

Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine Unité urbaine de Nîmes Impact à court et long terme

Cette étude a été réalisée par :

Franck Golliot, Cellule interrégionale d'épidémiologie Languedoc-Roussillon

Relecture :

Laurence Pascal, Institut de veille sanitaire, Département santé environnement

Ont participé à cette étude :

Air Languedoc-Roussillon

Fabien Boutonnet, ingénieur d'études

Direction départementale des affaires sanitaires et sociales du Gard

Isabelle Lorandi, service santé environnement

Direction régionale des affaires sanitaires et sociales du Languedoc-Roussillon

Isabelle Plaisant, service santé environnement

Françoise Granier, médecin responsable du PMSI

Météo France

Centre départemental du Gard

1 Contexte

Les Plans régionaux pour la qualité de l'air (PRQA), prévus par la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie du 30 décembre 1996 [1] et dont les modalités de mise en œuvre sont précisées par le décret du 6 mai 1998 [2] et la circulaire de la Direction générale de la santé du 24 mars 1998, ont pour objet de fixer des orientations visant à prévenir, réduire ou atténuer les effets de la pollution atmosphérique. Ils doivent s'appuyer, entre autres, sur une évaluation des effets de la qualité de l'air sur la santé. Cette évaluation doit permettre de fixer les objectifs d'amélioration de la qualité de l'air fondés sur des critères de santé publique.

Pour répondre à cette obligation réglementaire, une évaluation d'impact sanitaire (EIS) de la pollution atmosphérique dans les agglomérations de Montpellier, Nîmes et Perpignan a été inscrite dans le PRQA de la région Languedoc-Roussillon [3]. Cette étude a été confiée par la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales (Drass) du Languedoc-Roussillon à la Cellule interrégionale d'épidémiologie (Cire).

L'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique suit une méthodologie définie par l'Institut de veille sanitaire (InVS) [4], en accord avec les recommandations de l'Organisation mondiale de la santé (OMS). L'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique est estimé par la morbidité (admissions hospitalières) et la mortalité anticipée. Cette approche a été complétée en 2003, du fait de l'évolution des connaissances, par une estimation à long terme de l'impact de la pollution atmosphérique sur la mortalité [5]. Ce document présente la méthodologie et les résultats de l'EIS pour l'unité urbaine de Nîmes.

2 Description de la zone d'étude

Le département du Gard fait partie de la région Languedoc-Roussillon. Il est limitrophe des départements de l'Hérault, de la Lozère, de l'Aveyron, des Bouches-du-Rhône, du Vaucluse et de l'Ardèche. Le point culminant est le mont Aigoual (1 567 m).

Le Gard a une superficie de 5 853 km² et compte 648 522 habitants (Insee, estimation intercensitaire). Le chef-lieu est la ville de Nîmes.

2.1 Choix de la zone d'étude

La zone d'étude est définie a priori. Il s'agit de définir une zone où une population est exposée, en moyenne, à un même niveau de pollution par unité de temps de référence, ici la journée.

La zone d'étude doit répondre aux critères suivants :

- zone de continuité urbaine avec le centre ville (sans rupture d'urbanisation) ;
- où la majorité de la population séjourne bien la majeure partie de son temps ;
- où la qualité de l'air (mesurée par des stations de fond) et la répartition des émissions peuvent être considérées comme homogènes.

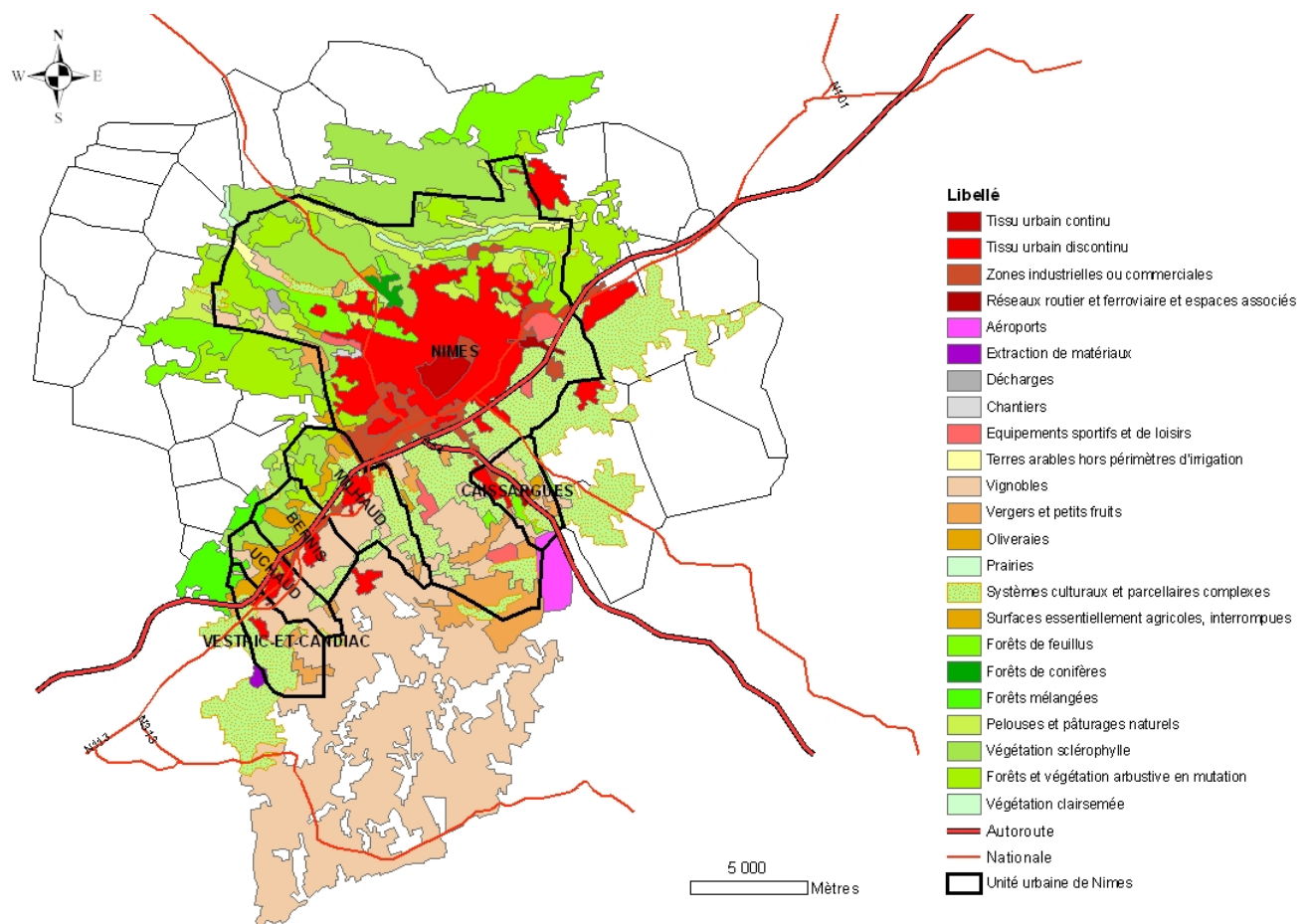
Le tissu urbain est continu de la commune de Nîmes à celle de Vestric et Candiac au sud-ouest. Au nord/nord-ouest, des espaces de garrigue s'intercalent entre Nîmes et ses communes limitrophes. Au sud/sud-est de la ville, ce sont des cultures et des vignobles qui interrompent la continuité urbaine (figure1). L'unité urbaine de Nîmes, définie au sens de l'Insee, regroupe six communes (Nîmes, Caissargues, Milhaud, Uchaud, Bernis et Vestric et Candiac).

L'étude des navettes domicile-travail (Insee 1999), montre que 83 % des déplacements de la population de l'unité urbaine de Nîmes se font à l'intérieur de cette même unité urbaine. Il est donc possible de considérer que la majorité de la population de l'unité urbaine de Nîmes séjourne la majorité du temps à l'intérieur de l'unité urbaine.

Les communes de Milhaud, Bernis, Uchaud et Vestric et Candiac sont situées aux abords de la route nationale 113 et de l'autoroute A9 (A9-E15-E80) reliant Nîmes à Montpellier. Le rapport d'une campagne de mesure du NO₂ par tubes passifs dans la zone de Nîmes, réalisée en 1997 par l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air Air Languedoc-Roussillon (Air LR), indique que " les quartiers du centre ville de Nîmes étaient parmi les plus pollués, mais que les communes au voisinage de la nationale 113 présentaient également des niveaux de NO₂ élevés ". Ainsi, "les sites de fond de la commune de Milhaud avaient des concentrations aussi élevées que dans le quartier de la gare de Nîmes" [6]. Après discussion avec le représentant d'Air LR, il a été décidé de ne pas écarter ces communes de la zone d'étude.

Finalement, les six communes de l'unité urbaine de Nîmes ont été retenues pour constituer la zone d'étude.

Figure 1 : Localisation des communes de l'unité urbaine de Nîmes. Axes routiers et occupation du sol. Cire LR. Données géographiques : IGN BDCARTO et UE – IFEN (2005).



2.2 Climatologie et météorologie dans la zone d'étude

Le département du Gard a un climat méditerranéen, marqué par un ensoleillement important et une forte sécheresse en été, suivis de pluies abondantes en automne pouvant conduire à des inondations. Le vent dominant est le mistral, un vent violent et froid qui souffle du secteur nord ou du nord-ouest vers le sud, de la vallée du Rhône et sur le pourtour méditerranéen.

La ville de Nîmes est entourée de sept collines, qui lui valent l'appellation de «Rome française» et qui contribuent à y maintenir de fortes chaleurs en été. La station météo de Nîmes-Courbessac enregistre en moyenne par année, 2 588 heures de soleil et 140 journées avec une fraction d'insolation de plus 80 %. Sur les 30 dernières années, on relève en moyenne 75 jours par an avec des rafales de plus de 16 m/s. Le nombre moyen de jours avec des rafales de plus de 16 m/s varie de 4,3 au mois de juin à 9,6 au mois de mars [7].

