

Évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine

Zone de Montpellier
Impact à court et long terme



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

Drass Languedoc Roussillon
Cire Sud



INSTITUT DE
VEILLE SANITAIRE

Cette étude a été réalisée par :

Christine Ricoux, Cellule interrégionale d'épidémiologie Languedoc-Roussillon

Relecture :

Laurence Pascal, Institut de veille sanitaire, Département santé environnement

Ont participé à cette étude :

- **Air LR**
Fabien Boutonnet, ingénieur d'étude
- **Direction départementale des affaires sanitaires et sociales de l'Hérault**
Véronique Rissons, Service santé environnement
- **Direction régionale des affaires sanitaires et sociales Languedoc-Roussillon**
Françoise Granier, médecin responsable du Programme de médicalisation du système d'information (PMSI)
- **Observatoire régional de la santé**
Bernard Ledésert, directeur

Sommaire

1. Présentation de l'étude	5
1.1 Problématique et contexte.....	5
1.2 Objectifs.....	5
1.3 Méthode.....	6
2. Description de la zone d'étude	7
2.1 Définition de la zone d'étude.....	7
2.2 Climatologie et météorologie dans la zone d'étude.....	7
2.2.1 Le climat.....	7
2.2.2 Le régime pluviométrique.....	7
2.2.3 L'ensoleillement.....	8
2.2.4 Les températures.....	8
2.2.5 Les vents.....	8
2.3 Population d'étude.....	9
2.3.1 Nombre d'habitants de la zone d'étude.....	9
2.3.2 Densités de population.....	9
2.3.3 Distributions par classes d'âge.....	10
2.3.4 Déplacements domicile travail.....	10
2.4 Inventaire des pollutions atmosphériques.....	10
2.5 Définition de la période d'étude.....	11
3. Matériel et méthodes	13
3.1 Sélection des substances et identification des dangers.....	13
3.1.1 Au niveau de la fonction respiratoire.....	13
3.1.2 Au niveau cardio-vasculaire.....	14
3.2 Relations exposition risque.....	14
3.2.1 Indicateurs environnementaux.....	14
3.2.2 Indicateurs sanitaires.....	14
3.2.3 Fonctions exposition risque.....	16
3.3 Construction des indicateurs d'exposition.....	16
3.3.1 indicateurs d'exposition environnementaux.....	16
3.3.2 Indicateurs d'exposition sanitaires.....	19

4. Résultats	21
4.1 Estimation de l'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique.....	21
4.2 Gains sanitaires attendus par une réduction de la pollution	23
4.2.1 Impact de la pollution à court terme.....	23
4.2.2 Impact de la pollution à long terme	25
5. Discussion et recommandations	27
5.1 Synthèse des résultats	27
5.1.1 Impacts sanitaires à court terme	27
5.1.2 Impacts sanitaires à long terme	27
5.2 Hypothèses, limites et incertitudes	28
5.2.1 Identification des dangers.....	28
5.2.2 Relations exposition risque.....	28
5.2.3 Estimation de l'exposition	28
5.2.4 Caractérisation du risque	29
5.3 Conclusions	29
Bibliographie	31
Annexes	33

1. Présentation de l'étude

1.1 Problématique et contexte

Les polluants mesurés en routine par les associations agréées de surveillance de la qualité de l'air doivent être considérés, dans les évaluations d'impact sanitaire, comme des indicateurs du mélange atmosphérique ambiant constitué de multiples composés réagissant entre eux. D'une manière générale, les effets indésirables spécifiques de chaque composant du mélange ne sont que partiellement connus et en tout état de cause, c'est le mélange qui constitue le facteur de risque pour la santé, de la même manière que les risques liés au tabac mis en évidence par l'épidémiologie sont liés au mélange que constitue la fumée inhalée et pas spécifiquement à chacun de ses composants. Néanmoins, la littérature permet de recenser un certain nombre d'effets biologiques observés avec les polluants mesurés en routine.

Bien que les mécanismes mis en jeu dans la survenue des effets adverses de la pollution atmosphérique sur la santé ne soient pas tous connus, les associations rapportées dans la littérature confirment le rôle contributif, de nature causale, de la pollution atmosphérique dans la survenue d'évènements sanitaires au sein d'une population. Il convient de quantifier l'importance de son impact sanitaire et d'identifier ses conséquences en termes de santé publique.

Dans le cadre de l'élaboration du plan de protection de l'air de l'agglomération de Montpellier, la direction départementale des affaires sanitaires et sociales (Ddass) de l'Hérault a souhaité disposer d'informations sur les risques sanitaires liés à la pollution de l'air au plan local. Il a ainsi été décidé de mener une étude d'impact sanitaire, confiée par la Direction régionale des affaires sanitaires et sociales (Drass) du Languedoc-Roussillon à la Cellule d'intervention régionale en épidémiologie (Cire). Dans cette optique, la méthode recommandée dans le guide d'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine édité par l'Institut de veille sanitaire (InVS) en 1999 a été adoptée. Les éléments d'actualisation de ce guide, diffusés en mars 2003 par l'InVS, considérant l'évolution des connaissances en particulier sur l'impact à long terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité, ont également été pris en compte dans la démarche.

1.2 Objectifs

L'étude réalisée dans l'agglomération montpelliéraine répond à un double objectif. Il s'agit en premier lieu d'estimer l'impact de la pollution actuelle sur :

- la mortalité totale – hors morts violentes et accidents – (impacts à court et long terme), cardiovasculaire et respiratoire (impacts à court terme) ;
- les admissions hospitalières pour causes respiratoire, cardiovasculaire et cardiaque (impact à court terme).

De plus, le calcul des bénéfices attendus en termes de gain sanitaire (nombre de cas « attribuables ») en fonction de différents scénarios de réduction des polluants atmosphériques peut permettre la planification de mesures d'amélioration de la qualité de l'air.

1.3 Méthode

Dans le domaine de la pollution atmosphérique, deux approches sont possibles pour quantifier l'exposition :

- par l'attribution d'un indicateur individuel d'exposition déterminé par modélisation ou mesures individuelles ;
- ou, si l'indicateur d'exposition est de nature écologique, en considérant que l'ensemble des sujets d'une zone géographique définie ont le même niveau d'exposition.

C'est cette dernière approche qui est retenue dans le cadre de l'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique. La démarche, s'appuyant sur celle recommandée par l'InVS, se fonde sur les quatre étapes standardisées de l'évaluation des risques sanitaires :

1. Sélection des substances et identification des dangers
2. Sélection des relations exposition risque
3. Estimation de l'exposition des populations
4. Caractérisation du risque

2. Description de la zone d'étude

On considère, dans le cadre de l'évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine, que l'ensemble des sujets d'une zone géographique définie a le même niveau d'exposition.

