'unité urbaine nantaise et origine en 1994 (source CITEPA)⁴

Polluants	NO _x	SO ₂
Emissions (tonnes)	5 359	2 184
Origines principales en % de l'émission totale		

- transports routiers	68	33,8
- résidentiel et tertiaire	12,2	38,2
- industrie et traitement des déchets	16,8	24

Sur Nantes, la principale source de pollution est constituée par les émissions du trafic automobile°.

۳. Météorologie et topographie

L'agglomération est sous influence de climat océanique et ne présente pas d'obstacle topographique à la dispersion des polluants. Les vents dominants sont orientés sud-ouest et nord-est ref 5.

۴. Surveillance de la qualité de l'air

La surveillance de l'air sur l'agglomération nantaise est assurée par Loirestu'Air , association loi 1901 fondée en 1980. La configuration du réseau de surveillance réseau de surveillance utilisé dans l'EIS est présentée dans les tableaux 2 et 3.

Classe de la station	Station	Densité de population (hab/km ²)	Environnement immédiat de la station	Sources de pollution	Hauteur de prélèvement (m)	Polluants mesurés
urbaine	Bellevue (Nantes)	6 397	Cour d'une crèche	Pollution urbaine (automobile, chaufferies...)	5	NO2, NO, O3, SO2, FN
	Jardin (Nantes)	6 484	Jardin des plantes	Pollution urbaine	5	NO2, NO, O3, SO2, FN
	Michelet (Nantes)	6 620	Cour d'une crèche	Pollution urbaine	5	NO2, NO, SO2, CO
	Pilotière (Nantes)	3 356	Cour d'une crèche	Pollution urbaine	3	FN, AF
	Provence (REZE)	4 907	Cour d'un centre social	Pollution urbaine	5	NO2, NO, SO2, FN
	Graslin (Nantes)	8 652	Rue piétonne	Pollution urbaine	4	NO2, O3, SO2, FN, Pb, CO

Proximité automobile	Victor Hugo (Nantes)	3 139	boulevard	Circulation automobile	3	NO2, NO, SO2, FN, CO
	Strasbourg (Nantes)	9 081	boulevard	Circulation automobile	4	NO2, NO, CO
Proximité industrielle	Usine des eaux (Nantes)	3 713	Terrain de l'usine de production d'eau potable	Pollution urbaine	3	FN, AF

Tableau 2 – Réseau Loirestu'Air sur la zone d'étude (source : Loirestu'Air)

Polluant	Stations de mesure (stations urbaines – stations de proximité)	Méthode de mesure
NO2	- Bellevue, Jardin des Plantes, Michelet, Provence, Graslin - Victor Hugo, strasbourg	Chiminulcescence (mesures ¼ horaire)
O3	- Bellevue, Jardin des Plantes, Graslin	Photométrie UV (mesures ¼ horaire)
FN	- Bellevue, Jardin des Plantes, Provence, Pilotière, Graslin - Victor Hugo, Usine des eaux	Réfectométrie (mesures 24h ou 15 jours)
SO2	- Bellevue, Jardin des Plantes, Michelet, Provence, Graslin - Victor Hugo, Usine des eaux	Fluorescence UV (mesures ¼ horaire)
CO	- Michelet, Graslin - Victor Hugo, Strasbourg	Corrélation Infra-Rouge (mesures ¼ horaire)

Tableau 3 – Réseau Loirestu'Air

Les niveaux moyens, mesurés, sur l'année tropique 1997 à Bellevue (station urbaine) sont comparées aux valeurs guides de l'Organisation Mondiale de la Santé (OMS) dans le tableau suivant :

Tableau 4. Niveaux de pollution sur l'agglomération nantaise (source : Loirestu'air)

Polluants	Niveaux moyens à Bellevue année tropique 97–98 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Valeurs guides OMS 1996 ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)
NO ₂	26	40 (moy 24h annuelle)
O ₃	59 (120 : moy 8h maximale)	- (110 : moy 8h sur une journée)
FN	6	-
SO ₂	3	50 (moy 24h annuelle)

◦. Synthèse des critères de sélection de la zone d'étude

A partir de la carte IGN au 1/25000, la zone d'étude (Nantes, Rezé, Saint Sébastien sur Loire) a été délimitée, dans un premier temps, en fonction du critère de continuité urbaine entre les communes et de la comparaison des densités d'urbanisation. Les communes de Rezé et de Saint Sébastien sur Loire, que la Loire pourtant sépare de Nantes, ont été retenues. Ce choix a été confirmé par la comparaison des niveaux mesurés par la station « Provence » (sur la commune de Rezé) et des autres stations.

Remarque : Saint-Herblain, deuxième commune en population de l'agglomération n'a pu être retenue car une partie de la commune est séparée du reste de la zone d'étude par une ceinture verte ; l'ensemble de la population de cette commune n'est donc pas exposée aux mêmes niveaux que ceux du reste de la zone d'étude.

Sur cette zone, les autres critères ont été vérifiés :

- la population demeure majoritairement dans la zone ;
- la pollution semble peut à priori être considérée comme homogène ;
- a priori, l'exposition de la population peut être estimée puisque 2 capteurs de fond du réseau de surveillance de la qualité de l'air sont localisés sur la zone.

II. Matériel et méthode

L'EIS ¹ permet de donner un ordre de grandeur de l'impact sanitaire et comporte 4 étapes : l'identification des dangers, l'estimation de l'exposition, le choix de la relation exposition-risque et la caractérisation du risque.

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.

2. Estimation de l'exposition

2.1 Principe

Cette étape a pour objet la quantification de l'exposition (à quelles concentrations, pendant combien de temps...) à laquelle est soumise la population (qui, combien de personnes..), à partir des mesures des réseaux de surveillance de la qualité de l'air. Le principe est de construire un indicateur d'exposition de la population à la pollution atmosphérique pour chaque polluant lorsque la connaissance des immissions est suffisante et que ce polluant (en tant qu'indicateur) peut être relié à un effet sanitaire. En l'état actuel des connaissances scientifiques, seuls SO₂, FN, NO₂ et O₃ peuvent être retenus pour l'étude ¹.

L'estimation de l'exposition de la population 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. Il s'agit donc de construire, pour chaque polluant, un indicateur qui se rapproche le plus possible de cette exposition moyenne ².

Après avoir sélectionné les stations représentatives de l'exposition de la population générale (les critères de sélection des stations sont précisés au paragraphe 3.2.2), on calcule ainsi l'indicateur qui est la moyenne arithmétique des données (validées par le réseau) journalières de ces stations. L'indicateur d'exposition, un jour donné, est la moyenne arithmétique des moyennes journalières (moyenne 9h-17h pour l'ozone) des capteurs sélectionnés. L'indicateur d'exposition aura une valeur manquante un jour donné, si tous les capteurs ont une valeur manquante ce jour-là.