2.3 Localisation géographique

En pleine garrigue, Nîmes se trouve à 35 km de la mer Méditerranée, à 20 km de la Camargue, à 30 km des Cévennes et à 20 km du Rhône. Elle marque la frontière entre la Provence à l'est, et le Languedoc à l'ouest.

Elle est située sur un axe Marseille-Montpellier, et jouxte les routes nationales 113 (Montpellier-Marseille) et 86 (vers Avignon). Elle est desservie par les autoroutes A9 (la Languedocienne : Orange-Espagne) et A54 (Nîmes-Marseille).

2.4 Population de la zone d'étude

2.4.1 Densité de population

La zone d'étude a une superficie de 221 km² et représentait en 1999 une population de 148 866 habitants, soit une densité de population de 674 habitants au km². Au total, la population de la zone d'étude représente 24 % de la population du département du Gard.

Les moins de 15 ans représentent 17 % de la population de la zone d'étude, et les plus de 65 ans 19 %.

Tableau 1 : Répartition de la population sur la zone d'étude, superficie des communes et densité de population

Commune	Population (nb d'habitants)	Superficie (km ²)	Densité (hab/km ²)
BERNIS	2 656	12,8	208
CAISSARGUES	3 319	8,0	414
MILHAUD	4 871	18,3	267
NIMES	133 406	161,9	824
UCHAUD	3 289	8,8	374
VESTRIC ET CANDIAC	1 325	10,9	121
Total	148 866	220,7	674

Source : Insee, RGP 1999

Tableau 2 : Répartition de la population de la zone d'étude selon les tranches d'âge

Commune	Population			Total
	0-14 ans	15-64 ans	≥ 65 ans	
BERNIS	434	1 672	550	2 656
CAISSARGUES	533	2 219	567	3 319
MILHAUD	816	3 297	758	4 871
NIMES	22 704	85 345	25 357	133 406
UCHAUD	597	2 104	588	3 289
VESTRIC ET CANDIAC	290	865	170	1 325
Total	25 374	95 502	27 990	148 866

Source : Insee, RGP 1999

2.4.2 Déplacements domicile-travail

Ce tableau répartit les “navettes” domicile-travail des actifs ayant un emploi. Les actifs ayant un emploi sont les personnes qui ont une profession et l'exercent au moment du recensement.

Au total, 83 % des déplacements de la population de la zone d'étude se font à l'intérieur même de la zone d'étude. Seuls 16,7 % des actifs qui ont un emploi quittent la zone d'étude pour aller travailler. La part des déplacements hors zone d'étude, varie selon les communes, de 16 % pour les actifs résidant à Nîmes à 40 % pour les actifs résidant à Vestric et Candiac, commune ayant cependant le plus faible nombre d'habitants.

Nous considérons dans la suite de l'étude, que la majorité de la population de la zone d'étude y séjourne la majorité du temps.

Tableau 3 : Migrations alternantes domicile-travail dans la zone d'étude

Commune de provenance	Total des déplacements	Déplacements dans la même commune		Déplacements dans une autre commune de l'unité urbaine		Déplacements hors zone d'étude	
		Effectif	%	Effectif	%	Effectif	%
BERNIS	952	226	(23,7)	506	(53,2)	220	(23,1)
CAISSARGUES	1 261	274	(21,7)	702	(55,7)	285	(22,6)
MILHAUD	1 816	364	(20,0)	1 130	(62,2)	322	(17,7)
NIMES	43 541	36 122	(83,0)	535	(1,2)	6 884	(15,8)
UCHAUD	1 180	221	(18,7)	625	(53,0)	334	(28,3)
VESTRIC ET CANDIAC	506	99	(19,6)	205	(40,5)	202	(39,9)
Total	49 256	37 306	(75,7)	3 703	(7,5)	8 247	(16,7)

Source : Insee, RGP 1999

2.5 Sources de pollution atmosphérique

L'inventaire des émissions dans l'atmosphère de substances polluantes a été publié en 1997 pour le Languedoc-Roussillon, dans le cadre des plans régionaux pour la qualité de l'air [8]. Cet inventaire porte sur des données statistiques de l'année civile 1994. Il fait apparaître que depuis 1997, excepté en cas de fonctionnement exceptionnel de la centrale EDF d'Aramon (période de très forte demande d'électricité), c'est le secteur des transports qui contribue majoritairement aux émissions de dioxyde de soufre.

Pour l'unité urbaine de Nîmes, les émissions polluantes sont principalement dues au trafic routier. L'autoroute A9, au niveau de Nîmes, est une source importante d'émission de dioxyde de soufre (SO₂) et d'oxydes d'azote (NOx) (respectivement 6 t/km.an et 49 t/km.an) de la région. La nationale 113, dans l'agglomération de Nîmes, est également une source d'émissions de composés organiques volatils non méthaniques (COVNM), monoxyde de carbone (CO), et dioxyde de carbone (CO₂) (respectivement 36, 335 et 4 000 t/km.an).

2.6 Définition de la période d'étude

La détermination de la période pour laquelle l'indicateur d'exposition sera construit dépend de la disponibilité des données environnementales et sanitaires au moment de la réalisation de l'EIS.

Les données de mortalité sont fournies par le CépiDC (Inserm), pour les années 1999 à 2001.

Les données de morbidité hospitalière sont issues du Programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI). Les données sont disponibles de 1999 à 2003.

Les données de mesure de la qualité de l'air sont fournies par l'association agréée pour la surveillance de la qualité de l'air, Air LR [9]. Les données sont disponibles pour les années 1999 à 2003.

Deux périodes d'étude peuvent donc être définies :

- l'une pour l'étude de la mortalité du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2001 ;
- la seconde pour l'étude de la morbidité hospitalière, du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2003.

Les saisons tropiques sont définies pour l'été, du 1^{er} avril au 30 septembre de chaque année, et pour l'hiver, la saison est reconstituée à partir de deux périodes : du 1^{er} janvier au 31 mars et du 1^{er} octobre au 31 décembre.

La comparaison des paramètres météorologiques, notamment pour les facteurs intervenant dans la dispersion des polluants (vent, pluies), de la période d'étude avec les années précédentes, permet de vérifier que les années retenues ne sont pas des années particulières. Le Tableau 4 présente cette comparaison en année entière et par saisons tropiques.

Les paramètres météorologiques observés en 1999-2003, comparés à ceux des 30 dernières années sont en légère hausse pour la température moyenne (+5 %), la durée totale d'insolation en été (+4 %) et le nombre de jours de pluie (+10 %). En revanche, le nombre de jours de vent fort a été moins important de 1999 à 2003 par rapport à la période 1971-2000 (-29 %). Il est possible que ces variations aient une incidence sur la dispersion des polluants et la concentration en polluant photochimique (ozone) dans le sens d'une augmentation des concentrations des polluants durant la période étudiée.

Il faut cependant noter que les cinq années étudiées (1999 à 2003) sont relativement homogènes entre elles pour l'ensemble des paramètres météorologiques présentés.

Tableau 4 : Comparaison des paramètres météorologiques entre la période d'étude (années 1999 à 2003) et la période 1971-2000. Station météo de Nîmes-Courbessac

	Température moyenne (°C)			Durée totale d'insolation (heures)			Nombre de jours de vent fort (≥ 16 m/s)			Moyenne mensuelle du nombre de jours avec pluie ($> 0,1$ mm)		
	Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté	Année	Hiver	Eté
1971-2000*	14,8	9,7	19,8	2 588	960	1 628	75	42,5	32,5	8,0	8,9	7,1
1999	15,3	9,8	20,9	2 589	1 017	1 572	65	45	20	9,4	8,8	10,0
2000	15,6	10,7	20,4	2 653	966	1 687	49	32	17	8,4	9,0	7,8
2001	15,6	10,6	20,5	2 713	973	1 740	60	31	29	8,1	10,1	6,2
2002	15,6	11,2	20,1	2 599	938	1 661	42	20	22	10,8	12,1	9,4
2003	16,0	9,6	22,3	2 806	1 010	1 796	48	28	20	7,4	9,2	5,7
1999-2003*	15,6	10,4	20,8	2 672	981	1 691	53	31	22	8,8	9,8	7,8

Source : Météo-France.

*Nombre moyen de jours sur la période considérée.

3 Matériel et méthodes

Cette étude est une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique. La méthode utilisée est celle définie dans le guide méthodologique de l'InVS de juillet 1999 [4], et actualisé en mars 2003 [5].

La méthode suit quatre étapes : identification des dangers, estimation de l'exposition, choix des relations exposition-risque et caractérisation du risque.

3.1 Identification des dangers

A cette étape, il s'agit de déterminer les dangers liés à un polluant, à partir des résultats d'études toxicologiques ou d'études épidémiologiques.

Actuellement, des études expérimentales animales et humaines, confortées par plusieurs études épidémiologiques [10,11,12,13,14,15], ont mis en évidence le rôle de la pollution atmosphérique dans l'apparition ou l'aggravation de pathologies respiratoires et cardiovasculaires. Ces effets peuvent survenir à court terme (quelques heures ou quelques jours après l'exposition) ou à long terme (plusieurs années), et peuvent dans certains cas conduire à une mortalité anticipée. Ces études ont également montré, que les effets de la pollution atmosphérique sur la santé sont des effets "sans seuil", c'est à dire qu'ils sont observables pour des niveaux d'exposition à la pollution atmosphérique, inférieurs aux valeurs guides ou réglementaires en vigueur.

3.2 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.

Les indicateurs de pollution atmosphérique retenus dans cette étude, sont ceux prévus par le décret du 6 mai 1998 [2] et collectés en routine par les stations urbaines ou péri urbaines des réseaux de surveillance de la qualité de l'air :

- pour la pollution acido-particulaire : particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM₁₀), et dioxyde de soufre (SO₂) ;
- pour la pollution photo oxydante : dioxyde d'azote (NO₂) et ozone (O₃).

Les mesures validées doivent être disponibles depuis au moins un an.