2.1 Définition de la zone d'étude

Seules les zones urbaines pour lesquelles l'exposition de la population à la pollution atmosphérique peut être, d'une part considérée comme homogène et d'autre part, convenablement estimée, peuvent donner lieu à une évaluation d'impact sanitaire. Ces conditions supposent que soient réunis plusieurs critères pour définir la zone d'étude :

1. l'existence d'un réseau de surveillance de la qualité de l'air mesurant en routine, sur des stations de fond, au moins l'un des indicateurs de pollution que sont le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), les particules (PM₁₀ ou PM_{2,5}) et l'ozone (O₃) et ce, de façon fiable et validée depuis au moins un an ;
2. la notion de continuité urbaine, définie par l'Insee comme toute zone bâtie constituée de constructions avoisinantes formant un ensemble tel qu'aucune ne soit séparée de la plus proche par plus de 200 mètres. La population sur laquelle portera l'évaluation d'impact sanitaire doit séjourner la majeure partie de son temps à l'intérieur de cette unité urbaine afin de pouvoir disposer de données d'exposition homogènes ;
3. l'absence de sources ponctuelles majeures de pollution atmosphérique et une homogénéité d'exposition sur toute la zone d'étude.

Parmi les 38 communes faisant partie de l'agglomération de Montpellier, seules 11 d'entre elles constituent une unité urbaine, selon la définition de l'Insee (RGP, 1999) : Castelnau-le-Lez, Clapiers, Le Crès, Grabels, Jacou, Juvignac, Montferrier-sur-Lez, Montpellier, Saint-Clément-de-Rivière, Saint-Jean-de-Védas, Vendargues. Elles constituent la zone d'étude, présentée sur la carte suivante (figure 1). La ville de Montpellier, avec 78 % des habitants, constitue la ville centre de l'unité urbaine, celle-ci comptant au total 288 059 habitants.

2.2 Climatologie et météorologie dans la zone d'étude

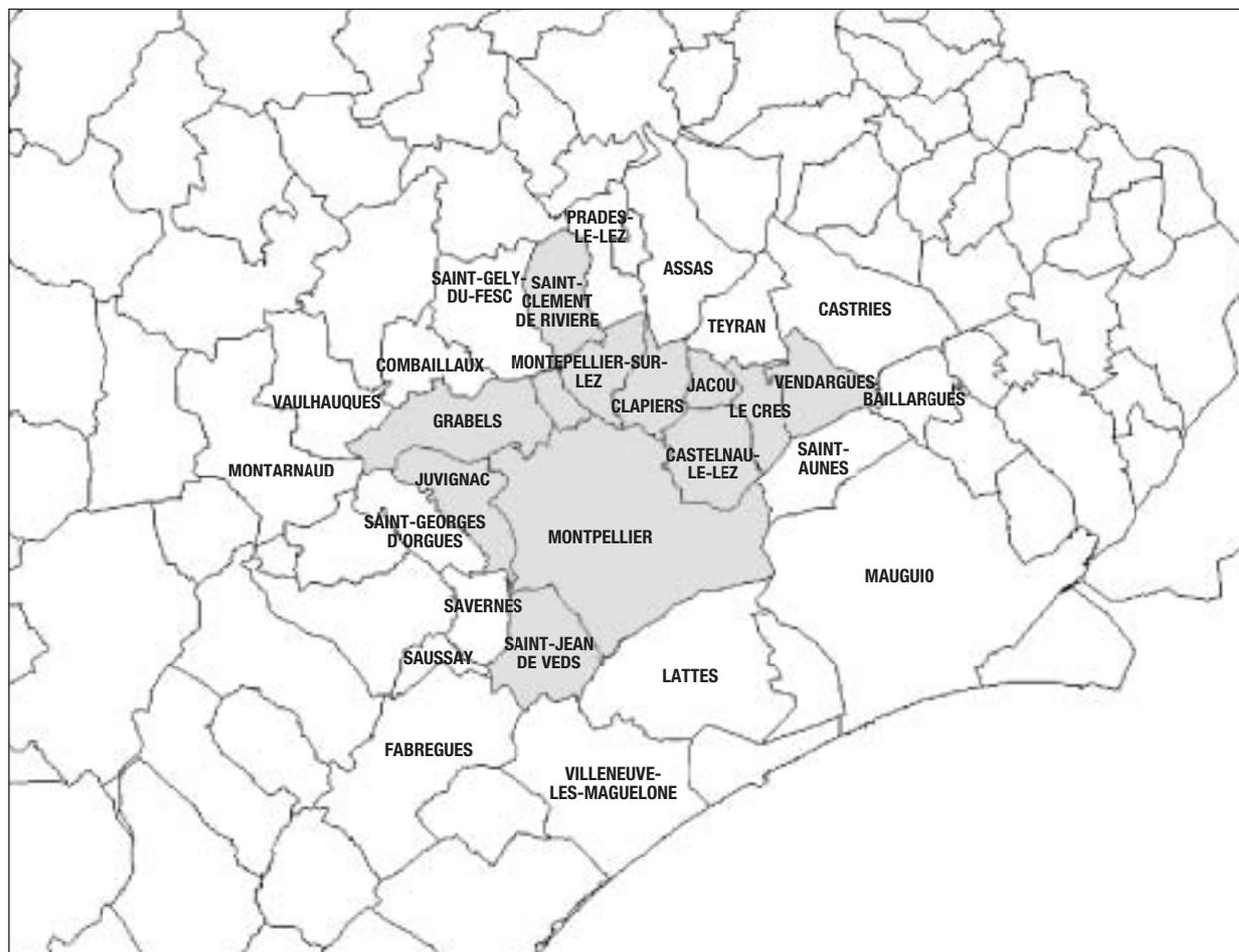
2.2.1 Le climat

L'agglomération de Montpellier est située en bordure de la méditerranée, sur la plaine littorale. Son climat est typiquement méditerranéen : sécheresse associée à un bon ensoleillement en été et en hiver, pluies au printemps et, de façon plus abondante, en automne. De par sa position géographique, l'agglomération est protégée des vents violents qui se manifestent à l'Est (mistral dans le couloir rhodanien et la Camargue) et à l'Ouest (tramontane sur l'Aude et le Biterrois).

2.2.2 Le régime pluviométrique

La répartition annuelle des pluies fait apparaître un été très sec, suivi d'un automne aux pluies abondantes pouvant dépasser 100 mm en 24 heures. Une deuxième période de sécheresse survient l'hiver, ainsi qu'une deuxième période pluvieuse au printemps. La neige est rare, en moyenne trois jours dans l'année. Cependant, certains épisodes neigeux peuvent être abondants.

Figure 1. Zone d'étude



2.2.3 L'ensoleillement

La durée d'insolation est de 2 700 heures par an à Montpellier, cette valeur étant analogue avec les moyennes observées sur l'arc méditerranéen français. Le nombre moyen de jours avec une insolation quasi-continue est important, de l'ordre de 147 jours par an, le nombre moyen de jours quasi-couverts étant de 69 par an.