2.2 Choix des polluants

Sur Nantes, les indicateurs NO₂, FN, O₃ et SO₂ ont été retenus.

Le CO a été écarté de l'étude car l'estimation quantitative des effets sur la santé au niveau populationnel de ce polluant est encore mal connue et l'exposition difficile à estimer à partir d'un réseau de surveillance.

2.3 Période d'étude

La période d'étude a été définie en fonction de la disponibilité des données, c'est-à-dire en fonction de la date de l'installation des capteurs et l'existence de valeurs manquantes, et de l'informatisation du recueil des données. Pour O₃, NO₂ et SO₂, celle-ci a été définie du 01/10/95 au 30/09/98. Pour les FN, le réseau dispose de mesure depuis une vingtaine d'années mais la même période d'étude a été choisie - soit du 01/10/95 au 30/09/98.

2.4 Sélection des stations

On cherche à décrire l'exposition moyenne d'une population. De ce fait on privilégie les stations qui sont représentatives des immissions ambiantes et non celles qui caractérisent des situations particulières, influencées directement par une source de pollution proche. Les critères retenus pour la sélection des stations sont les suivants ² :

- nature de la station : seront retenues a priori les stations urbaines ;
- comparaison des niveaux moyens : seront retenues a priori les stations qui mesurent des niveaux moyens proches ;
- coefficients de corrélation inter-stations : seront retenues les stations qui sont bien corrélées entre elles (la valeur guide de bonne corrélation proposée est 0,6). Une bonne corrélation signifie a priori que les concentrations mesurées par les stations évoluent de la même façon au cours du temps.

3. Choix de la relation exposition-risque

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 utilisés sont ceux préconisés par l'Institut de Veille Sanitaire ² et indiqués en annexe 4.

4. Caractérisation du risque

4.1 Principe

C'est l'étape de synthèse qui combine les données d'exposition et la relation exposition-risque. Par calcul, elle permet de quantifier l'impact sanitaire, en nombre de cas attendus, pour une exposition d'un polluant et un indicateur sanitaire donnés, sur une période donnée.

En pratique, la proportion de cas attribuables à un niveau de pollution donné se calcule de la manière suivante ¹ :

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

où PA = proportion de cas attribuables à l'indicateur de pollution au cours de la période considérée

RR = risque relatif (fourni par la courbe exposition-risque)

f = prévalence d'exposition (proportion de la population exposée au niveau considéré).

Dans le cas de la pollution ambiante, le plus souvent f=1 (toute la population est exposée au niveau considéré) et le nombre de cas attribuables pour la période considérée est calculé par la formule :

$$NA = ((RR-1)/RR)*N$$

Où NA = nombre de cas attribuables pour la période donnée

N = nombre moyen (pour la période considérée) de cas du problème de santé considéré (e.g. hospitalisations ou décès pour une cause donnée).

4.2 Recueil des données de mortalité

Les effectifs de mortalité toute cause sauf accidentelles (code CIM 9 < 800) ont été obtenus auprès du Service Commun n°8 de l'INSERM pour les individus domiciliés dans la zone d'étude.

4.3 Recueil des données d'admissions hospitalières

Les données d'admissions hospitalières ont été obtenues auprès du Département d'Information Médicale du Centre Hospitalier Régional et Universitaire de Nantes qui regroupe, sur cette zone, les admissions dans les services de soins de court séjour [DRASS communication personnelle].

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 ² – hors services d'urgences.

III. Résultats

1. Identification des dangers

Ont été retenus les effets (à court terme) mis en évidence dans des études épidémiologiques en population générale à des niveaux d'exposition comparables et pour lesquels une quantification était possible : la mortalité toutes causes (sauf accidentelles) anticipée et les admissions hospitalières pour motifs respiratoires et cardio-vasculaires^{ref2}.

2. Estimation de l'exposition

2.1 Population exposée

La zone d'étude regroupe une population de 299 996 habitants en 1990 ^{ref INSEE}:

Communes	Population (habitants)
Nantes	244 514
Rezé	33 300
Saint Sébastien sur Loire	22 182

Tableau 8 : population de la zone d'étude (source : INSEE [8])

Les informations concernant les déplacements domicile-travail de la population ³ montrent que 8,4 % environ (25 230 personnes) de la population totale quittent la zone d'étude pour aller travailler à l'extérieur de celle-ci. Cette proportion est faible et toute la population peut être considérée exposée toute la journée à la pollution atmosphérique de la zone concernée. 45 050 personnes extérieures (15 % de la population totale) rentrent dans la zone d'étude pour y travailler.

2.2 Niveaux d'exposition

2.2.1 Sélection des stations

L'étude a porté sur toutes les stations de la zone d'étude et a été réalisée sur la période définie précédemment. La distribution saisonnière 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, 7 stations sont disponibles : Bellevue, Jardin, Michelet, Provence et Graslin, stations urbaines, et Victor Hugo et Strasbourg, stations de proximité.

Les distributions de Bellevue, Jardin, Michelet et Provence sont assez proches (niveaux moyens respectivement de 25, 26, 29, 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$). Graslin (38 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) mesure des concentrations de environ 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plus importantes que les autres stations urbaines. Les niveaux moyens des stations de proximité, Victor Hugo et Strasbourg, (45 et 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$) sont de 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ plus forts que les 4 stations urbaines. Les stations sont très bien corrélées entre elles : le minimum (0,68) est observé entre Strasbourg et Provence.

Entre stations urbaines, les corrélations sont toujours supérieures à 0,78 (entre Provence et Michelet).

L'ozone

Trois stations urbaines mesurent l'ozone sur la zone d'étude : Bellevue, Jardin et Graslin.

Les distributions de Bellevue et Jardin sont très proches, les moyennes sont respectivement égales à 55 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 52 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Le capteur de Graslin présente des valeurs plus faibles (moyenne de 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$).

Les stations sont très bien corrélées entre elles, le coefficient de corrélation est toujours supérieur à 0,847.

Particules (FN)

Les FN sont surveillées au moyen de cinq stations urbaines, Bellevue, Jardin, Pilotière, Provence et Graslin, d'une station de proximité automobile, Victor Hugo et d'une station de proximité industrielle située à l'usine des eaux.

Toutes les stations mesurent des niveaux similaires excepté Victor Hugo dont la moyenne est environ 3 fois supérieure aux autres stations. L'origine automobile des FN peut expliquer ces valeurs.