Pour chaque polluant, un indicateur d'exposition moyenne doit être construit à partir des moyennes journalières des mesures enregistrées, pour les effets à court terme et une moyenne annuelle pour les effets à long terme.

L'estimation de l'exposition repose sur l'hypothèse selon laquelle la moyenne journalière des valeurs enregistrées par un capteur, constitue une bonne approximation de la moyenne des expositions individuelles journalières.

3.3 Relations exposition-risque

Les relations exposition-risque, permettent de caractériser le lien entre la dose (ou l'exposition) et les effets sanitaires attendus. Les relations utilisées dans cette étude, sont celles retenues par l'InVS dans son guide méthodologique. Elles ont été définies sur la base des études épidémiologiques ayant recherché un lien entre la pollution de l'air ambiant et la santé humaine au sein de populations comparables.

Les relations exposition-risque utilisées ici, sont principalement issues d'études conduites dans le cadre du programme européen "Air Pollution and Health – a European Approach (APHEA)" [16] et le Programme national de surveillance des effets sur la santé de la pollution de l'air dans 9 villes françaises (Psas-9) [17].

3.3.1.1 Fonctions exposition-risque à court terme

Mortalité totale, cardio-vasculaire et respiratoire

Tableau 5 : Risques relatifs de mortalité (et intervalles de confiance à 95 %) estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de pollution

Mortalité	PM ₁₀ *	SO ₂ **	NO ₂ **	O ₃ **
Toutes causes	1,006 [1,004-1,008]	1,011 [1,005-1,017]	1,010 [1,007-1,013]	1,007 [1,003-1,010]
Cardio-vasculaire	--	1,008 [1,004-1,011]	1,012 [1,005-1,018]	1,011 [1,004-1,018]
Respiratoire	--	1,011 [1,001-1,021]	1,013 [1,005-1,021]	1,012 [1,006-1,019]

* Source : APHEA2. ** Source : Psas-9

Admissions hospitalières

Tableau 6 : Risques relatifs (et intervalles de confiance à 95 %) d'admissions hospitalières estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de pollution (source InVS, 2003)

Admissions hospitalières	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
Pathologies respiratoires				
- chez les 15-64 ans	1,002* [0,998-1,005]	1,002* [0,997-1,007]	été : 1,004* [0,998-1,010]	--
- chez les 65 ans et plus	1,004* [1,001-1,009]	1,004* [0,996-1,012]	été : 1,008* [1,004-1,014]	1,009** [1,006-1,013]
Pathologies cardio-vasculaires				
- pour tous les âges	Hiver : 1,013*** [1,006-1,020]	Hiver : 1,010*** [1,006-1,041] Eté : 1,012*** [1,007-1,017]	--	--
Pathologies cardiaques				
- pour tous âges	--	--	--	1,005** [1,002-1,018]
- chez les 65 ans et plus	--	--	--	1,007** [1,004-1,010]

* Source APHEA1, ** Source APHEA2, *** Source Psas-9

3.3.1.2 Fonctions exposition-risque à long terme

Pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme, c'est la fonction exposition-risque de l'étude tri-nationale [13], analysant l'impact des PM₁₀ sur la mortalité toutes causes qui est utilisée. Cette fonction est également retenue par l'OMS.

Tableau 7 : Risque relatif (et intervalle de confiance à 95 %) estimé pour une augmentation de 10µg/m³ des PM₁₀ (source InVS, 2003)

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

3.4 Caractérisation du risque

Cette étape permet de calculer le nombre de cas attribuables à l'exposition à la pollution atmosphérique pendant une période de temps définie.

3.4.1 Principe du calcul

Pour une période définie, la proportion d'évènements sanitaires attribuables à un niveau de pollution atmosphérique donné (PA), est obtenue par :

$$PA = \frac{f(RR-1)}{1+f(RR-1)} \quad (1)$$

où :

- RR est le risque relatif associé au niveau de pollution étudié ;

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

Dans le cas de la pollution atmosphérique :

- f = 1, car toute la population de la zone d'étude est considérée comme exposée au niveau de pollution atmosphérique ;
- RR = RR_Δ, excès de risque associé à un différentiel de pollution Δ.

Si l'on remplace les termes dans (1), le nombre d'évènements attribuables est donc calculé

par :

$$NA = \frac{(RR_{\Delta} - 1)}{RR_{\Delta}} \times N \quad (2)$$

avec :

- N = nombre moyen d'évènements sanitaires sur la période considérée ;
- NA = nombre d'évènements sanitaires attribuables à un niveau de pollution atmosphérique donné.

Le nombre d'évènements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique est calculé pour chacun des indicateurs d'exposition et pour chaque journée de la période d'étude considérée. L'impact sanitaire saisonnier est ensuite obtenu en sommant les évènements sanitaires attribuables journaliers. Ce calcul s'applique pour chacun des indicateurs d'exposition caractérisant la pollution urbaine. Cependant, les risques relatifs associés à chaque indicateur n'étant pas indépendants, les nombres d'évènements attribuables à chacun des indicateurs de pollution étudiés ne sont pas cumulables. L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique est donc estimé comme étant, au minimum, égal au plus grand nombre d'évènements attribuables à l'un des indicateurs d'exposition étudiés.

3.5 Construction des indicateurs d'exposition

Un indicateur d'exposition est construit pour chacun des polluants en respectant les critères suivants :

- une station de mesure donnée doit pouvoir être qualifiée, du point de vue de son environnement, comme représentative de l'exposition de la population de la zone d'étude ;
- les niveaux des polluants mesurés par les stations étudiées doivent être similaires d'une station à l'autre et refléter un même phénomène de pollution ;
- les valeurs journalières relevées par les différentes stations doivent être bien corrélées.

Après sélection des stations répondant à ces critères, un indicateur d'exposition est construit pour chaque indicateur de pollution étudié, à partir de la moyenne arithmétique des mesures journalières enregistrées par les stations sélectionnées. Pour l'ozone, du fait de la nature du polluant, les moyennes sont calculées par la méthode du maximum journalier de la moyenne glissante sur 8 heures, et seules les mesures réalisées en été sont utilisées. Les données manquantes ont été remplacées par la méthode des moyennes saisonnières pour les périodes de moins de 15 jours et par la méthode de régression pour les périodes de plus de 15 jours.

3.5.1 Sélection des stations de mesure

Le réseau de surveillance mis en place par Air LR est constitué de quatre stations fixes automatiques de mesure en continu. Deux stations sont urbaines (Gauzy et Bruguier), une est en périphérie du centre urbain (Gardies) et une station est placée en proximité immédiate d'une voie de circulation importante (Planas) (Tableau 8).

Le réseau comporte également depuis janvier 2001, six sites de mesures de BTEX (Benzène, Toluène, Ethylbenzène et Xylène) par tubes passifs (quatre urbains et deux trafics).

Les méthodes de mesure diffèrent selon les polluants :

- SO₂ : fluorescence UV ;
- NO₂ : chimiluminescence ;
- O₃ : photométrie UV ;
- PM₁₀ : oscillation micro balance (fréquence-mètre).

Le Tableau 8 présente les caractéristiques des stations de mesure présentes sur la zone d'étude et les différents polluants analysés.

Tableau 8 : Description du réseau de surveillance de la qualité de l'air. Unité urbaine de Nîmes*

Nom de la station de mesure	Type	Mise en service	Eléments surveillés
Nîmes sud (Gauzy)	Urbaine	01/01/1998	SO ₂ , NO _x , PM ₁₀ , O ₃
Nîmes est (Bruguier)	Urbaine	23/12/1998	NO _x , PM ₁₀ , O ₃
Nîmes ouest (Gardies)**	Péri-urbaine	08/07/1998 à 14/09/2003	O ₃ , météo
Nîmes gare (Planas)	Trafic	02/01/2001	SO ₂ , NO _x , CO, PM ₁₀
Tubes BTEX	4 urbaines et 2 trafics	Janvier 2001	Benzène, toluène, éthylbenzène, xylènes

*Source : Air LR. ** La station "Nîmes ouest" a été définitivement arrêtée en 2003 pour raison de vandalisme. Cette station a été remplacée en juin 2004 par la station "Nîmes périphérie".

La station "Nîmes gare" (Planas) est sous influence du trafic et ne peut pas par conséquent être considérée comme indicatrice de la pollution de fond. Cette station n'a pas été retenue pour l'étude.

La station péri-urbaine "Nîmes ouest" (Gardies) mesure l'impact de la pollution générée par le centre urbain sur la périphérie. Cette station mesure les concentrations atmosphériques en ozone, polluant secondaire issu de la photochimie. Cette station ayant été en service de juillet 1998 à mi-septembre 2003, elle est retenue dans l'étude pour l'indicateur O₃ parallèlement aux deux stations urbaines "Nîmes sud" (Gauzy) et "Nîmes est" (Bruguier). Les distributions statistiques des valeurs journalières des différents indicateurs de pollution sont présentées en annexe 1.

L'étude des corrélations des mesures enregistrées par les stations du réseau de surveillance d'Air LR sur la zone d'étude est présentée ci-dessous par polluant.

Dioxyde d'azote (NO₂) : cet indicateur de pollution est mesuré par les stations urbaines "Nîmes sud" et "Nîmes est". Les valeurs journalières mesurées par les deux stations sont bien corrélées (coefficient de corrélation de Spearman > 0,93 pour les deux périodes d'étude).

Dioxyde de soufre (SO₂) : parmi les trois stations retenues dans l'étude, l'indicateur SO₂ n'est mesuré que par la station urbaine "Nîmes sud". Sur la période 1999-2003, les valeurs mesurées sont faibles et varient de 4 µg/m³ à 27 µg/m³ avec une valeur médiane de 4 µg/m³. Cet indicateur n'étant mesuré que par une seule station, et de surcroît les valeurs étant faibles, il ne sera pas retenu pour l'analyse.