2.2.4 Les températures

La proximité de la mer assure aux communes côtières un écrêtement des extrêmes de température se traduisant par un nombre moins important de jours de gelée en hiver et de forte chaleur en été. L'urbanisation importante de certaines zones de l'agglomération montpelliéraine conduit à une augmentation locale des températures moyennes.

2.2.5 Les vents

La ville de Montpellier est relativement protégée des vents forts soufflant de Nord-Ouest (tramontane) et de Nord (mistral). La tramontane est un vent sec de Nord-Ouest très fréquent en hiver et au printemps, mais que l'on peut observer en toute saison. Le marin qui souffle du Sud-Est et le grec, venant de l'Est, sont des vents plus rares, souvent violents, associés à des passages perturbés en Méditerranée. Ils sont accompagnés d'un temps couvert et de pluies généralement importantes. Le mistral, vent soufflant du Nord Nord-Est, ne touche guère l'agglomération qu'en fin de régime de Nord-Ouest, lorsque la tramontane faiblit. Il est alors nettement moins violent que dans la vallée et le delta du Rhône. Enfin, il faut mentionner le régime des brises, très courant. Par situation non perturbée, la brise s'établit généralement en matinée en brise de mer, d'abord de Sud-Est puis de Sud et de Sud-Ouest. La nuit, lorsque la terre est plus froide que la mer, le régime s'inverse et la brise de terre s'établit au Nord Nord-Est.

La rose des vents de Montpellier (station de Fréjorgues, année 2001) est présentée en annexe 1.

2.3 Population d'étude

2.3.1 Nombre d'habitants de la zone d'étude

Les onze communes de la zone d'étude sont décrites sur le plan démographique dans le tableau 1. A titre de repère, les poids de la population de la zone d'étude par rapport à celles, respectivement, de l'Hérault et du Languedoc-Roussillon sont reportés en pourcentages.

Tableau 1. Nombre d'habitants dans la zone d'étude

Commune	Nombre d'habitants	% Population Hérault	% Population LR
Castelnau-le-lez	14 208	1,58 %	0,61 %
Clapiers	4 627	0,52 %	0,20 %
Le Crès	6 799	0,76 %	0,29 %
Grabels	5 438	0,61 %	0,24 %
Jacou	4 752	0,53 %	0,21 %
Juvignac	5 587	0,62 %	0,24 %
Montferrier-sur-Lez	3 295	0,37 %	0,14 %
Montpellier	225 511	25,14 %	9,74 %
Saint-Clément-de-Rivière	4 579	0,51 %	0,20 %
Saint-Jean-de-Védas	8 041	0,90 %	0,35 %
Vendargues	5 222	0,580 %	0,23 %
Total	288 059	32,12 % (896 909)	12,45 % (2 313 900)

Source : Insee, RGP 1999

2.3.2 Densités de population

Le tableau 2 présente les superficies des communes et les densités de population dans la zone d'étude.

Tableau 2. Superficies et densités de population dans la zone d'étude

Commune	Nombre d'habitants	Superficie (km ²)	Densité (hab./km ²)
Castelnau-le-lez	14 208	11,18	1 271
Clapiers	4 627	7,69	602
Le Crès	6 799	5,85	1 162
Grabels	5 438	16,24	335
Jacou	4 752	3,42	1 391
Juvignac	5 587	10,83	516
Montferrier-sur-Lez	3 295	7,70	428
Montpellier	225 511	56,88	3 963
Saint-Clément-de-Rivière	4 579	12,73	360
Saint-Jean-de-Védas	8 041	12,89	625
Vendargues	5 222	8,98	582
Total	288 059	154,39	1 866

Source : Insee, RGP 1999

La densité des différentes communes de la zone d'étude est hétérogène. Elles sont pourtant toutes urbaines, même si certaines d'entre elles sont particulièrement résidentielles (Grabels, Saint-Clément-de-Rivière).

2.3.3. Distributions par classes d'âge

Il est indispensable de caractériser la population d'étude par classes d'âge, en compatibilité avec celles relevées pour les indicateurs sanitaires. Le tableau 3 décrit la répartition de la population selon les trois classes d'âge concernées par l'étude.

Tableau 3. Répartition par classes d'âge dans la zone d'étude

Commune	0-14 ans		15-64 ans		65 ans et +	
	effectif	%	effectif	%	effectif	%
Castelnau-le-lez	2 570	18,1 %	9 048	63,7 %	2 590	18,2 %
Clapiers	974	21,1 %	3 195	69,1 %	458	9,9 %
Le Crès	1 097	16,1 %	4 572	67,2 %	1 130	16,6 %
Grabels	940	17,3 %	4 000	73,6 %	498	9,2 %
Jacou	1 006	21,2 %	3 343	70,3 %	403	8,5 %
Juvignac	990	17,7 %	3 763	67,4 %	834	14,9 %
Montferrier-sur-Lez	542	16,4 %	2 229	67,6 %	524	15,9 %
Montpellier	32 388	14,4 %	159 602	70,8 %	33 521	14,9 %
Saint-Clément-de-Rivière	661	14,4 %	3 396	74,2 %	522	11,4 %
Saint-Jean-de-Védas	1 677	20,9 %	5 311	66,0 %	1 053	13,1 %
Vendargues	1 110	21,3 %	3 501	67,0 %	611	11,7 %
Total	43 955	15,3 %	201 960	70,1 %	42 144	14,6 %

Source : Insee, RGP 1999

Les répartitions de la population par classes d'âge dans la zone d'étude sont assez hétérogènes chez les 65 ans et plus. Elles sont plus homogènes dans les deux autres classes d'âge (0-14 ans et 15-64 ans).

2.3.4. Déplacements domicile travail

Pour évaluer au mieux l'exposition de la population de la zone d'étude à la pollution atmosphérique, il convient de vérifier que cette exposition est bien homogène pour toute la population étudiée. Cette unité dans l'exposition est liée au temps passé dans la zone d'étude. L'analyse des déplacements de la population dans la zone d'étude permet d'apprécier si la population exposée séjourne la majeure partie de son temps, par ses activités professionnelles et sa résidence, dans la zone d'étude. Les migrations alternantes domicile travail dans la zone d'étude, comptabilisant le nombre d'entrants et de sortants par commune et par jour sont présentées en annexe 2.

En moyenne, 16 % de la population résidente quitte la zone d'étude pour aller travailler. Cette situation concerne 24 % des actifs pour la commune de Vendargues et approche 20 % pour Saint-Clément-de-Rivière et Saint-Jean-de-Védas. On peut considérer au vu de ces chiffres que la population d'étude est globalement exposée de manière homogène à la pollution atmosphérique.