Pour les corrélations, Pilotière et Usine des Eaux (temps d'agrégation des données égal à 2 semaines : moyenne sur 14 jours) se distinguent des autres stations (temps d'agrégation des données égal à 1 jour). Pilotière et Usine des Eaux sont bien corrélées (0,758), ainsi que toutes les stations urbaines de même temps d'agrégation entre elles (coefficient de corrélation minimal égal à 0,739 entre Graslin et Provence). Victor Hugo est légèrement moins bien corrélées avec les stations urbaines (coefficient de corrélation compris entre 0,618 et 0,706).

Dioxyde de soufre

SO₂ est mesuré par 5 stations urbaines (Bellevue, Jardin, Michelet, Provence et Graslin), une station de proximité automobile (Victor Hugo) et une station de proximité industrielle (Usine des eaux).

Les distributions des stations sont assez proches. Seule Victor Hugo se distingue par des valeurs environ deux fois supérieures aux stations urbaines.

Les niveaux très faibles mesurés pour SO₂ (moyenne maximale égale à 12 µg/m³ pour Victor Hugo) expliquent les faibles corrélations calculées (minimum égal à 0,319 entre Victor Hugo et Bellevue et maximum égal à 0,601 entre Usine des Eaux et Jardin).

Les résultats obtenus à Victor Hugo et Strasbourg (niveaux moyens plus élevés pour NO₂, FN et SO₂) confirment l'influence de la circulation sur les valeurs enregistrées par ces stations. Elles ne seront donc pas utilisées pour la construction des indicateurs d'exposition.

La station Graslin mesure des niveaux plus importants que les autres stations urbaines en NO₂ et moins importants en O₃. Après discussion avec les métrologistes du réseau Loirestu'Air, cette station a été écartée car elle n'est pas considérée comme une « vraie station » urbaine. Située dans une rue piétonne qui donne sur une place où la circulation est importante (20 000 véhicules /jour), cette station semble influencée directement par le trafic automobile.

La station industrielle de l'Usine des Eaux qui mesure les FN et SO₂ a été retenue car ces résultats sont comparables aux stations urbaines. Placée dans un quartier urbanisé, elle est jugée comme une station urbaine par Loirestu'Air.

Provence, station urbaine située à Rezé, enregistre des niveaux proches de Bellevue, Jardin et Pilotière pour le NO₂, FN et SO₂, ce qui justifie de prendre en compte Rezé dans la zone d'étude.

Ont donc été retenues pour le calcul des indicateur d'exposition :

- Bellevue, Jardin, Michelet, Provence pour NO₂,
- Bellevue et Jardin pour O₃,
- Bellevue, Jardin, Pilotière, Provence, Graslin et Usine des Eaux pour FN,
- Bellevue, Jardin, Michelet, Provence et Usine des Eaux pour SO₂.

2.2.2 Indicateurs d'exposition

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

Les capteurs retenus sont bien corrélés et mesurent des niveaux proches de pollution. Le taux de valeurs manquantes est faible (maximum de 5,5 % pour les FN à Jardin). Dans ce cas, le remplacement des valeurs manquantes n'est pas nécessaire. Les valeurs mesurées et validées par Loirestu'air ont donc été utilisées sans transformation préalable.

Les statistiques descriptives de l'indicateur d'exposition et sa distribution par gamme de concentrations sont présentées dans les tableaux **7 et 8**.

tableau 9 Distribution des indicateurs d'exposition (Données [Source Loirestu'Air](#))

Indicateur d'exposition (µg/m3)	NO ₂			O ₃			FN			SO ₂		
	an	été	hiver	an	été	hiver	an	été	hiver	an	été	hiver
Minimum	6	6	9	2	14	2	2	2	3	0	0	0
percentile 5	12	11	15	12	34	7	3	3	6	1	1	1
percentile 25	18	15	24	35	54	23	5	4	10	3	2	3
médiane	24	20	31	54	67	39	8	5	13	4	4	5
percentile 75	33	24	38	71	82	52	13	7	18	7	6	8
percentile 95	49	35	52	100	109	73	25	12	31	13	8	16
maximum	78	54	78	137	137	101	47	20	47	27	18	27
moyenne	26	21	32	54	69	38	10	6	15	5	4	6
écart-type	11	8	11	26	22	20	7	3	8	4	2	4
% valeurs manquantes	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0

tableau 10 distribution des indicateurs d'exposition par gamme d'exposition
(source Loirestu'Air)

Plage des concentrations ($\mu\text{g}/\text{m}^3$)	Nombre de jours contenus dans la plage des concentrations											
	NO2			O3			FN			SO2		
	an	été	hiver	an	été	hiver	an	été	hiver	an	été	hiver
[0-10]	17	14	3	44	0	44	666	505	161	1002	181	142
]10-20]	359	281	78	79	2	77	320	43	277	85	2	37
]20-30]	377	195	182	99	14	85	78	1	77	9	0	3
]30-40]	220	48	172	112	27	85	27	0	27	0	0	0
]40-50]	84	8	76	158	54	104	5	0	5	0	0	0
]50-60]	28	3	25	183	112	71	0	0	0	0	0	0
]60-70]	10	0	10	143	100	43	0	0	0	0	0	0
]70-80]	1	0	1	123	91	32	0	0	0	0	0	0
]80-90]	0	0	0	71	66	5	0	0	0	0	0	0
]90-100]	0	0	0	31	31	0	0	0	0	0	0	0
]100-110]	0	0	0	27	26	1	0	0	0	0	0	0
]110-120]	0	0	0	14	14	0	0	0	0	0	0	0
]120-130]	0	0	0	10	10	0	0	0	0	0	0	0
]130-140]	0	0	0	2	2	0	0	0	0	0	0	0
> 140	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
Total (nb. Valeurs)	1096	549	547	1096	549	547	1096	549	547	1096	549	547

2. Caractérisation du risque

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 (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 spécifique¹. De ce fait les impacts estimés pour chacun des indicateurs ne peuvent être sommés.