Ozone (O₃) : cet indicateur de pollution est mesuré par les stations urbaines "Nîmes sud" et "Nîmes est", ainsi que par la station péri-urbaine "Nîmes ouest". L'étude des corrélations des

valeurs journalières des trois stations montre que les stations sont corrélées positivement entre elles (coefficient de corrélation de Spearman > 0,97 pour les deux périodes d'étude) (Tableau 9).

Tableau 9 : Coefficients de corrélation des trois stations mesurant l'indicateur ozone. Période 1999-2003

O ₃	Nîmes Sud (Gauzy)	Nîmes Est (Bruguier)	Nîmes Ouest (Gardies)
Nîmes sud (Gauzy)	1		
Nîmes est (Bruguier)	0,97	1	
Nîmes ouest (Gardies)	0,98	0,97	1

Particules de diamètre aérodynamique inférieur à 10 µm (PM₁₀)

Parmi les trois stations retenues dans l'étude, l'indicateur PM₁₀ est mesuré par les stations urbaines "Nîmes sud" et "Nîmes est". Les valeurs journalières mesurées par les deux stations sont bien corrélées (coefficient de corrélation de Spearman = 0,95 pour les deux périodes d'étude).

Comparaison des données de qualité de l'air avec les objectifs de qualité

Le décret n°2002-213 du 15 février 2002 fixe les seuils réglementaires pour le dioxyde d'azote, l'ozone, les poussières de diamètre inférieur à 10 µm. Il prévoit des objectifs de qualité ainsi que des valeurs limites à ne pas dépasser à partir de 2005 ou 2010 en fonction des polluants (des dispositions transitoires sont prévues pour les années antérieures). La comparaison des mesures de polluants observées sur les trois stations urbaines de la zone d'étude avec les objectifs de qualité est présentée dans le Tableau 10.

Pour NO₂ et PM₁₀, les objectifs de qualité sont respectés sur l'ensemble de la période 1999-2003. Les concentrations d'ozone, polluant secondaire et traceur de la pollution photochimique, dépassent régulièrement, en particulier en été, les seuils réglementaires. Les variations météorologiques (insolation et vent) influencent selon les années la production d'ozone, polluant atmosphérique parmi ceux mesurés, le plus problématique sur l'agglomération nîmoise, en particulier en été où les conditions sont les plus favorables à sa formation. Pour l'ozone, les dépassements des objectifs de qualité sont observés sur les trois stations de mesure, avec des dépassements plus fréquents pour la station "Nîmes ouest".

Tableau 10 : Niveaux moyens annuels des polluants étudiés dans la zone d'étude (µg/m³) de 1999 à 2003. Comparaison avec les objectifs de qualité. Source : Air LR

Polluant	Indicateur	Année/ période	Nîmes sud (Gauzy)	Nîmes est (Bruguier)	Nîmes ouest (Gardies)	Objectifs de qualité
NO ₂	Moyenne annuelle (µg/m ³)	1999	25	23	-	Moyenne annuelle inférieure à 40 µg/m ³
		2000	23	22	-	
		2001	22	18	-	
		2002	22	18	-	
		2003	23	21	-	
O ₃	Nombre de jours avec une moyenne sur 8 heures > 110 µg/m ³	1999	77	64	96	Aucune moyenne sur 8 heures dépassant 110 µg/m ³
		2000	60	60	76	
		2001	66	64	87	
		2002	43	53	78	
		2003	100	92	Tx de fonctionnement < 75 %	
PM ₁₀	Moyenne annuelle (µg/m ³)	1999	23	23	-	Moyenne annuelle inférieure à 30 µg/m ³
		2000	22	22	-	
		2001	21	20	-	
		2002	20	20	-	
		2003	23	24	-	

Finalement, nous retenons pour l'analyse les données des stations de mesure "Nîmes sud" (Gauzy), "Nîmes est" (Bruguier) et "Nîmes ouest" (Gardies). L'étude concernera l'ozone, le dioxyde d'azote et les particules de diamètre inférieur à 10 µm et se décomposera en deux parties, avec :

- une étude de la mortalité sur 3 années, du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2001.
- une étude de la morbidité hospitalière sur 5 années, du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2003, ne prenant pas en compte le dioxyde de soufre.

3.6 Indicateurs sanitaires

3.6.1 Données de mortalité

Les données de mortalité ont été obtenues auprès du service CépiDC de l'Institut national de la santé et de la recherche médicale (Inserm), par l'intermédiaire de l'InVS.

L'étude concerne la mortalité toutes causes (hors morts violentes et accidentelles), la mortalité pour cause respiratoire et pour cause cardio-vasculaire, pour les individus résidant dans la zone d'étude. Les codes de la classification internationale des maladies (CIM) pris en compte sont présentés dans le Tableau 11, une mise à jour de la classification ayant eu lieu entre 1999 et 2000.

Tableau 11 : Codes CIM utilisés pour la sélection des indicateurs de mortalité

Indicateur de mortalité	Code CIM 9 (1999)	Code CIM 10 (2000)
Mortalité totale*	<800	<S00
Mortalité cardio-vasculaire	390 - 459	I00 - I99
Mortalité respiratoire	460 - 519	J00 - J99

*Mortalité totale hors morts violentes et accidentelles

Le Tableau 12 présente pour la période 1999-2001, la moyenne quotidienne du nombre de décès utilisée pour estimer les effets sanitaires à court terme, et la moyenne annuelle utilisée pour l'impact à long terme. Les résultats sont présentés en distinguant les deux saisons tropicales (hiver : 1^{er} octobre au 31 mars, été : 1^{er} avril au 30 septembre).

Tableau 12 : Nombre de décès dans la zone d'étude (et moyenne journalière) pour la période d'étude 1999-2001. Source : InVS, CépiDC-Inserm, 2005

Mortalité	Nombre de décès période 1999-2001			Nombre moyen de décès par année			Nombre moyen de décès par jour		
	Hiver	Eté	Total	Hiver	Eté	Total	Hiver	Eté	Total
Toutes causes*	2 239	1 897	4 136	746	632	1 378	4,1	3,5	3,8
Cardio-vasculaire	732	629	1 361	244	210	454	1,3	1,1	1,2
Respiratoire	213	131	344	71	44	115	0,4	0,2	0,3

* Toutes causes hors accidentelles et morts violentes

3.6.2 Données de morbidité

La morbidité est estimée à partir des admissions hospitalières. Les données d'activité hospitalière sont extraites du PMSI, le système d'information des établissements sanitaires. Les informations contenues dans les résumés de sortie anonymes (RSA) portent sur : le lieu de résidence du patient (code postal de la commune de résidence), le mois de sortie, l'âge, le sexe, le nombre d'unités médicales fréquentées, la durée de séjour, le mode d'entrée (domicile, autre établissement de soins), le diagnostic principal et les diagnostics associés, la durée d'hospitalisation (inférieure ou non à 24 heures).

Les RSA ont été obtenus auprès de la Drass Languedoc-Roussillon pour les communes de la zone d'étude. Les établissements sanitaires sélectionnés sont ceux présents dans la zone d'étude et gérant des services de soins de court séjour pour affections respiratoires, cardio-vasculaires et cardiaques (à Nîmes : CHU de Nîmes, clinique Kennedy, clinique chirurgicale des Franciscaines, polyclinique Grand-sud). De 1999 à 2003, le nombre de patients de la zone d'étude, ayant été admis pour des pathologies respiratoires ou cardio-vasculaires, au CHU de Montpellier, autre pôle hospitalo-universitaire important situé à une cinquantaine de kilomètre de Nîmes était négligeable. Ce résultat renforce l'hypothèse selon laquelle les habitants de la zone d'étude se font soigner dans les établissements de soins les plus proches de leur domicile.

Nous avons calculé pour la période 1999-2003, le nombre de RSA contenant un diagnostic principal (DP) respiratoire, cardio-vasculaire ou cardiaque pour les patients résidant dans l'une des cinq communes de la zone d'étude et hospitalisés pendant plus de 24 heures. Les patients devaient venir directement de leur domicile (annexe 2).

Les codes CIM des diagnostics principaux retenus pour construire les indicateurs de morbidité hospitalière sont détaillés dans le Tableau 13. Il s'agit de la dixième version de la classification internationale de maladies (CIM 10).

Tableau 13 : codes utilisés pour la sélection des indicateurs d'admission hospitalière

Indicateur de morbidité hospitalière	Code CIM 10
Cause respiratoire	J00 - J99
Cause cardio-vasculaire	I00 - I99
Cause cardiaque	I00 - I52

Les données du PMSI s'appuient sur les codes postaux des communes. Or, certaines communes de la zone d'étude ont un code postal en commun avec d'autres communes situées soit à l'intérieur, soit en dehors de cette zone. De ce fait, les indicateurs fournis par le PMSI sont pris en compte à hauteur du poids respectif de chaque commune – en nombre d'habitants (Insee, 1999) – parmi les autres communes ayant le même code postal (Tableau 14). Les communes concernées sont : Bernis et Uchaud dont le code postal 30620 regroupe également la commune d'Aubord, et Vestric et Candiac dont le code postal 30600 inclut également la commune de Vauvert.

Le Tableau 15 présente la moyenne journalière du nombre d'admissions hospitalières de la population domiciliée dans la zone d'étude, selon le motif de recours et la saison tropique. Le Tableau 23 en annexe 2 détaille ces résultats selon la commune de domicile.

Tableau 14 : Poids des populations des communes de la zone d'étude par rapport au total des communes ayant le même code postal. Source : Insee, RGP 1999

Code postal	Communes de la zone d'étude	Population des communes de la zone d'étude	Population des communes hors zone d'étude et desservies par le même code postal	Part relative des communes de la zone d'étude par rapport aux communes ayant le même code postal
30620	BERNIS + UCHAUD	5 945	1 910	75,7 %
30132	CAISSARGUES	3 319	-	100,0 %
30540	MILHAUD	4 871	-	100,0 %
30000	NIMES	133 406	-	100,0 %
30600	VESTRIC-ET-CANDIAC	1 325	10 261	11,4 %
	Total	148 866	161 037	92,4 %

Tableau 15 : Moyenne journalière du nombre d'admissions hospitalières de la population domiciliée dans la zone d'étude, selon le motif de recours et la saison tropique. Unité urbaine de Nîmes, période 1999-2003

	Période 1999-2003	Motif respiratoire		Motif cardio-vasculaire	Motif cardiaque	
		15-64 ans	≥ 65 ans	Tous âges	Tous âges	≥ 65 ans
Total zone d'étude*	Eté	1,26	1,21	5,77	3,52	2,22
	Hiver	1,51	1,66	7,06	4,04	2,62
	Année	1,38	1,43	6,42	3,78	2,42

* Données pondérées par la part de la population des communes de la zone d'étude par rapport au total des communes ayant un code postal identique.