2.4 Inventaire des pollutions atmosphériques

L'inventaire des émissions dans l'atmosphère de substances polluantes de la zone du plan de protection de l'atmosphère (PPA) a été réalisé en juillet 2004 par Air LR pour l'année 2000. Il fait apparaître une part d'oxyde d'azote plus élevée que celle du dioxyde de soufre, confirmant le caractère peu industrialisé de la zone et l'influence plus importante du trafic routier. De plus, quel que soit le polluant, les émissions par habitant sont plus faibles sur la zone du PPA qu'au niveau national.

Par ailleurs, la mise en circulation de la première ligne du tramway à Montpellier en 2000 a eu un impact favorable sur la qualité de l'air dans une bande d'une cinquantaine de mètres de part et d'autre de son tracé.

2.5 Définition de la période d'étude

La détermination de la période d'étude dépend de la disponibilité des données, tant environnementales que sanitaires. Pour tenir compte du caractère complexe des interactions des polluants dans le mélange atmosphérique, la prise en compte d'une même période d'étude par polluant est privilégiée. Une durée minimale d'une année, soit deux saisons tropicales, est à retenir. Les indicateurs sanitaires doivent être disponibles pour la même période.

Les mesures de la qualité de l'air sont disponibles depuis le 1^{er} avril 1999, pour les séries complètes avec l'ozone. Le CépiDC (Inserm), fournissant les données de mortalité, dispose de celles-ci jusqu'à l'année 2000. Les données de morbidité hospitalière (par le PMSI) sont disponibles jusqu'à l'année 2002. Partant de ces constats, la période d'étude peut être définie en deux volets pour retenir les dénominateurs les plus communs entre toutes les sources de données :

- l'un pour l'étude de la mortalité du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2000 ;
- le second pour la morbidité hospitalière, du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2002.

Les paramètres météorologiques de la période d'étude ont été comparés à ceux des trente années antérieures dans le but de vérifier si les années étudiées (1999, 2000, 2001 et 2002) sont bien représentatives de la situation habituelle en termes de conditions atmosphériques influant les niveaux de pollution. Le tableau 4 présente cette comparaison en année entière et par saisons tropicales.

Tableau 4. Comparaison des paramètres météorologiques entre la période d'étude (années 1999 à 2002) et la période 1971-2002

	Température moyenne (°C)			Durée totale d'insolation (heures)			Nombre de jours de vent fort (≥16 m/s)			Nombre moyen de jours avec pluie (> 0,1 mm)		
	année	hiver	été	année	hiver	été	année	hiver	été	année	hiver	été
1971-2002	14,7	10,1	19,4	2 659	978	1 681	70	40	30	7,6	8,6	6,6
1999	15,3	10,2	20,4	2 620	1 019	1 601	71	45	26	8,2	7,7	8,7
2000	15,4	11,0	19,9	2 627	976	1 651	88	47	41	8,5	9,2	7,8
2001	15,4	10,7	20,1	2 761	1 005	1 756	86	46	40	8,8	11,7	5,8
2002	15,6	11,5	19,8	2 588	947	1 641	62	38	24	10	11,8	8,2
1999-2002	15,4	10,9	20	2 649	987	1 662	77	44	33	8,9	10,1	7,6

Source : Météo-France

NB : hiver, du 1^{er} octobre au 31 mars ; été, du 1^{er} avril au 30 septembre.

Les paramètres météorologiques observés en 1999-2002, comparés à ceux des trente dernières années sont en légère hausse pour la température moyenne (+ 0,7°C), le nombre de jours de vent fort (+ 7) et le nombre de jours de pluie (+ 1,3). La durée totale d'insolation est en revanche légèrement plus faible en été durant la période d'étude. Il est possible que cet état de fait ait une incidence sur la concentration en polluant photochimique (ozone) dans le sens d'une diminution durant la période étudiée.

3. Matériel et méthodes

3.1 Sélection des substances et identification des dangers

Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont la résultante des effets conjugués et interactifs des multiples composants du mélange atmosphérique ambiant. Les effets des polluants spécifiques ne pouvant être différenciés individuellement par l'épidémiologie, le mélange atmosphérique constitue, dans son ensemble, le facteur de risque pour la santé. Dans ce contexte, les polluants suivis par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air jouent un rôle d'indicateurs de la pollution atmosphérique.

Les principaux indicateurs listés par la directive européenne portant sur l'évolution et la gestion de la qualité de l'air ambiant du 27 septembre 1996 sont : le dioxyde de soufre (SO₂), le dioxyde d'azote (NO₂), le monoxyde de carbone (CO), les particules en suspension (PM₁₀) et les particules fines (PM_{2,5}), les hydrocarbures aromatiques mono et polycycliques, dont le benzène, l'ozone (O₃), les métaux lourds (arsenic, cadmium, mercure, nickel et plomb). Parmi ceux-ci, 4 polluants, mesurés en routine, ont été retenus dans le cadre des évaluations d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique pour la construction des indicateurs d'exposition :

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

Les effets sanitaires de la pollution atmosphérique sont actuellement bien connus. Les études épidémiologiques et expérimentales animales et humaines ont mis en évidence le rôle de la pollution atmosphérique dans l'apparition ou l'aggravation de pathologies respiratoires et cardio-vasculaires pouvant aller jusqu'à la mortalité anticipée. Du fait de l'absence de seuil, les effets sanitaires de la pollution atmosphérique peuvent être observés pour des niveaux d'exposition inférieurs aux valeurs guides ou réglementaires. De plusieurs ordres, ils sont décrits ci-après.

3.1.1 Au niveau de la fonction respiratoire

Des phénomènes inflammatoires sont observés expérimentalement sur des cellules bronchiques exposées aux particules fines avec production de radicaux libres¹ et de médiateurs² de l'inflammation [1,2]. Chez l'animal, ces phénomènes inflammatoires ont été observés au niveau des tissus pulmonaires [3]. On retrouve également chez l'homme une inflammation au niveau des alvéoles pulmonaires et une augmentation des paramètres sanguins de l'inflammation (fibrinogène, protéine C réactive, polynucléaires neutrophiles) chez des sujets exposés aux particules [4]. Le dioxyde de soufre, de par sa solubilité au niveau des voies aériennes, possède un effet irritant responsable de bronchospasmes (potentiellement à l'origine de crises d'asthme) [5]. Le même type d'effet a été observé avec les aérosols acides issus de la transformation du SO₂ et du NO₂ avec une diminution de la clairance muco-ciliaire (nettoyage naturel des bronches par l'expectoration) et une broncho-constriction (rétrécissement du calibre des bronches) [6,7]. Chez des patients asthmatiques, l'ozone entraîne également une réponse inflammatoire. D'autres travaux chez l'homme et l'animal montrent que l'inhalation d'ozone entraîne une hyper-réactivité bronchique, à l'origine de la crise d'asthme [8]. Enfin, des études ont observé que les polluants d'origine automobile peuvent induire une inflammation de type allergique avec hyper réactivité bronchique [9]. Il est probable que les allergènes biologiques interagissent avec les polluants chimiques.