3.1 Impact sur la mortalité anticipée

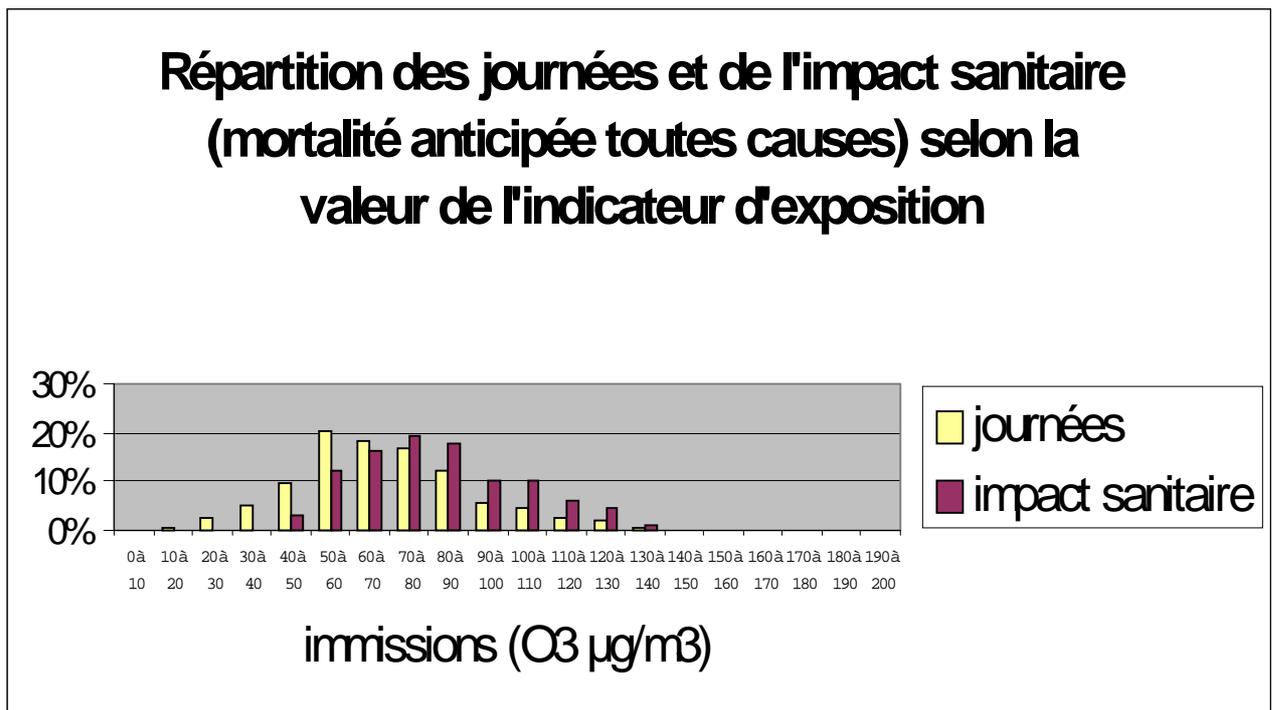
La mortalité moyenne annuelle toutes causes sauf accidentelles - communes de Nantes, Rezé, Saint-Sébastien sur la période 1993-1996 (source INSERM) est de 1244 morts pour la période hivernale et 1241 morts pour la période estivale.

L'impact annuel de la pollution atmosphérique mesurée actuellement, par rapport à une situation théorique sans pollution (arbitrairement niveaux de pollution égaux au percentile 5) est de l'ordre de 43 (21- 66) décès anticipés.

Si pour chaque jour de l'année de la même période d'étude les niveaux avaient été diminués de 25 %, la mortalité anticipée aurait été réduite de 40 %.

Si les jours de forte pollution sont ceux pour lesquels l'impact sur la mortalité est le plus élevé, leur faible fréquence limite leur impact sur une longue période comme une saison ; ceci est illustré par l'indicateur ozone et la mortalité anticipée estivale (figure 1).

Figure1



3.2 Impact sur la morbidité hospitalière

Le nombre d'admissions hospitalières enregistrées au cours de la période est reporté dans les tableaux suivants (hospitalisations de plus de 24 h pour les patients en provenance de la zone d'étude).

Tableau 9. Nombre d'admissions hospitalières pour motifs respiratoires (J00 à J99 CIM 10), 1997, CHU de Nantes (source : Département d'Information Médicale – CHU)

	15-64 ans	≥ 65 ans
Année 1997	456	543

Eté tropique (avril à septembre 1997)	215	221
Hiver tropique (reconstitué) (janvier à mars, octobre à décembre 1997)	241	322

Tableau 10. Nombre d'admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires (I00 à I99 CIM 10),1997, CHU de Nantes (source : Département d'Information Médicale – CHU)

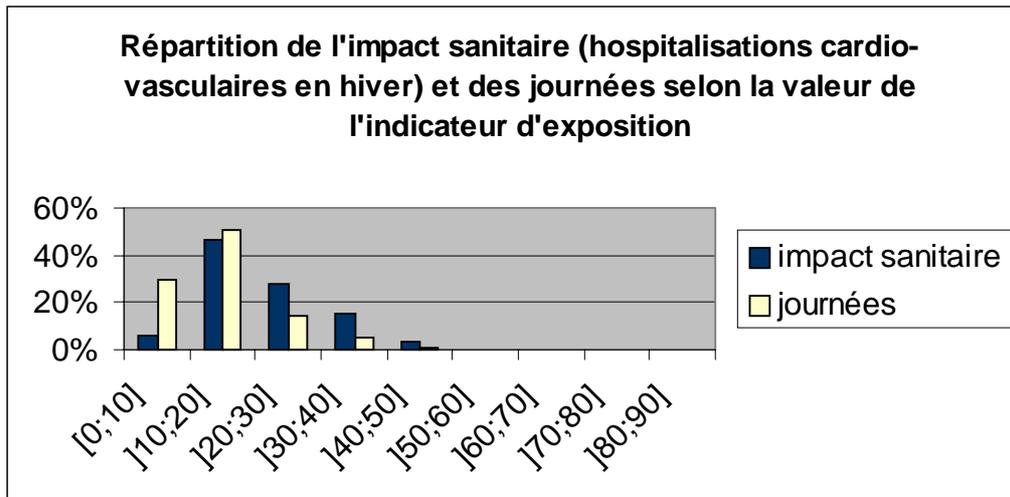
Année 1997	2011
Eté tropique (avril à septembre 1997)	959
Hiver tropique (reconstitué) (janvier à mars, octobre à décembre 1997)	1052

L'impact de la pollution atmosphérique mesurée actuellement, par rapport à une situation sans pollution (niveaux de pollution égaux au percentile 5) est de l'ordre de 50 (17-89) hospitalisations.

Si pour chaque jour de l'année de la même période d'étude les niveaux avaient été diminués de 25 %, l'impact aurait été réduit par exemple de 39 % pour les hospitalisations cardio-vasculaires en hiver.

La contribution des pics de pollution à l'impact sur une saison est illustré sur la figure 2 par l'exemple de l'indicateur FN et des admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires (saison hivernale).

Figure 2



On constate que les niveaux respectant la valeur guide ($40 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont responsables de 96 % de l'impact sanitaire.