4 Résultats

4.1 Description des indicateurs de pollution

Le nombre d'évènements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique urbaine est calculé pour chaque indicateur d'exposition mesuré (NO₂, O₃, PM₁₀...) et pour chaque journée de la période d'étude considérée. Les évènements sanitaires décrivent la mortalité ou la morbidité attribuable à un niveau de pollution donné.

Le Tableau 16 présente les indicateurs sanitaires pris en compte dans cette étude, selon la période d'étude.

Tableau 16 : Récapitulatif des indicateurs sanitaires étudiés selon les indicateurs de pollution atmosphérique pris en compte dans l'étude

Indicateur sanitaire	Période	O ₃	NO ₂	PM ₁₀
Impact à long terme				
Mortalité totale	1999-2001			X
Impacts à court terme				
Mortalité totale	1999-2001	X	X	X
Mortalité cardio-vasculaire	1999-2001	X	X	
Mortalité respiratoire	1999-2001	X	X	
Morbidité respiratoire 15-64 ans	1999-2003	X	X	
Morbidité respiratoire 65 ans et +	1999-2003	X	X	X
Morbidité cardiaque tous âges	1999-2003			X
Morbidité cardiaque 65 ans et +	1999-2003			X
Morbidité cardio-vasculaire hiver	1999-2003		X	
Morbidité cardio-vasculaire été	1999-2003		X	

4.2 Estimation de l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique

L'impact de la pollution atmosphérique est calculé, polluant par polluant, par rapport à une situation théorique de très faible pollution. Ici, les niveaux de référence choisis, représentent

les 5^e percentiles des distributions des concentrations des différents polluants mesurés au cours de la période 1999-2003, soit : 71 µg/m³ pour l'ozone (O₃), 5 µg/m³ pour le dioxyde d'azote (NO₂) et 9 µg/m³ pour les particules de diamètre inférieur à 10 µm (PM₁₀) (Annexe 1). Le nombre annuel de cas attribuables à la pollution atmosphérique, peut être défini, comme le nombre d'évènements sanitaires (décès et admissions hospitalières) qui auraient théoriquement été évités si la pollution avait été toute l'année égale aux valeurs mesurées les 18 jours de l'année les moins pollués (soit 5 % des jours de l'année).

Finalement, l'impact sanitaire global de la pollution atmosphérique urbaine est estimé comme étant, au minimum, égal au plus grand nombre de cas attribuables à l'un des indicateurs de pollution.

Sur la zone d'étude, on estime que la pollution atmosphérique est responsable chaque année de 24 décès anticipés. Parmi eux, 9,1 décès auraient un motif cardio-vasculaire et 2,5 une cause respiratoire (Tableau 17).

Ce sont les concentrations en NO₂ qui ont l'impact le plus important sur l'estimation de la mortalité attribuable.

La pollution atmosphérique est également à l'origine chaque année de 43 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire (30 en hiver et 13 en été), 8,9 pour motif cardiaque et 9,6 pour motif respiratoire chez les adultes de plus de 15 ans.

Ce sont les niveaux d'ozone qui ont l'impact le plus important sur la morbidité respiratoire des 65 ans et plus. Il faut cependant noter que pour cette tranche d'âge, les particules de diamètre inférieur à 10 µm ont également un impact important sur la morbidité respiratoire (6,0 cas attribuables aux PM₁₀ *versus* 6,3 cas pour l'ozone) (Tableau 18). Pour la classe d'âge 15-64 ans, la borne inférieure de l'intervalle de confiance de l'estimation est négative, indiquant que l'estimation comprend la valeur nulle.

Tableau 17 : Nombre de décès anticipés attribuables à la pollution atmosphérique, selon l'indicateur sanitaire étudié. Unité urbaine de Nîmes

Indicateur sanitaire	polluants étudiés	polluant ayant eu l'impact le plus important sur l'indicateur sanitaire	estimation du nombre annuel de cas attribuables	IC 95 %*
Mortalité totale	O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀	NO ₂	24,0	16,8-33,3
Mortalité cardio-vasculaire	O ₃ , NO ₂ ,	NO ₂	9,1	3,8-13,7
Mortalité respiratoire	O ₃ , NO ₂ ,	NO ₂	2,5	0,9-4,0

* Intervalle de confiance à 95 % de l'estimation

Tableau 18 : Nombre d'admissions hospitalières attribuables à la pollution atmosphérique, selon le motif de recours aux soins et la classe d'âge des patients. Unité urbaine de Nîmes

Indicateur sanitaire	Polluants étudiés	Polluant ayant eu l'impact le plus important sur l'indicateur sanitaire	Estimation du nombre annuel de cas attribuables	IC 95 %*
Morbidité respiratoire 15-64 ans	O ₃ , NO ₂	O ₃	3,3	-1,6-8,4
Morbidité respiratoire 65 ans et +	O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀	O ₃	6,3	3,1-11,4
Morbidité cardiaque tous âges	PM ₁₀	-	8,9	3,6-14,3
Morbidité cardiaque 65 ans et +	PM ₁₀	-	8,0	4,6-11,4
Morbidité cardio-vasculaire hiver	NO ₂	-	30,0	17,9-42,2
Morbidité cardio-vasculaire été	NO ₂	-	12,9	7,5-18,4

* Intervalle de confiance à 95 % de l'estimation

4.3 Calculs des gains sanitaires liés à une réduction de la pollution atmosphérique

4.3.1 Impact sanitaire à court terme

Ici, les gains sanitaires sont calculés selon deux scénarios d'exposition. L'objectif est d'estimer et de comparer les gains sanitaires obtenus par chacun des scénarios.

Le premier scénario consiste à réduire les niveaux de concentrations qui dépassent les valeurs réglementaires en vigueur [18,19]. Ce scénario permet de quantifier l'impact sanitaire des pics de pollution et l'effet de leur suppression. Les objectifs de qualité sont les suivants : $O_3 = 110 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{NO}_2 = 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{SO}_2 = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$, $\text{PM}_{10} = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$

Le second scénario consiste à réduire de 25 % la moyenne annuelle des concentrations de chaque polluant. Cette hypothèse permet de quantifier le gain sanitaire imputable à une politique globale de réduction de la pollution atmosphérique.

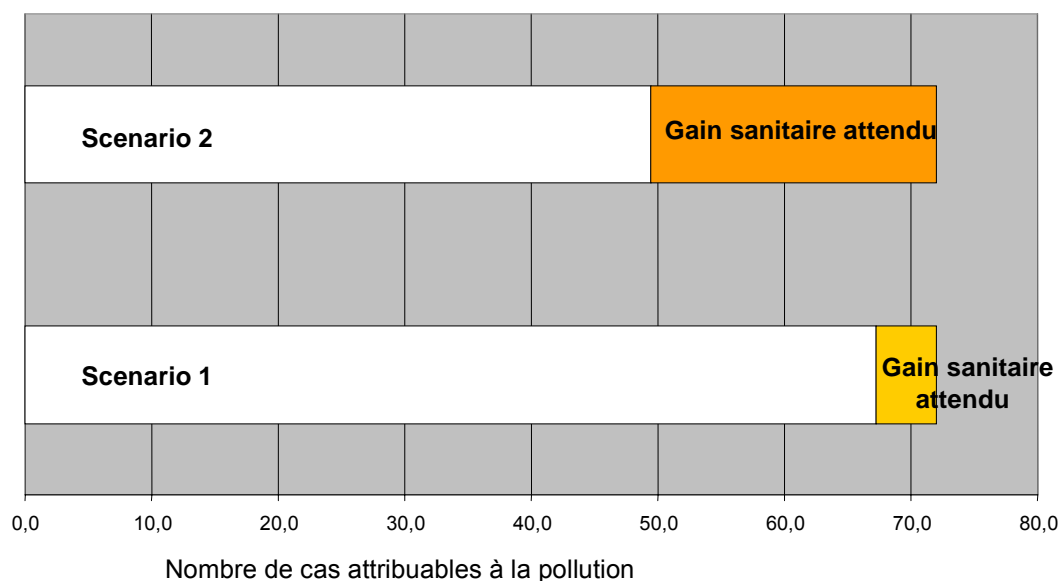
La comparaison de ces deux approches est présentée dans le Tableau 19 et la Figure 2. Le scénario 2 qui consiste à diminuer de 25 % les niveaux moyens de pollution, permet d'éviter un plus grand nombre d'événements sanitaires que le scénario 1 qui ne consiste qu'à ramener les pics de pollution sous les valeurs réglementaires. Cette différence est observée quelque soit l'indicateur sanitaire étudié. Ainsi, sur la zone d'étude, une réduction de 25 % de la pollution de fond réduirait de 31 % la mortalité totale et de près de 39 % les admissions hospitalières pour cause respiratoire et cardio-vasculaire.