¹ Radicaux libres : atomes ou molécules électriquement chargées, ce qui entraîne leur réaction chimique avec les molécules voisines entraînant ainsi leur destruction. Ce phénomène est impliqué dans les réactions inflammatoires. Ex : OH⁻

² Médiateur : substance produite par certaines cellules et entraînant une réaction (ici l'inflammation) lorsqu'elle se fixe sur des cellules réceptrices. Exemple : l'histamine dans les réactions d'allergie.

3.1.2 Au niveau cardio-vasculaire

Une augmentation de la viscosité plasmatique et des plaquettes, une diminution de la saturation en oxygène sanguin et une mauvaise adaptation du rythme cardiaque ont été signalées chez l'homme en lien avec l'exposition aux particules [10-12]. Des associations ont également été observées entre le niveau de NO₂ et l'apparition de troubles du rythme cardiaque [13]. Par ailleurs, l'impact sur la mortalité d'origine cardiaque semble plus marqué dans des populations de sujets déjà atteints d'une insuffisance cardiaque qu'en population générale. Plus précisément, une autre étude observe une association entre l'élévation du niveau de particules (PM_{2.5}) et la survenue à très court terme (2 heures et 24 heures respectivement) d'infarctus du myocarde.

3.2 Relations exposition risque

Les indicateurs de santé pertinents pour la réalisation de l'étude d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique ont pu être établis par l'InVS sur la base d'une synthèse des données bibliographiques produites depuis plusieurs années. Le principe était de sélectionner des indicateurs sanitaires présentant une relation de type exposition risque avec des polluants atmosphériques mesurés en routine par les réseaux de surveillance de la qualité de l'air. L'étude a été menée à partir de la mesure des fumées noires, des particules, du dioxyde de soufre, du dioxyde d'azote et de l'ozone. Ces composés ne sont pas analysés pour leurs effets spécifiques mais sont considérés comme des indicateurs de la pollution atmosphérique urbaine, c'est-à-dire qu'ils n'excluent pas la présence d'autres polluants dans l'air, pouvant être plus toxiques, mais non mesurés en routine.

La méthode de construction des indicateurs d'exposition est identique pour les effets à court terme, comme à long terme. La différence tient à ce que les valeurs sont prises en compte sur un pas de temps journalier dans le premier cas et annuel dans le second.

3.2.1 Indicateurs environnementaux

La réalisation d'une évaluation d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique suppose l'existence d'un réseau de surveillance mesurant la qualité de l'air en routine, sur des stations urbaines, pour au moins l'un des polluants suivants : SO₂, NO₂, O₃, PM₁₀. Les mesures, validées, doivent être disponibles depuis au moins un an.

Pour chaque polluant, un indicateur d'exposition moyenne doit être construit à partir de la valeur moyenne journalière des données collectées pour les effets à court terme et une valeur moyenne annuelle pour les effets à long terme. Pour ce qui concerne l'ozone, seules les mesures réalisées en été sont pertinentes, du fait de la nature du polluant.

3.2.2 Indicateurs sanitaires

Compte tenu de la disponibilité des données, le choix s'est porté sur deux types d'indicateurs sanitaires pour quantifier les effets de la pollution atmosphérique, la mortalité anticipée et la morbidité hospitalière :

- outre la mortalité totale (hors causes accidentelles et morts violentes), deux causes de mortalité sont prises en compte : la mortalité cardiovasculaire et la mortalité respiratoire. Les données sont disponibles auprès du Centre d'épidémiologie des causes médicales de décès (CépiDC) de l'Inserm, ainsi que de l'Observatoire régional de la santé (ORS) ;
- en ce qui concerne la morbidité hospitalière, trois causes ont été retenues, ainsi que différentes classes d'âge : les admissions pour cause respiratoire (chez les 15-64 ans et les 65 ans et plus), cardio-vasculaire (pour tous les âges) et cardiaque (pour tous les âges et en particulier les 65 ans et plus). Les données sont obtenues par extraction du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI).

3.2.3. Fonctions exposition risque

Les relations exposition risque ont été sélectionnées par l'InVS sur la base des études épidémiologiques recherchant un lien entre la pollution de l'air ambiant et la santé humaine au sein de populations comparables.

La nécessité de disposer de relations exposition risque sur le long terme restant prégnante en vue de réaliser des estimations plus complètes de l'impact sanitaire sur la mortalité et d'estimer le nombre d'années potentielles de vie perdues, les risques à long terme ont été pris en compte en analysant l'impact des PM₁₀ sur la mortalité toutes causes.

Toutes les relations exposition risque obtenues sont de type linéaire sans seuil. Les risques relatifs calculés pour chaque indicateur sanitaire à partir des résultats des études épidémiologiques sont présentés dans les tableaux 5 (mortalité) et 6 (morbidité), pour une augmentation de 10 µg/m³ des indicateurs d'exposition environnementaux. Les fonctions exposition risque à court et long terme ont été distinguées dans la présentation. Les risques relatifs significatifs apparaissent en gras dans les tableaux.

a) 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	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
Toutes causes (Psas-9)	1,011	1,010	1,007	--
	[1,005-1,017]	[1,007-1,013]	[1,003-1,010]	
Toutes causes (Apeha-2)	--	--	--	1,006
				[1,004-1,008]
Cardiovasculaire (Psas-9)	1,008	1,012	1,011	--
	[1,004-1,011]	[1,005-1,018]	[1,004-1,018]	
Respiratoire (Psas-9)	1,011	1,013	1,012	--
	[1,001-1,021]	[1,005-1,021]	[1,006-1,019]	

(source InVS, 2003)

- Admissions hospitalières

Tableau 6. Risques relatifs (et intervalles de confiance) d'admissions hospitalières estimés pour une exposition de 0-1 jour et pour une augmentation de 10 µg/m³ des niveaux de pollution

Admissions hospitalières	SO ₂	NO ₂	O ₃	PM ₁₀
Pathologies respiratoires				
Chez les 15-64 ans	1,002 ⁽²⁾	1,002 ⁽²⁾	été : 1,004 ⁽²⁾	--
	[0,998-1,005]	[0,997-1,007]	[0,998-1,010]	
Chez les 65 ans et plus	1,004⁽²⁾	1,004 ⁽²⁾	été : 1,008	1,009⁽³⁾
	[1,001-1,009]	[0,996-1,012]	[1,004-1,014]	[1,006-1,013]
Pathologies cardiovasculaires				
Pour tous les âges	hiver : 1,013⁽¹⁾	hiver : 1,010⁽¹⁾	--	--
	[1,006-1,020]	[1,006-1,041]		
		été : 1,012⁽¹⁾		
		[1,007-1,017]		
Pathologies cardiaques				
Pour tous âges	--	--	--	1,005⁽³⁾
				[1,002-1,018]
Chez les 65 ans et plus	--	--	--	1,007⁽³⁾
				[1,004-1,010]

(source InVS, 2003)

b) Fonctions exposition risque à long terme

La fonction exposition risque à long terme n'est définie que pour les PM₁₀ et pour la mortalité totale et cardio-respiratoire. Le risque relatif a été calculé à partir de l'étude de Nino Kuenzli qui a utilisé fin 2000 pour la première fois les risques relatifs de mortalité à long terme issus des études de cohorte américaines pour trois pays en Europe, la France, la Suisse et l'Autriche. Il est exprimé dans le tableau 7.