IV. Discussion

1. les erreurs et incertitudes

1.1 identification des dangers

Cette évaluation d'impact sanitaire a porté sur la mortalité à court terme. Elle a permis de calculer un nombre de décès anticipés attribuables à un différentiel de pollution donné, au cours d'une année. Du fait de l'incertitude concernant l'importance de ce déplacement de mortalité, ce calcul ne doit pas être interprété, à proprement parler, comme un excès absolu de mortalité. Cette anticipation peut être interprétée comme étant, en l'absence d'exposition à la pollution atmosphérique ambiante, le délai avec lequel la population sensible à la pollution aurait évolué vers le décès. De ce point de vue, le nombre de décès qui a été calculé dans cette évaluation de l'impact sanitaire doit être interprété comme étant le nombre de personnes qui, au cours d'une année, ont vu leur espérance de vie diminuée d'une durée correspondant à cette anticipation ¹. Actuellement pour la mortalité cardiovasculaire, elle est estimée par une étude égale au moins à 2 mois ².

En ce qui concerne la morbidité, seuls ont été 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 à recours au système hospitalier ³.

1.2 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) ou des niveaux d'exposition réels à la pollution atmosphérique ambiante, l'estimation de l'exposition de la population 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 quitte la zone d'étude pour activité professionnelle ou pour raison personnelle ; cela conduit à surestimer l'impact puisqu'une partie de la population considérée exposée ne l'est pas. A contrario, la zone d'étude attirant une population pour les mêmes raisons, cela conduit cette fois à sous-estimer l'impact puisque cette population ne réside pas dans la zone d'étude (et donc non comptabilisée dans les données de mortalité et d'activité hospitalière) et est exposée.

Les immissions extérieures sont estimées par des stations de mesure dont on « utilise » la moyenne des valeurs journalières pour caractériser le niveau moyen de pollution sans avoir l'assurance que ce niveau est bien reflété par un estimateur qui dépend de la configuration du réseau de mesure. En d'autres termes, une implantation différente de capteurs aurait pu conduire à des valeurs différentes des indicateurs d'exposition.

Enfin la pollution est estimée à partir d'indicateurs de pollution qui, s'ils peuvent avoir une toxicité propre, sont avant tout des indicateurs d'un mélange chimique complexe.

1.3 relations exposition-risque

On dispose dans le domaine de la pollution atmosphérique urbaines de relations fondées sur des observations chez l'homme pour de faibles niveaux d'exposition, ce qui ne nécessite pas d'extrapolation animal/homme ni hautes doses/basses doses.

Par contre on utilise à un endroit donné des relations établies « ailleurs » sans pour autant être assuré de la validité de cette démarche, les indicateurs de pollution pouvant être les traceurs d'une pollution différente. Cela peut notamment être le cas si le parc automobile diffère (part du diesel plus importante). Cependant, l'utilisation préférentielle d'estimateurs de risques établis au niveau européen limite cet inconvénient, sauf pour la morbidité cardio-vasculaire pour laquelle il n'existe pas, pour l'instant, d'analyse combinée européenne. Les acquis récents ⁵ et les résultats de l'étude de neuf zones urbaines françaises ⁶ limitent également l'incertitude liée à l'extrapolation géographique des courbes doses-réponses. Ils ont en effet révélé la cohérence des relations polluants/effets de la pollution dans plusieurs villes d'Europe sur la mortalité et les admissions respiratoires ⁹ et en France ⁶ sur la mortalité (morbidité hospitalière non étudiée), quelles que soient les caractéristiques locales.

1.4 caractérisation du risque

Le concept de risque attribuable suppose d'admettre que la relation « pollution atmosphérique santé » est de nature causale. En effet, le calcul d'un risque attribuable (ou proportion de cas attribuable) à un facteur de risque doit être restreinte aux facteurs de risque pour lesquels il existe des arguments sérieux de causalité entre l'exposition et la maladie ¹.

En outre, pour la pollution atmosphérique, risque attribuable et évitable ne sont pas stricto-sensu équivalents dans la mesure où les immissions dépendent des émissions mais également des conditions de dispersion des polluants ; cependant une réduction des émissions d'une source donnée s'accompagnera d'une réduction des niveaux de polluants associés ², du moins pour les polluants primaires.

Les impacts estimés par indicateur de pollution (les relations exposition-risque sont établies polluant par polluant) 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 ².

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 appliquée à une exposition à la pollution atmosphérique, facteur de risque supposé causal, approchée par des indicateurs de pollution. Une action visant à réduire le niveau d'un indicateur sans réduction de la pollution globale ne produirait donc pas les effets positifs escomptés par la mesure de la proportion de cas attribuable ³.

On retient également l'absence de seuil selon laquelle en raison de la variabilité interindividuelle il existe toujours au sein d'une population une fraction de sujets très sensibles et donc pas de niveau de pollution en deçà duquel un effet sanitaire ne serait observable ¹.

L'erreur 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, hospitalisations pour toutes causes respiratoires ou cardio-vasculaires). Par contre la non-prise en compte des admissions aux urgences tend à sous estimer l'impact sur la morbidité hospitalière.

Dans l'état actuel des connaissances, on peut supposer que la principale source d'incertitude provient de l'estimation des expositions au moyen d'un réseau de mesure des immissions urbaines.

2. Interprétation des résultats

Dans ces conditions, 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. Mais un résultat, même approximatif, obtenu par une mesure d'impact fondée sur les meilleures connaissances disponibles est plus reproductible et transparent qu'un jugement subjectif fondé sur des émotions ou des suppositions arbitraires^{13 14}.

Il est important de garder à l'esprit que le présent travail ne vise pas à démontrer que la pollution atmosphérique a un effet sur la santé mais de quantifier cet impact au niveau local. En effet, les effets de la pollution atmosphérique font l'objet d'une abondante littérature scientifique publiée au cours des dix dernières années¹⁵ qui a notamment conclu à l'existence d'un effet de la pollution, même aux faibles niveaux de pollution et l'inexistence apparente de seuil pour la manifestation de ces effets au niveau d'une population.

Les résultats de la présente évaluation de l'impact est une illustration de ces acquis scientifiques. Leur présentation peut contribuer à leur appropriation au niveau local.

V. Conclusions

1. Un impact collectif non négligeable

Sur une année, l'impact de la pollution atmosphérique a été estimé à 43 (21-66) décès anticipés et 50 (17-89) hospitalisations dont 29(6-58) pour motifs respiratoires et 21(11-31) pour motifs cardio-vasculaires pour une population de 300.000 habitants. 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, situés en deçà des normes. Ce résultat traduit le fait que même si les risques relatifs associés à la pollution atmosphérique sont modestes, la proportion importante de personnes exposées aboutit à un impact collectif non négligeable.