Tableau 19 : Comparaison des gains sanitaires attendus selon le mode de réduction de la pollution atmosphérique. Unité urbaine de Nîmes

Indicateur sanitaire	Estimation du nombre annuel de cas attribuables à la pollution atmosphérique	Nombre annuel de cas évitables par suppression des niveaux de pollution supérieurs aux valeurs réglementaires	Nombre annuel de cas évitables par une diminution de 25 % des niveaux de pollution moyens
Mortalité totale	24,0 [16,8 – 31,3]*	1,6 [1,1 – 2,1]	7,5 [5,3 – 9,8]
Mortalité cardio-vasculaire	9,1 [3,8 – 13,7]	0,6 [0,3 – 0,9]	2,9 [1,2 – 4,3]
Mortalité respiratoire	2,5 [0,9 – 4,0]	0,2 [0,1 – 0,3]	0,8 [0,3 – 1,2]
Morbidité respiratoire 15-64 ans	3,3 [-1,6 – 8,4]	0,8 [-0,4 – 2,0]	2,4 [-1,2 – 6,0]
Morbidité respiratoire 65 ans et +	6,3 [3,1 – 11,4]	1,5 [0,8 – 2,7]	4,5 [2,1 – 7,9]
Morbidité cardiaque tous âges	8,9 [3,6 – 14,3]	1,1 [0,4 – 1,7]	3,7 [1,5 – 5,9]
Morbidité cardiaque 65 ans et +	8,0 [4,6 – 11,4]	1,0 [0,6 – 1,4]	3,3 [1,9 – 4,7]
Morbidité cardio-vasculaire hiver	30,0 [17,9 – 42,2]	2,5 [1,5 – 3,5]	8,9 [5,4 – 12,5]
Morbidité cardio-vasculaire été	12,9 [7,5 – 18,4]	0,03 [0,02 – 0,05]	4,7 [2,7 – 6,6]

* Intervalle de confiance à 95 % de l'estimation

Figure 2 : Nombre de cas évitables selon le scénario 1 (réduction des pics de pollution) ou le scénario 2 (réduction de 25 % de la pollution de fond). Mortalité totale, impact à court terme



4.3.2 Impact sanitaire à long terme

Le principe de l'estimation de l'impact à long terme de la pollution atmosphérique, est le même que pour l'impact à court terme. Simplement, lors de la construction de l'indicateur d'exposition, les valeurs ne sont plus prises en compte sur un pas de temps journalier, mais moyennées sur un an.

Ici, c'est la fonction exposition-risque de l'étude tri-nationale [13], analysant l'impact des PM_{10} sur la mortalité toutes causes qui est utilisée. Trois scénarios d'exposition sont envisagés :

- scénario 1 : diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne de 2010 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) ;
- scénario 2 : diminution de la moyenne annuelle de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$;
- scénario 3 : diminution de la moyenne annuelle de 25 %.

Le tableau 20, présente le nombre de décès évitables attendus par chacun des scénarios. A long terme, le scénario 1 consistant à ramener la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne de 2010 ($20 \mu\text{g}/\text{m}^3$) permet d'éviter 8 décès. Si l'on applique le scénario 3 qui réduit les niveaux moyens de pollution de 25 %, 30 décès sont évités, soit près de 4 fois plus que le scénario 1. La moyenne annuelle des PM_{10} étant de $22 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le scénario 2 consistant à réduire de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ les concentrations moyennes annuelle a un effet comparable au scénario 3 (Tableau 20).

Tableau 20 : Estimation du nombre annuel de décès évitables (mortalité totale) selon trois scénarios de diminution de la pollution atmosphérique

Scénario	Estimation du nombre de décès évitables	IC 95 %*
1 : diminution de la moyenne à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	8,1	5,0 – 11,5
2 : diminution de la moyenne de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$	28,8	17,5 – 40,7
3 : diminution de la moyenne de 25 %	29,5	17,9 – 41,6

* Intervalle de confiance à 95 % de l'estimation

5 Discussion

Une évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine a été conduite pour l'unité urbaine de Nîmes. L'étude a été réalisée en suivant la méthode proposée par l'InVS à partir de 5 années de mesure de la qualité de l'air atmosphérique, couplées aux données de mortalité de 1999 à 2001 et aux admissions hospitalières de 1999 à 2003. Les estimations obtenues, permettent d'estimer l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine à court terme, mais aussi à long terme.

5.1 Hypothèses, limites et incertitudes

La bonne compréhension des résultats présentés dans cette étude, nécessite de rappeler et de préciser les hypothèses, limites et incertitudes inhérentes à chacune des étapes de l'EIS.

Identification du danger

Les données métrologiques utilisées ici ne concernent que celles de la surveillance de la qualité de l'air atmosphérique, sous l'hypothèse que la population est exposée quotidiennement à un niveau de pollution constant. Hors, la population est aussi exposée aux polluants spécifiques aux espaces clos. En effet des études de plus en plus nombreuses [20], montrent que si l'air de nos habitations est constitué initialement d'air atmosphérique, des polluants peuvent également être produits directement dans les locaux par les occupants et leurs activités (en fonction de leurs modes de vie et d'occupation), ou par le bâtiment et ses équipements. Les pollutions extérieure et intérieure peuvent ainsi s'ajouter, mais aussi interagir, en créant d'autres polluants tels certains composés organiques volatils, très présents dans les habitations et les bureaux. Les effets sanitaires dus à l'exposition à ces substances ne sont pas pris en compte dans cette EIS.

Relation exposition risque

Les relations exposition-risque utilisées dans cette étude, sont tirées d'études épidémiologiques européennes et françaises. Pour réaliser l'EIS, il a été fait l'hypothèse que les résultats de ces études pouvaient être extrapolés à la zone géographique Nîmoise, notamment en considérant que sur cette zone, les indicateurs de pollution étaient ceux retrouvés dans les études publiées. Les incertitudes liées à cette hypothèse sont cependant limitées, du fait de la cohérence que l'on retrouve pour les relations exposition-risque calculées dans différentes villes d'Europe, tant pour la mortalité que pour les admissions pour motif respiratoire [16,21].

Estimation de l'exposition

L'exposition est estimée au niveau de la population et non à l'échelle individuelle. On attribue à l'ensemble des personnes séjournant sur la zone d'étude un même niveau moyen 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 des budgets espace temps de la population 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 de la zone d'étude.

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

Afin de caractériser le niveau moyen de pollution dans une zone donnée, les valeurs d'immiscions enregistrées par des stations de mesure sont utilisées pour calculer une moyenne journalière. De ce fait, une implantation différente de capteurs aurait pu conduire à une estimation différente des indicateurs d'exposition. Dans cette EIS, nous avons utilisé les données acquises par deux stations urbaines et une station péri-urbaine. L'étude des corrélations des valeurs journalières des trois stations a montré qu'elles étaient corrélées positivement entre elles, permettant de penser que l'indicateur d'exposition construit est bien représentatif de l'exposition moyenne de la population sur la zone d'étude.

Caractérisation de l'impact sanitaire

La caractérisation du risque sanitaire s'appuie sur la mise en relation d'indicateurs d'exposition avec des indicateurs de mortalité et de morbidité.

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 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 prise en charge en médecine ambulatoire, l'EIS sous estime l'impact sanitaire global sur la morbidité de la population.

Le nombre d'admissions hospitalières peut être sous ou sur estimé du fait d'erreurs de codage des diagnostics dans le PMSI. Cependant le regroupement des diagnostics en grandes catégories doit partiellement limiter ce type d'erreurs. La non prise en compte dans le PMSI des séjours dans les services d'urgence contribue probablement à sous estimer le nombre d'évènements sanitaires et donc l'impact sanitaire global.

Dans le calcul des décès attribuables à la pollution atmosphérique à long terme, l'évolution démographique de la population de la zone d'étude n'est pas prise en compte, comme l'évolution à long terme des niveaux de pollution.

5.2 Interprétation des résultats

Les résultats de l'EIS présentent un nombre de décès anticipés attribuable à un différentiel de pollution donné, au cours d'une année. Ce calcul ne doit pas être interprété, à proprement parler comme un excès absolu de mortalité. Le nombre de décès qui est calculé ici, est une estimation du nombre de personnes qui, au cours d'une année, ont vu leur espérance de vie diminuée d'une durée correspondant à cette anticipation.

Dans la mesure où la population est exposée à un ensemble de polluants pour lesquels aucun indicateur n'est totalement spécifique, les impacts estimés par indicateur de pollution ne s'additionnent pas. Ainsi, si les polluants ont une toxicité propre, leur niveau est avant tout un indicateur d'un mélange chimique complexe. La notion de risque attribuable doit donc s'entendre comme étant une estimation du risque associé à la pollution atmosphérique urbaine, facteur de risque supposé causal, approché indirectement par les indicateurs de pollution. Une action visant à réduire le niveau d'un indicateur sans réduction de la pollution globale ne produirait donc pas les effets positifs escomptés.

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'estimations réalisées selon une méthode standardisée basée sur les connaissances scientifiques actuelles. Ces estimations apportent des éléments d'information permettant d'éclairer les choix dans la gestion de la qualité de l'air.

Le présent travail n'est pas destiné à démontrer que la pollution atmosphérique a des effets à court et long terme sur la santé des populations, ce qui a été déjà largement démontré par ailleurs, mais à quantifier cet impact au niveau local, ici l'unité urbaine de Nîmes.

6 Conclusion

6.1 Un impact collectif non négligeable

Pour l'unité urbaine de Nîmes, l'estimation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique par rapport à un niveau théorique de faible pollution, montre que chaque année, la pollution atmosphérique est directement responsable de 24 décès anticipés dont 9 pour un motif cardio-vasculaire et 3 pour une cause respiratoire.

Les niveaux de pollution observés sont également à l'origine chaque année de 43 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire, 9 pour motif cardiaque et 10 pour motif respiratoire chez les adultes de plus de 15 ans.

Les chiffres présentés ici fournissent un ordre de grandeur permettant d'illustrer les effets de la pollution atmosphérique sur la santé d'une population quand bien même les concentrations mesurées sont modérées ou même inférieures aux seuils réglementaires. Les estimations obtenues montrent que si les risques relatifs sont dits "faibles" à l'échelle individuelle, l'impact sur la population est important du fait du grand nombre de personnes exposées.

6.2 Des stratégies de réduction des niveaux de pollution plus ou moins efficaces

Actuellement, les pics de pollution atmosphérique avec dépassement des seuils réglementaires déclenchent des situations d'alerte et de recommandation. Toutefois, 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 atmosphérique sur une année entière. Ainsi, sur une année, la suppression des seuls pics de pollution aurait un impact sanitaire bien moins intéressant qu'une politique globale qui consisterait à réduire de 25 % les niveaux moyens de pollution atmosphérique.