Tableau 7. Risque relatif (et intervalle de confiance à 95 %) estimé pour une augmentation de 10 µg/m³ des PM₁₀

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

(source InVS, 2003)

La caractérisation des risques permet de calculer le nombre de cas attribuables à l'exposition à la pollution atmosphérique pendant une période d'étude définie. Avant de passer à cette étape, il convient de procéder à l'estimation de l'exposition de la population considérée.

3.3 Construction des indicateurs d'exposition

3.3.1 indicateurs d'exposition environnementaux

Un indicateur d'exposition est calculé pour chaque polluant, à partir, pour les effets à court terme, de la moyenne arithmétique des mesures journalières enregistrées par les stations de mesure. Pour les effets à long terme, il s'agit de la moyenne annuelle des mesures des PM₁₀.

Les données de surveillance de la qualité de l'air constituent un élément fondamental dans l'estimation de l'exposition. Seules les mesures de la pollution atmosphérique de fond sont prises en compte dans le cadre de cette étude. En effet, celles-ci privilégient des mesures ambiantes de polluants, hors sources de pollution industrielles ou automobiles, ce qui garantit mieux l'homogénéité des mesures de l'exposition.

3.3.1.1 Sélection des stations de mesure

a) Le réseau de surveillance de la qualité de l'air

Le réseau de surveillance de la qualité de l'air de l'agglomération de Montpellier, contenant la zone d'étude, est géré par l'association Air LR, membre de la fédération Atmo, regroupant l'ensemble des 39 associations agréées pour la surveillance de la qualité de l'air. Il est composé de six stations fixes, dont trois stations de mesure urbaines, deux stations périurbaines (au sud, à Lattes et au nord à Saint-Gély) et une station de proximité automobile. Les caractéristiques de ces six stations de mesures urbaines sont présentées dans le tableau 8.

Tableau 8. Caractéristiques des stations fixes du réseau de mesure de l'agglomération de Montpellier

Nom station (hauteur prélèvement)	type	mise en service	polluant mesuré
Chaptal (3 m)	urbaine	01/12/1986	SO ₂ , NOx
Cévennes (10 m)	urbaine	06/01/1995	NOx, O ₃
Prés d'Arènes (3,5 m)	urbaine	07/08/1998	SO ₂ , NOx, O ₃ , PM ₁₀ , BTX*, CO
périurbaine sud (Lattes)	périurbaine	20/08/2000	O ₃
périurbaine nord (Saint-Gély)	périurbaine	27/04/2000	O ₃
Saint-Denis	trafic	01/12/1986	NOx, plomb, CO

Source : Air LR, 2003

*BTX : benzène, toluène, xylène

Les méthodes de mesure diffèrent selon les polluants :

SO₂ : fluorescence UV,

NO₂ : chimiluminescence,

O₃ : photométrie UV,

PM₁₀ : oscillation micro balance (fréquence-mètre).

La station de proximité automobile (Saint-Denis) est sous influence du trafic. Elle n'est de ce fait pas indicatrice de la pollution de fond. Les deux stations périurbaines (Lattes et Saint-Gély) mesurent l'impact de la pollution générée par le centre-ville sur la périphérie. Elles suivent uniquement les concentrations atmosphériques en ozone en dehors de l'unité urbaine. L'intérêt de les intégrer dans l'étude est certain, compte tenu des spécificités de l'ozone comme polluant secondaire issu de la photochimie. Cependant, les dates de mise en service de ces deux stations (Saint-Gély : 27 avril 2000, Lattes : 20 août 2000) ne sont pas compatibles avec la période d'étude. Par voie de conséquence, ces trois stations seront exclues de l'analyse et seules les trois stations urbaines (Chaptal, Cévennes, Prés d'Arènes) sont présélectionnées pour évaluer l'exposition. L'examen des corrélations entre les stations par polluant et des résultats de mesure permettra de s'assurer de la pertinence du choix de ces stations.

b) Corrélation des stations de mesure

L'homogénéité des mesures produites par les trois stations urbaines dans la zone d'étude a été contrôlée par des campagnes de mesures ponctuelles réalisées par Air LR. Le dioxyde de soufre (SO₂) a été mesuré pendant trois années (1997 à 1999) à la station Chaptal. Les résultats obtenus étant analogues à ceux de la station Cévennes, la station Chaptal a conservé les mesures pour ce polluant.

Les coefficients de corrélation entre les stations de mesure sont calculés par polluant, afin de vérifier la bonne concordance des données fournies par les stations de mesure.

- Ozone

Deux stations sur les trois présélectionnées mesurent l'ozone : Cévennes et Prés d'Arènes. Le coefficient de corrélation entre ces deux stations est de 0,97 (pour les deux périodes d'étude), ce qui signifie qu'elles sont très bien corrélées pour les mesures d'ozone.

- Dioxyde de soufre

Le dioxyde de soufre est mesuré par les stations Chaptal et Prés d'Arènes. Le coefficient de corrélation entre les deux stations est égal à 0,80 pour la période d'étude 1999-2000 et n'est que de 0,3 pour la période d'étude 1999 à 2002. Cette valeur faible du coefficient de corrélation s'explique par l'interruption des mesures sur la station Prés d'Arènes du mois de juillet 2000 au mois de novembre 2001. De plus, les niveaux moyens de dioxyde de soufre sont faibles (moyenne annuelle de 7 µg/m³, écart type de 3,7 µg/m³). Il ne semble donc pas opportun de retenir cet indicateur dans l'étude.

- Dioxyde d'azote

Les trois stations présélectionnées mesurent le dioxyde d'azote. Les coefficients de corrélation entre ces trois stations sont présentés dans le tableau 9.

Tableau 9. Coefficients de corrélation des stations de mesure du dioxyde d'azote

NO ₂	Cévennes	Prés d'Arènes	Chaptal
Cévennes	1		
Prés d'Arènes	0,84	1	
Chaptal	0,78	0,88	1

Les coefficients de corrélation entre les trois stations varient entre 0,78 et 0,88. On peut considérer qu'elles sont bien corrélées pour les mesures de dioxyde d'azote.