Ce constat mériterait d'être pris en compte lors de décisions publiques pouvant avoir un impact sur la qualité de l'air dans l'agglomération. En effet, même si le risque attribuable à la pollution ne signifie pas en pratique, stricto sensu, risque évitable, il est légitime de penser que la réduction des émissions liées à l'ensemble des sources s'accompagnera d'une réduction globale des risques sanitaires associés. Sous l'angle de la santé publique, une politique de réduction de risque ne peut donc être envisagée qu'à travers une approche globale, la pollution atmosphérique urbaine dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser ².

On peut ainsi estimer qu'une réduction des niveaux de pollution de 25 % se serait accompagnée sur la période d'étude d'une réduction de 40 % de la mortalité anticipée et de 43 % des hospitalisations associées à la pollution atmosphérique.

2. Un impact dû aux niveaux habituels plutôt qu'aux pics de pollution

Les épisodes de pollution monopolisent souvent le débat sur la pollution atmosphérique avec « l'idée sous-jacente que si leurs conséquences étaient maîtrisées, la question de la pollution atmosphérique serait réglée. Or il n'en est rien » ¹¹. En effet, 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 les conséquences d'une dégradation de la qualité de l'air sur une année entière.

Ainsi par exemple, en prenant comme indicateur de pollution les FN, on s'aperçoit que les niveaux inférieurs à 40 µg/m³ (valeur guide de la directive européenne en vigueur) sont associés à 96 % de l'impact sur les admissions hospitalières pour motifs cardio-vasculaires en hiver.

En prenant comme indicateur de pollution l'O₃, on s'aperçoit que les niveaux supérieurs (moyenne 8h) à 110 µg/m³ (objectif de qualité) ne sont associés qu'à 5 % de l'impact sur la mortalité qui est donc dû à 95 % aux teneurs respectant l'objectif de qualité.

En pratique, cela justifie une politique de réduction des niveaux de fond globaux de pollution. En effet une gestion des risques qui ne viserait qu'à éviter les dépassements de seuils réglementaires n'aurait qu'un impact marginal en termes de bénéfices sur la santé publique.

3. Des connaissances encore lacunaires

L'évaluation de l'impact sanitaire a permis de mesurer l'ampleur des progrès à accomplir pour estimer cet impact de façon plus précise et surtout plus complète.

Si certains aspects de recherche technologiques, méthodologiques ou scientifiques relèvent du niveau national ou supranational, d'autres relèvent du niveau local. C'est le cas pour les progrès à réaliser dans la connaissance des immissions urbaines en polluants dont il faut mieux connaître la distribution géographique, en particulier à Nantes pour les particules en suspension (PM 10 non mesurées actuellement) et l'ozone.

Une autre limite importante pourrait être levée 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 et de ne pas rester cantonné aux effets nécessitant une hospitalisation.

VI. Recommandations

1. Réduire l'exposition de la population à la pollution atmosphérique chronique

- En améliorant la qualité de l'air

Du fait d'un impact sanitaire observable même pour de faibles niveaux d'exposition, toute amélioration de la qualité de l'air aura des répercussions positives sur la santé publique.

Du fait de l'impact marginal des dépassements de valeurs normatives, les actions les plus efficaces seront celles qui viseront à réduire les émissions à la source, de façon quotidienne. La pollution atmosphérique sur l'agglomération étant principalement d'origine automobile, ce sont les émissions automobiles dans leur ensemble qu'il conviendrait de réduire. Il serait illusoire de considérer que l'abaissement d'un polluant spécifique, qui n'est qu'un indicateur d'un état complexe de l'atmosphère, conduirait à un bénéfice sanitaire significatif.

- En intégrant la pollution atmosphérique dans les politiques d'aménagement

L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est, pour partie, la résultante de la concentration des activités humaines et donc de la population sur une même portion de territoire. Une répartition plus équilibrée de la population dans l'espace réduirait à la fois les niveaux de pollution (réduction des déplacements urbains) mais aussi le nombre de personnes exposées.

La promotion dans les politiques d'aménagement de moyens de transports alternatifs à la voiture individuelle participerait à réduire les émissions liées aux déplacements.

2. Améliorer les connaissances

Si l'on souhaite mesurer le bénéfice des actions visant à améliorer la situation, on aura intérêt en particulier à :

- Mieux connaître la distribution géographique et temporelle des polluants, en particulier des pollutions particulières (particules fines) et photooxydantes.

- Disposer d'indicateurs permettant de mieux connaître l'état de santé de la population, afin de pouvoir élargir le champ de l'évaluation de l'impact sanitaire.

۳. Diffuser les connaissances auprès des décideurs, du public et des relais d'opinion

Les débats -souvent médiatisés- sur les pics de pollution peuvent occulter le problème principal que constitue la pollution chronique (au sens « habituelle »).

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.

VII. Annexes

1. Annexe 1 : zone d'étude

Source : DRASS ? ? ?

2. Annexe 2 : distribution des immissions polluantes urbaines

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

Résultats O3 (01/10/95 au 30/09/98)

	Type de la station	Stations urbaines		
	Lieu du capteur	Bellevue	Jardin	Graslin
Période totale	minimum	2	0	0
	percentile 25	36	34	25
	médiane	56	51	42
	percentile 75	72	70	58
	maximum	148	142	115
	moyenne	55	52	43
	écart-type	25,98	26,23	23,84
	%VM	1	0	0
Période estivale	minimum	14	14	10
	percentile 25	56,75	51	46
	médiane	68	65	56
	percentile 75	82	82	69
	maximum	148	142	115
	moyenne	70	68	59
	écart-type	21,40	23,05	19,39
	%VM	1	0	0
Période hivernale	minimum	2	0	0
	percentile 25	23	22	15
	médiane	39	37	26
	percentile 75	53	50	38
	maximum	104	97	79
	moyenne	39	37	27
	écart-type	20,49	19,46	16,20
	%VM	1	0	0