A titre d'illustration, pour l'unité urbaine de Nîmes, la seule suppression des pics de pollution réduirait de 7 % la mortalité totale et de 10 % les admissions hospitalières pour cause respiratoire, cardiaque et cardio-vasculaire. Par contre, une réduction de 25 % de la pollution de fond réduirait de 31 % la mortalité totale et de près de 40 % les admissions hospitalières.

6.3 Recommandations

En pratique, cela signifie qu'une politique locale de gestion de la qualité de l'air qui ne viserait qu'à éviter les dépassement des seuils réglementaires sans s'intéresser à la réduction des niveaux moyens de pollution, n'aurait qu'un faible impact sur la santé publique. Une plus grande efficacité sera obtenue en associant une réduction quotidienne des émissions à la source, à la réduction du nombre de jours avec des dépassements des valeurs réglementaires. Dans l'unité urbaine de Nîmes, la pollution atmosphérique étant principalement due au trafic routier, ce sont les émissions liées à la circulation routière qu'il conviendrait donc de réduire.

Les résultats de cette étude qui fait suite à celle déjà réalisée pour la zone de Montpellier [22], doivent permettre de sensibiliser les décideurs et le public aux effets à court et long terme de la pollution atmosphérique. Les différents scénarios de réduction des niveaux de pollution présentés ici, peuvent être utilisés pour fixer des objectifs d'amélioration de la qualité de l'air, à partir d'une évaluation objective réalisée au niveau local.

Une politique de réduction des risques ne peut être envisagée qu'au travers d'une approche globale (réduction des émissions liées à l'ensemble des sources), la pollution atmosphérique dans son ensemble constituant le facteur de risque à maîtriser.

7 Annexes

Annexe 1 : Distribution des indicateurs d'exposition pour les deux périodes d'étude

Tableau 21 : Distribution des indicateurs d'exposition sur la période 1999-2001 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	O ₃		NO ₂		PM ₁₀		
	Eté	Année	Eté	Hiver	Année	Eté	Hiver
Nombre de jours	549	1 096	549	547	1 092	549	543
Moyenne	105	22	15	29	22	21	22
Ecart type	23	14	8	14	11	9	12
Centile 5	71	5	4	9	9	9	8
Centile 25	88	12	8	18	14	14	13
Centile 50	104	20	15	28	20	20	19
Centile 75	121	30	21	39	28	27	29
Centile 90	139	43	28	49	35	32	39
Centile 95	149	49	31	55	41	35	45
Minimum	56	1	2	1	4	4	4
Maximum	172	71	44	71	92	58	92
% de valeurs manquantes*	4,4	5,5	9,1	1,8	5,8	6,6	5,1

*% avant remplacement

Tableau 22 : Distribution des indicateurs d'exposition sur la période 1999-2003 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	O ₃		NO ₂		PM ₁₀		
	Eté	Année	Eté	Hiver	Année	Eté	Hiver
Nombre de jours	915	1 823	915	908	1821	914	907
Moyenne	107	22	15	29	22	21	22
Ecart type	24	13	9	14	10	9	12
Centile 5	71	5	4	9	9	9	8
Centile 25	90	12	8	18	14	14	13
Centile 50	105	19	14	27	20	21	20
Centile 75	122	30	21	37	28	27	29
Centile 90	142	41	27	48	35	33	38
Centile 95	152	48	31	53	41	37	43
Minimum	54	1	1	1	4	4	4
Maximum	196	71	46	71	92	58	92
% de valeurs manquantes*	11,0	7,9	9,8	6,0	10,0	12,1	7,9

*% avant remplacement

Annexe 2 : Admissions hospitalières des personnes domiciliées dans la zone d'étude

Tableau 23 : Moyenne annuelle du nombre d'admissions hospitalières, par commune de domicile, selon le motif de recours et la saison tropique. Unité urbaine de Nîmes, période 1999-2003.

Commune de domicile	Période 1999-2003	Motif respiratoire		Motif cardio-vasculaire	Motif cardiaque	
		15-64 ans	≥ 65 ans	Tous âges	Tous âges	≥ 65 ans
Nîmes	Eté	211,4	204,8	949,4	580,4	369,8
	Hiver	250,8	277,0	1 161,2	670,6	435,2
	Année	462,2	481,8	2 110,6	1 251,0	805,0
Caissargues	Eté	4,6	3,8	24,4	16,2	9,6
	Hiver	3,4	5,2	26,4	14,8	10,2
	Année	8,0	9,0	50,8	31,0	19,8
Milhaud	Eté	5,6	5,2	34,0	18,0	10,6
	Hiver	6,0	6,0	35,2	18,8	12,2
	Année	11,6	11,2	69,2	36,8	22,8
Bernis et Uchaud*	Eté	7,6	6,7	41,6	24,7	14,7
	Hiver	11,5	10,7	51,2	26,5	17,0
	Année	19,1	17,4	92,8	51,2	31,7
Vestric et Candiac*	Eté	1,8	2,0	8,8	4,9	2,6
	Hiver	2,3	2,6	11,0	5,4	2,8
	Année	4,1	4,6	19,8	10,4	5,4
Total zone d'étude	Eté	231	222,5	1 058,2	644,2	407,3
	Hivers	274	301,6	1 284,9	736,1	477,4
	Année	505	524,1	2 343,1	1 380,3	884,7

* Données pondérées par la part de la population des communes de la zone d'étude par rapport au total des communes ayant un code postal identique.

Annexe 3 : Répartition des niveaux d'exposition journaliers (NO₂, O₃) et évènements sanitaires

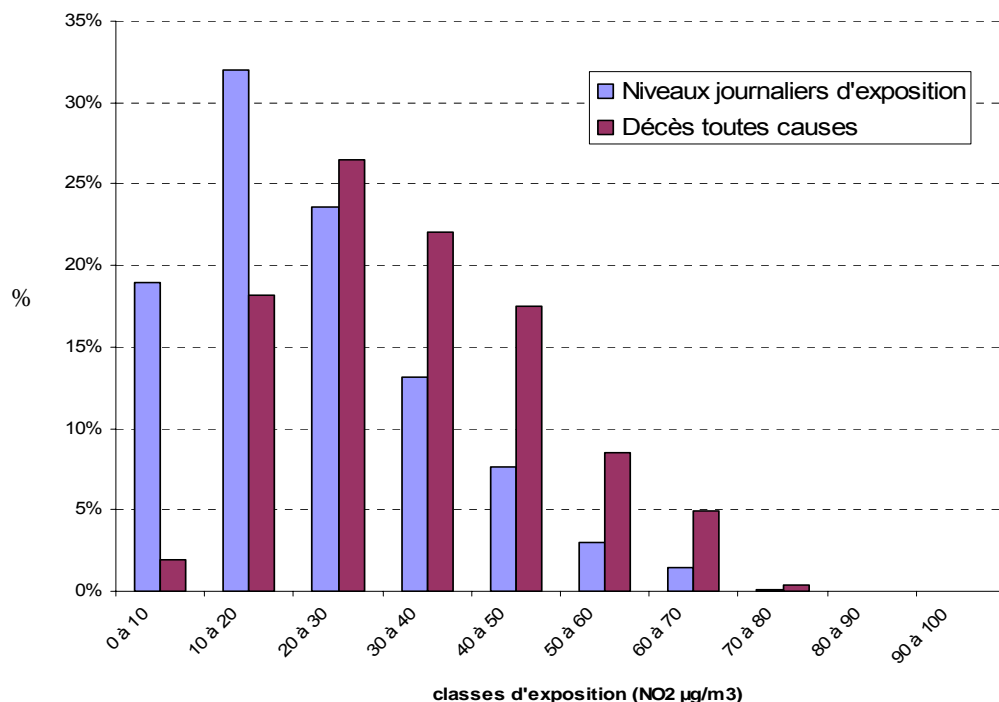


Figure 3 : Répartition des niveaux d'exposition journaliers en NO₂ et du nombre de décès toute causes confondues. Unité urbaine de Nîmes 1999-2001