- Particules de diamètre inférieur à 10 µm

Seule la station Prés d'Arènes mesure les PM₁₀ dans la zone d'étude.

c) Distribution des indicateurs de pollution

Les indicateurs d'exposition sont construits sur la base de la moyenne arithmétique des valeurs mesurées par les stations de mesure. Pour le calcul de l'impact sanitaire, les données seront prises en compte sur un pas de temps quotidien pour les effets à court terme, et moyennées sur un an pour les effets à long terme.

Les moyennes journalières des indicateurs environnementaux par saisons, stations et polluants figurent dans le tableau 10 selon les deux périodes d'étude considérées (1^{er} janvier 1999 au 31 mars 2000, pour

coïncider avec les données de mortalité, et du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2002 pour correspondre avec les données d'admissions hospitalières). Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition globaux et leur distribution par gamme de concentration pour les périodes d'étude considérées sont présentées en annexe 3. Pour l'ozone, seules les données de l'été sont utilisées, compte tenu de la nature photochimique de ce polluant.

Tableau 10. Moyennes journalières des indicateurs d'exposition sur les périodes d'étude (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

	1999-2000			1999-2002		
	année	été	hiver	année	été	hiver
NO₂						
Cévennes	15,94	11,69	20,24	14,83	10,86	18,86
Chaptal	45,65	41,59	49,77	43,07	37,65	48,57
Prés d'Arènes	28,13	22,46	33,88	28,07	21,46	34,78
O₃						
Cévennes	60,64	76,99	44,06	60,43	77,40	43,20
Prés d'Arènes	50,50	65,41	35,39	51,56	68,04	34,84
PM₁₀						
Prés d'Arènes	22,71	21,63	23,81	22,00	21,02	23,02

Source : Air LR

Distribution des indicateurs de pollution par station et par polluant

Les trois stations présentent des valeurs de dioxyde d'azote hétérogènes et relativement faibles. Ces stations étant toutes trois classées en hyper centre ville, elles sont, pour Air LR, représentatives de la qualité de l'air dans cette partie de la zone d'étude.

Les statistiques descriptives des indicateurs d'exposition des deux périodes d'étude sont très proches pour les trois indicateurs de pollution (ozone, dioxyde d'azote, particules). De même, les distributions par classes d'exposition des différents polluants ne présentent pas de différences qualitatives notables selon les deux périodes d'étude.

3.3.1.2 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 à atteindre à long terme (2005 ou 2010) et des dispositions transitoires 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 11.

Tableau 11. Niveaux moyens annuels de pollution dans la zone d'étude pour les périodes d'étude ($\mu\text{g}/\text{m}^3$) – Comparaison avec les objectifs de qualité

Polluant	Période	Chaptal	Cévennes	Prés d'Arènes	Objectifs de qualité
NO ₂	1999-2000	45,65	15,94	28,13	40
	1999-2002	43,07	14,83	28,07	
O ₃	1999-2000	---	60,64	50,50	110 (8h)
	1999-2002	---	60,43	51,56	
PM ₁₀	1999-2000	---	---	22,71	30
	1999-2002	---	---	22,00	

Source : Air LR

Pour ce qui concerne la pollution acido-particulaire (PM₁₀), les normes et objectifs de qualité sont respectés sur les deux périodes d'étude à Montpellier. En revanche, pour le NO₂, l'objectif de qualité n'est pas respecté pour la moyenne des valeurs observées sur la station urbaine de Chaptal. Les concentrations en ozone, polluant secondaire traceur de la pollution photochimique, dépassent également fréquemment les seuils réglementaires, notamment lors de la période estivale au cours de

laquelle les conditions sont les plus propices à sa formation. Le nombre de jours avec au moins un dépassement sur l'année de l'objectif de qualité pour la protection de la santé humaine de l'ozone est ainsi en moyenne de 42,25 pour la période 1999-2000 et de 43,13 pour la période 1999-2002. Un nombre très faible de jours de dépassement intervient en dehors de la période estivale (en moyenne 0,25 pour la période 1999-2000 et 0,5 pour la période 1999-2002).

3.3.1.3 Stations de mesure et polluants retenus

Au final, les stations de mesure étant bien corrélées entre elles par polluants, on retiendra pour l'analyse des données les trois stations de mesure Chaptal, Cévennes et Prés d'Arènes. De plus, l'étude concernera les 3 polluants que sont l'ozone, le dioxyde d'azote et les particules de diamètre inférieur à 10 µm et se décomposera en deux parties, avec :

- l'étude de la mortalité, du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2000 ;
- l'étude de la morbidité hospitalière, du 1^{er} janvier 1999 au 31 décembre 2002, sans le dioxyde de soufre.

3.3.2 Indicateurs d'exposition sanitaires

3.3.2.1 Mortalité

L'Observatoire régional de la santé (ORS) du Languedoc-Roussillon est destinataire des données de mortalité du CépiDc de l'Inserm. Il a pu les communiquer, pour la zone étudiée, à la Cire pour les années 1999 et 2000, le délai de mise à disposition de ces données étant actuellement de quatre ans. Le CépiDC code les certificats de décès (établis par le médecin constatant la mort) selon la classification internationale des maladies (CIM) établie par l'Organisation mondiale de la santé.

Dans le cadre de l'évaluation de l'impact sanitaire, les codes CIM à prendre en compte sont présentés dans le tableau 12, un changement de classification étant intervenu entre 1999 et 2000.

Tableau 12. 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 cardiovasculaire	390 - 459	I00 - I99
Mortalité respiratoire	460 - 519	J00 - J99

Source : ORS, 2004

*mortalité totale hors morts violentes et accidentelles

Le nombre de décès moyens journaliers pour les années 1999 et 2000 pour les effets sanitaires à court terme, ainsi que le nombre moyen annuel, pour les effets à long terme, ont été calculés à partir de ces données. Les résultats figurent dans le tableau 13. Ils sont présentés en distinguant les deux saisons tropiques (hiver : 1^{er} octobre au 31 mars, été : 1^{er} avril au 30 septembre).

Tableau 13. Nombre de décès dans la zone d'étude (et moyenne journalière) pour la période d'étude 1999-2000

Mortalité	période 1999-2000			par an			par jour		
	hiver	été	total	hiver	été	total	hiver	été	total
Toutes causes*	1 834	1 715	3 549	917	858	1 775	5,0	4,7	4,9
Cardiovasculaire	618	556	1 174	309	278	587	1,7	1,5	1,6
Respiratoire	178	124	302	89	62	151	0,5	0,3	0,4

* toutes causes hors accidentelles et morts violentes Source : InVS, ORS, CépiDC-Inserm, 2004

3.3.2.2 Admissions hospitalières

Les données d'activité hospitalière sont extraites du PMSI. Les résumés de sortie anonymes (RSA) ont été obtenus auprès de la Drass Languedoc-Roussillon pour les communes de la zone d'étude. Les informations contenues dans les 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 données du PMSI s'appuient sur les codes postaux des communes. Or, certaines des 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 seront 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 (annexe 4). Le cas particulier de la commune de Teyran est à signaler : cette commune possède deux codes postaux, 34 820 et 34 830, et seul le second est commun avec des communes de la zone d'étude (Clapiers et Jacou). Le nombre d'habitants de Teyran a donc été arbitrairement divisé par deux avant application du facteur multiplicatif.