Tableau 1 – Distribution de O3 par stations

	Bellevue	Jardin	Graslin
Bellevue	1,000	0,968	0,914

Jardin		1,000	0,871
Graslin			1,000

Tableau 2 – Coefficient de corrélation entre stations

Résultats NO₂ (01/10/95 au 30/09/98)

	type de la station	Stations urbaines					Stations de proximité automobile	
	lieu du capteur	Bellevue	Jardin	Michelet	Provence	Graslin	Victor Hugo	Strasbourg
Période totale	minimum	5	5	6	4	9	8	12
	percentile 25	17	18	20	15	27	34	38
	médiane	23	24	27	22	37	44	46
	percentile 75	32	32	36	32	46	55	57
	maximum	86	71	76	109	82	104	106
	moyenne	25	26	29	25	38	45	48
	écart-type	11,6	10,7	11,9	13,8	13,3	16,5	14,9
	%VM	2	2	1	1	1	5	0,5
Période estivale	minimum	5	5	6	4	9	8	12
	percentile 25	14	15	17	13	24	30	36
	médiane	19	19	22	18	29	40	43
	percentile 75	24	24	28	24	37	51	53
	maximum	53	63	64	50	74	93	93
	moyenne	20	21	23	19	31	42	45
	écart-type	8,1	7,7	9,3	8,4	10,9	15,8	14,2
	%VM	5	1,5	0	9	1,5	9	0,5
Période hivernale	minimum	7	7	9	5	13	11	18
	percentile 25	22	24	27	21	37	37	42
	médiane	29	30	34	30	44	48	50
	percentile 75	37	38	41	39	52	58	60
	maximum	86	71	76	109	82	104	106
	moyenne	30	31	35	32	44	49	51
	écart-type	12,2	10,6	11,5	15,0	12,1	16,3	14,9
	%VM	0,5	2	1	0,5	1	0,5	0,5

Tableau 3 – Distribution par stations du NO₂

	Bellevue	Jardin	Michelet	Provence	Graslin	Victor Hugo	Strasbourg
Bellevue	1,000	0,810	0,849	0,859	0,876	0,736	0,713
Jardin		1,000	0,860	0,764	0,841	0,688	0,723
Michelet			1,000	0,777	0,903	0,772	0,813

Provence				1,000	0,842	0,719	0,683
Graslin					1,000	0,816	0,812
Victor hugo						1,000	0,796
Strasbourg							1,000

Tableau 4 – Coefficient de corrélation entre station

Résultats FN (01/10/95 au 30/09/98)

Type de station	Stations urbaines					Station proximité automobile	Station proximité industrielle	
	Lieu du capteur	Bellevue	Jardin	Pilotière	Provence	Graslin	Victor Hugo	Usine des eaux
Période totale	minimum	0	1	2	0	1	3	1
	percentile 25	4	5	6	4	6	14	6
	médiane	6	9	9	6	9	25	9
	percentile 75	11	16	16	10	13	41	15
	maximum	73	82	29	51	68	156	67
	moyenne	9	12	11	8	12	31	12
	écart-type	8,9	10,4	6,8	7,1	8,8	23,1	9,3
	%VM	3,5	5,5	13	1	8	12,5	2
Période estivale	minimum	0	1	2	1	1	3	1
	percentile 25	3	4	4,75	3	5	13	4
	médiane	4	6	6	4	7	20	6
	percentile 75	6	8	8	6	10	27	8
	maximum	33	31	19	26	32	72	14
	moyenne	5	7	7	5	8	22	6
	écart-type	3,9	4,3	3,8	3,1	4,2	12,6	3,2
	%VM	6	8,5	0	2,5	9,5	18	1
Période hivernale	minimum	0	1	3	0	2	3	4
	percentile 25	5,75	9	12	5	8	18	12
	médiane	10	14	16	9	11	35	15
	percentile 75	17	21	19	14	18	54	19
	maximum	73	82	29	51	68	156	67
	moyenne	13	17	16	11	15	40	17
	écart-type	10,5	12,0	6,4	8,6	10,7	26,7	10,0
	%VM	2	2,5	2	3	7	7	3,5

Tableau 5 – Distribution des FN par station

	Bellevue	Jardin	Pilotière	Provence	Graslin	Victor Hugo	Usine des eaux
	1,000	0,842	0,554*	0,794	0,779	0,665	0,523*
Jardin		1,000	0,561*	0,803	0,760	0,706	0,561*
Pilotière			1,000	0,567*	0,501*	0,504*	0,758
Provence				1,000	0,739	0,667	0,578*
Graslin					1,000	0,618	0,501*
Victor hugo						1,000	0,312*
Usine des eaux							1,000

Tableau 6 – Corrélations entre stations

- Corrélations non interprétables car temps d'agrégation des données différents (2 semaines pour Pilotière et Usine des Eaux et 1 jour pour les autres)

Résultats SO2 (01/10/95 au 30/09/98)

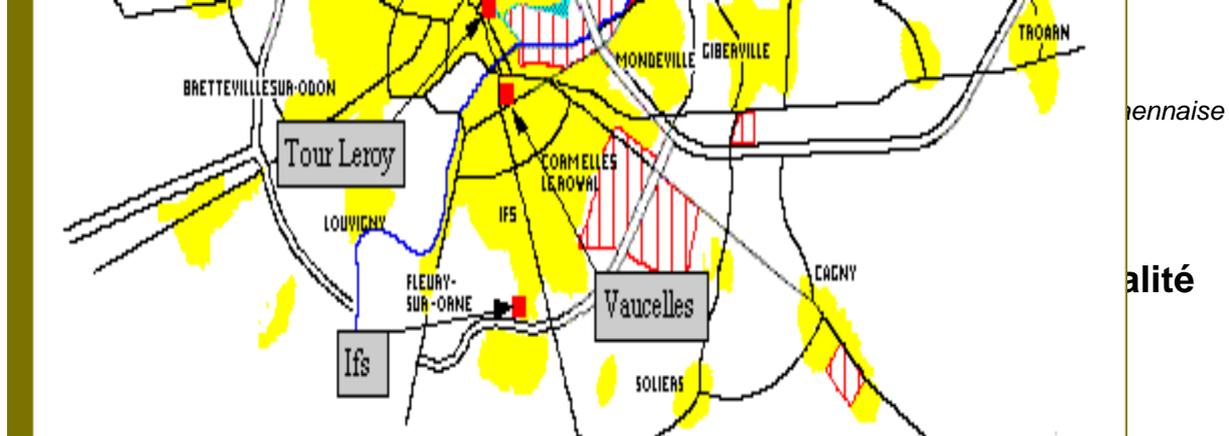
	Lieu du capteur	Stations urbaines					Station proximité automobile	Station proximité industrielle
		Bellevue	Jardin	Michelet	Provence	Graslin	Victor Hugo	Usine des eaux
Période totale	minimum	0	0	0	0	0	0	0
	percentile 25	0	3	2	2	4	7	2
	médiane	2	5	4	5	7	11	4
	percentile 75	5	8	8	9	11	15	7
	maximum	39	29	46	38	45	37	26
	moyenne	4	6	6	6	8	12	5
	écart-type	5	4	5	6	6	7	4
	%VM	2	1	1,5	4	6	5,5	1,5
Période estivale	minimum	0	0	0	0	0	0	0
	percentile 25	0	2	2	2	3	7	1
	médiane	1	5	4	4	6	10	4
	percentile 75	4	7	7	8	9	14	6
	maximum	19	21	23	24	23	31	21
	moyenne	3	5	5	5	7	11	4