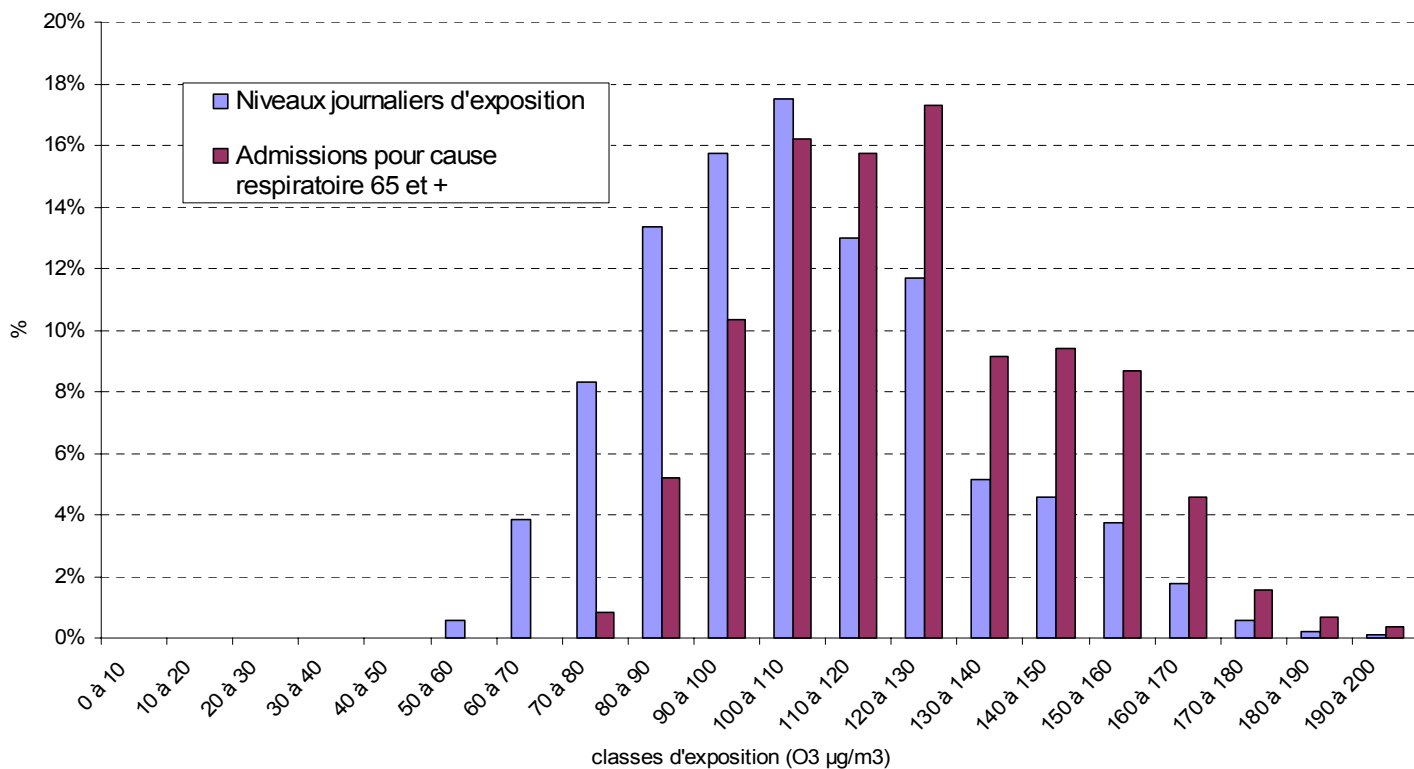


Figure 4 : Répartition des niveaux d'exposition journaliers en O₃ et du nombre d'admissions hospitalières pour cause respiratoire chez les plus de 65 ans. Unité urbaine de Nîmes 1999-2003

Annexe 4 : Rose des vents, station de Nîmes Courbessac. Source Météo France.



ROSE DES VENTS

De octobre 2000 à septembre 2001

NIMES-COURBESSA (30)

NIMES-COURBESSAC
30189001, alt. : 59 m, lat. : 43°51'5 N, lon. : 004°24'4 E

Fréquence des vents en fonction de leur provenance en %

Valeurs trihoraires de 00 à 21 heures UTC

Des mois de janvier à décembre.

Anémomètre à 10 m au dessus du sol

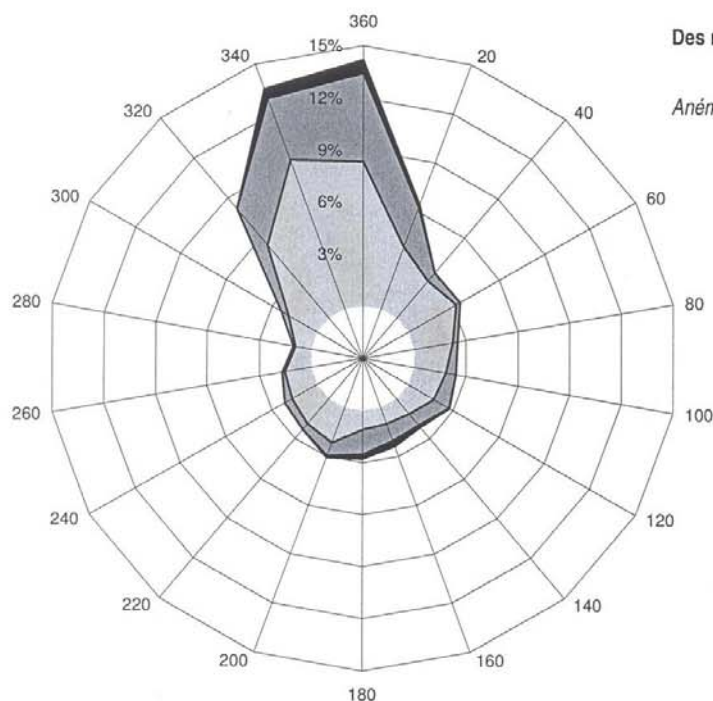


Tableau de répartition

Nombre de cas observés : 2920
Nombre de cas manquants : 0

Dir.	1 <= 4 m/s	4 <= 8 m/s	> 8 m/s	Total
020	3.8	2.5	0.1	6.4
040	2.8	0.6	0.0	3.4
060	3.1	0.3	0.0	3.4
080	2.2	0.3	0.0	2.5
100	1.8	0.6	0.0	2.4
120	1.7	1.0	+	2.7
140	1.1	0.8	0.2	2.1
160	1.0	1.0	0.4	2.4
180	1.1	1.4	0.3	2.8
200	2.1	0.8	+	3.0
220	1.9	0.4	0.0	2.3
240	1.6	0.5	0.0	2.1
260	1.5	0.2	0.0	1.6
280	0.9	0.1	0.0	1.0
300	1.9	0.5	0.0	2.4
320	5.4	2.8	0.0	8.2
340	9.1	3.8	0.6	13.5
360	8.3	5.1	0.8	14.2
Total	51.5	22.6	2.4	76.5
<= 1 m/s				23.5

■ > 8 m/s ■ 4 <= 8 m/s ■ 1 <= 4 m/s

Dir. : Direction d'où vient le vent en rose de 360 degrés: 90 = Est, 180 = Sud, 270 = Ouest, 360 = Nord.
Le signe + indique une fréquence non nulle mais inférieure à 0.1%

5 1 02 0

Page 1/1

N.B. : La vente, redistribution ou rediffusion des informations reçues en l'état ou sous forme de produits dérivés est strictement interdite sans l'accord de METEO-FRANCE

Edité le 13/09/2004

Centre départemental du Gard
63 Chemin de l'aérodrome 30000 Nîmes
Tél. : 04 66 02 92 50- Fax : 04 66 02 92 51 - email : cdm30@meteo.fr

8 Références

- 1 Loi n°96-1236 du 30 décembre 1996 sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie. Journal officiel de la République Française 1er janvier 1997.
- 2 Décret n° 98-362 du 6 mai 1998 relatif aux plans régionaux de la qualité de l'air. Journal officiel de la République Française 13 mai 1998.
- 3 Plan régional pour la qualité de l'air. Préfecture de la région Languedoc-Roussillon. Novembre 1999.
- 4 Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Guide méthodologique, Institut de veille sanitaire, juillet 1999.
- 5 Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine – Actualisation du guide méthodologique : recommandations provisoires pour les évaluations de l'impact sanitaire court terme et long terme, Institut de veille sanitaire, mars 2003.
- 6 Réseau de Nîmes. Rapport final. AMPADI LR, Mars 1998.
- 7 Fiche climatologique, statistiques 1971-2000 et records. Station de Nîmes-Courbessac. Météo France.
- 8 Inventaire d'émission dans l'atmosphère dans le cadre des PRQA. Citepa. Octobre 1997.
- 9 Site Internet d'Air Languedoc-Roussillon. Novembre 2005 : <http://www.air-lr.org>.
- 10 Schwartz J. Air pollution and daily mortality: a review and metaanalysis. *Environmental Research* 1994;64:36-52.
- 11 Pope III AC, Dockery DW, Schwartz J. Review of epidemiological evidence of health effects of particulate air pollution. *Inhalation Toxicology* 1995;7:1-18.
- 12 Le Tertre A, Quenel P, Eilstein D, Medina S, Prouvost H, Pascal L et al. Short-term effects of air pollution on mortality in nine French cities: a quantitative summary. *Arch Environ Health*. 2002 Jul-Aug;57(4):311-9.
- 13 Kunzli N, Kaiser R, Medina S, Studnicka M, Chanel O, Filliger P, Herry M, Horak F Jr, Puybonnieux-Textier V, Quenel P, Schneider J, Seethaler R, Vergnaud JC, Sommer H. Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*. 2000 Sep 2;356(9232):795-801.
- 14 Spix C, Anderson HR, Schwartz J, Vigotti MA, LeTertre A, Vonk JM et al. Short-term effects of air pollution on hospital admissions of respiratory diseases in Europe: a quantitative summary of APHEA study results. *Air Pollution and Health: a European Approach*. *Arch Environ Health*. 1998 Jan-Feb;53(1):54-64.
- 15 Pope CA, III, Burnette RT, Thun MJ, Calle EE, Krewski D, Ito K et al. Lung cancer, cardiopulmonary mortality, and long-term exposure to fine particulate air pollution. *JAMA* 2002;287 (9): 1132-41.
- 16 Katsouyanni K, Touloumi G, Samoli E, Gryparis A, Le Tertre A, Monopolis Y et al. Confounding and effect modification in the short-term effects of ambient particles on total mortality: results from 29 European cities within the APHEA2 project. *Epidemiology*. 2001 Sep;12(5):521-31.
- 17 Cassadou S., Declercq C., Eilstein D., Filleul L., Le Tertre A., Medina S. et al. Programme de surveillance Air et Santé (9 villes). Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain - Phase II. Rapport d'étude. Institut de veille sanitaire. Juin 2002. 184 pages.
- 18 Décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.
- 19 Décret n° 2002-213 du 15 février 2002 portant transposition des directives 1999/30/CE du Conseil du 22 avril 1999 et 2000/69/CE du Parlement européen et du Conseil du 16 novembre 2000 et modifiant le décret n° 98-360 du 6 mai 1998 relatif à la surveillance de la qualité de l'air et de ses effets sur la santé et sur l'environnement, aux objectifs de qualité de l'air, aux seuils d'alerte et aux valeurs limites.
- 20 Observatoire de la qualité de l'air intérieur. Revue des enquêtes sur la qualité de l'air intérieur dans les logements en Europe et aux Etats-Unis. Rapport Octobre 2004.
- 21 Institut de veille sanitaire. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain-Psas-9 phase II. Institut de veille sanitaire. Juin 2002.
- 22 Institut de veille sanitaire - Cire Languedoc-Roussillon. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Zone de Montpellier. Impact à court et long terme.