	écart-type	4	3	4	4	4	6	3
	%VM	2	1,5	1,5	2	1,5	10	1,5
Période hivernale	minimum	0	0	0	0	0	0	0
	percentile 25	1	3	2	3	5	6	2
	médiane	3	6	5	6	9	11	4
	percentile 75	5	10	9	11	14	17	7
	maximum	39	29	46	38	45	37	26
	moyenne	4	7	7	8	10	12	5
	écart-type	5	5	6	6	7	8	4
	%VM	2,5	0	1	6	11	1,5	2

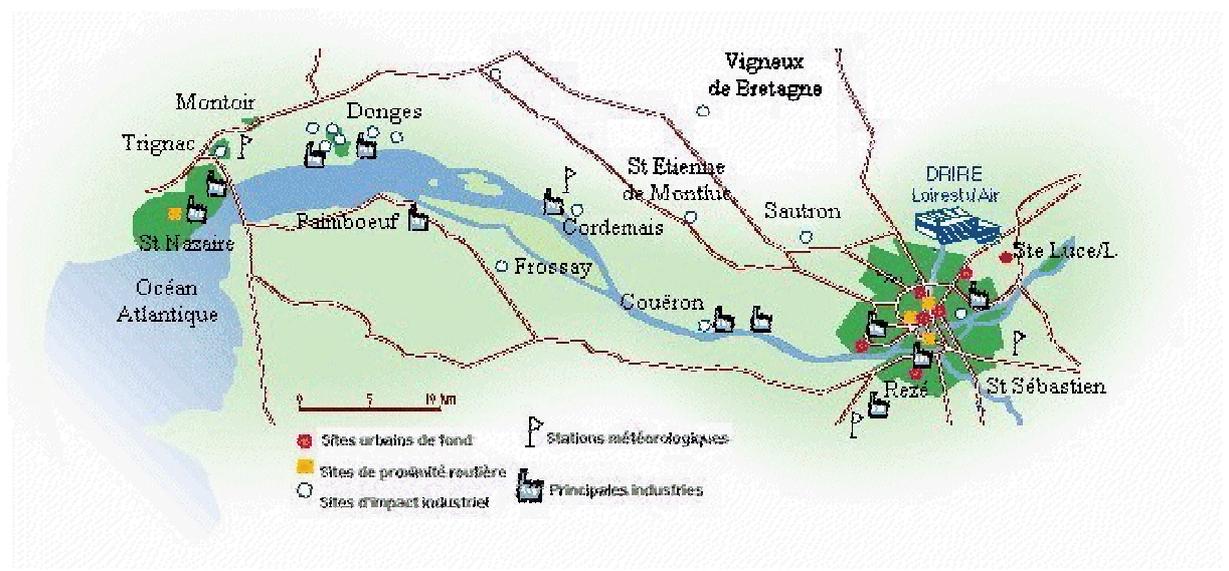
Tableau 7 – Distribution de SO2 par stations

	Bellevue	Jardin	Michelet	Provence	Graslin	Victor Hugo	Usine des eaux
Bellevue	1,000	0,408	0,398	0,557	0,593	0,570	0,601
Jardin		1,000	0,618	0,557	0,593	0,570	0,601
Michelet			1,000	0,514	0,563	0,501	0,544
Providence				1,000	0,529	0,361	0,500
Graslin					1,000	0,434	0,500
Victor Hugo						1,000	0,448
Usine des eaux							1,000

Tableau 6 – Coefficient de corrélation entre stations



ennaise
 alité



Bibliographie

¹ Réseau National de Santé Publique. Evaluation de l'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique : une démarche d'analyse de risque à l'échelle locale pour les Plans Régionaux de la Qualité de l'Air. Réseau National de Santé Publique. Saint Maurice, juin 1998, 16 pages.

² Institut de Veille Sanitaire. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine : guide méthodologique. Institut de Veille Sanitaire. Juillet 1999.

³ Institut National de la Statistique et des Etudes Economiques, Recensement général de la population. INSEE, Paris 1990.

⁴ Fontelle J-P., Chang J-P., Audoux N., Levy C., Rivière E. Inventaires d'émissions dans l'atmosphère dans la cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air. Région Pays de Loire. CITEPA octobre 1997.

⁵ Loirestu'air La qualité de l'air à Nantes et dans l'estuaire de la Loire en 1997. Loirestu'air. Nantes, 1998, 103 pages.

⁶ Institut de Veille Sanitaire. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Institut de Veille Sanitaire. St Maurice, mars 1999, 148 pages.

⁷ Schwartz J. Harvesting and long term exposure effects in relationship between air pollution and mortality. American Journal of Epidemiology, in press 1999.

⁸ Zmirou D. et al Evaluation du risque lié à la qualité de l'air dans la région Rhône-Alpes. Institut Universitaire d'Hygiène et de Santé Publique de Grenoble. A paraître.

⁹ Quénel P. et al. Synthèse des résultats de l'étude APHEA. Bulletin Epidémiologique Hebdomadaire 1998 ; 2.

¹⁰ Coste J., Spira A. La proportion de cas attribuables en Santé Publique : définition(s), estimation(s) et interprétation. Revue Epidémiologique et Santé Publique 1991 ; 39 : 399-411.

¹¹ Bouyer J., Hémon D. et al Epidémiologie : Principes et méthodes quantitatives Editions Inserm Paris 1995 : 496 pages.

¹³ Quénel P. et al. Impact de la pollution atmosphérique urbaine de type acido-particulaire sur la mortalité quotidienne à Lyon et dans l'agglomération parisienne Santé Publique 1995;4 : 13 pages.

¹⁴ Krzyzanowski M. Methods for assessing the extent of exposure and effects of air pollution. Occupational Environmental Medicine 1997;54:145-151.

¹⁵ Goldstein BD. The need to restore the public health base for environmental control. American Journal of Public Health 1995;85 :481-3.

¹⁶ Schwartz J. Air pollution and daily mortality : a review and meta analysis. Environmental Research 1994;64:36-52.

¹⁷ Dab W. et al. Les effets sanitaires des pics de pollution hivernaux. Extrapol 12. Revue Pollution atmosphérique 1998 ;156I-III.