Les codes CIM des diagnostics principaux retenus pour construire les indicateurs de morbidité hospitalière sont détaillés dans le tableau 14. Il s'agit de la dixième version de la classification de l'OMS (CIM 10).

Tableau 14. Codes utilisés pour la sélection des indicateurs d'admission hospitalière

Indicateur de morbidité hospitalière	code CIM 10
Cause respiratoire	J00 - J99
Cause cardiovasculaire	I00 - I99
Cause cardiaque	I00 - I52

Les établissements sanitaires sont sélectionnés dans la zone d'étude lorsqu'ils gèrent des services de soins de court séjour pour affections respiratoires, cardiovasculaires et cardiaques (à Montpellier : centre hospitalier universitaire, polycliniques Saint-Jean et Saint-Roch, cliniques Beau soleil, Clémentville et Lavalette ; à Castelnau-le-Lez : clinique du Parc). Les nombres de RSA contenant un diagnostic principal (DP) respiratoire, cardiovasculaire ou cardiaque pour les patients résidant dans les onze communes de la zone d'étude et hospitalisés pendant plus de 24 heures en provenance de leur domicile, ont été comptabilisés pour la période 1999-2002 (annexe 5). Il convient de préciser que seul le mois de sortie est disponible dans le RSA.

4. Résultats

Les calculs des nombres de cas attribuables à la pollution atmosphérique dans la zone d'étude sont effectués uniquement pour les indicateurs sanitaires pour lesquels on dispose d'une relation exposition risque. L'ozone n'a été étudié que pendant la période estivale. Les indicateurs sanitaires ayant donné lieu à des calculs de cas attribuables sont rappelés par polluant, dans le tableau 15.

Tableau 15. Récapitulatif des indicateurs sanitaires étudiés par polluants

Indicateur sanitaire	O ₃	NO ₂	PM ₁₀
Impact à long terme			
Mortalité totale (1999-2000)			X
Impacts à court terme			
Mortalité totale (1999-2000)	X	X	X
Mortalité cardiovasculaire (1999-2000)	X	X	
Mortalité respiratoire (1999-2000)	X	X	
Morbidité respiratoire 15-64 ans (1999-2002)	X	X	
Morbidité respiratoire 65 ans et + (1999-2002)	X	X	X
Morbidité cardiaque tous âges (1999-2002)			X
Morbidité cardiaque 65 ans et + (1999-2002)			X
Morbidité cardiovasculaire hiver (1999-2002)		X	
Morbidité cardiovasculaire été (1999-2002)		X	

Dans le cadre de l'évaluation d'impact sanitaire, on considère que l'ensemble de la population d'étude est exposé en moyenne aux mêmes niveaux de pollution. Le niveau de base de la pollution atmosphérique à l'échelle d'une agglomération ne pouvant raisonnablement être nul, on définit un niveau de pollution de référence théorique très faible correspondant au 5^{ème} percentile de la distribution des indicateurs environnementaux (soit 5 % des jours les moins pollués). Des objectifs minimaux de pollution à atteindre sont alors fixés selon plusieurs scénarios d'exposition. Le nombre d'événements sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique est ainsi calculé pour un différentiel de pollution à partir du niveau de référence théorique. Suivant ces principes, le nombre de cas attribuables à chacun des indicateurs environnementaux est calculé selon la formule suivante :

$$NA = \frac{RR_{\Delta} - 1}{RR_{\Delta}} \times N$$

Avec, NA : nombre de cas attribuables pour la période d'étude

RR_Δ = excès de risque associé au différentiel de pollution Δ étudié, donné par la relation exposition risque

N : nombre moyen d'événements sanitaires au cours de la période d'étude

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

Les niveaux de référence choisis pour les indicateurs environnementaux étudiés (O₃, NO₂, PM₁₀) sont représentés par le 5ème percentile des distributions, soit, par polluant :

- O₃ = 47 µg/m³,
- NO₂ = 11 µg/m³,
- PM₁₀ = 8 µg/m³.

Dans la mesure où les indicateurs de pollution sont interdépendants et liés aux autres constituants de la soupe atmosphérique, il n'est pas pertinent de cumuler le nombre de cas attribuables à chacun des indicateurs environnementaux. L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine est de ce fait estimé comme étant, au minimum, égal au plus grand nombre de cas attribuables à l'un des polluants étudiés avec la limite déjà évoquée que des relations exposition risque ne sont pas définies pour tous les indicateurs sanitaires et tous les polluants. Le nombre de cas attribuables à la pollution atmosphérique observés dans la zone d'étude est présenté selon cette logique pour chaque indicateur sanitaire dans le tableau 16.

Tableau 16. Nombre de cas annuels les plus élevés attribuables à l'un des polluants

Indicateur sanitaire	Polluants concernés	Polluant déclencheur	Nombre de cas/an	IC 95 %*
Mortalité totale	O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀	NO ₂	34	23,65 – 44,15
Mortalité cardiovasculaire	O ₃ , NO ₂ ,	NO ₂	13	5,49 – 19,97
Mortalité respiratoire	O ₃ , NO ₂ ,	NO ₂	4	1,37 – 5,83
Morbidité respiratoire 15-64 ans	O ₃ , NO ₂	O ₃	4	-2,03 – 10,32
Morbidité respiratoire 65 ans et +	O ₃ , NO ₂ , PM ₁₀	PM ₁₀	9	5,69 – 12,39
Morbidité cardiaque tous âges	PM ₁₀	PM ₁₀	15	6,01 – 24,12
Morbidité cardiaque 65 ans et +	PM ₁₀	PM ₁₀	14	8,26 – 20,72
Morbidité cardiovasculaire hiver	NO ₂	NO ₂	50	30,00 – 70,61
Morbidité cardiovasculaire été	NO ₂	NO ₂	29	19,94 – 41,36

*IC 95 % : intervalle de confiance à 95 %

Il convient de noter que le résultat relatif à la morbidité respiratoire chez les 15-64 ans n'est pas significatif.

L'impact sanitaire de la pollution atmosphérique, rapporté au nombre de cas totaux observables dans la zone d'étude est présenté dans le tableau 17.

Tableau 17. Impact sanitaire de la pollution atmosphérique dans la zone d'étude

Indicateur sanitaire	Cas/an	IC 95 %*	Ratio cas dus à la pollution atmosphérique/cas totaux
Mortalité totale	34	23,65 – 44,15	1,9 %
Mortalité cardiovasculaire	13	5,49 – 19,97	2,3 %
Mortalité respiratoire	4	1,37 – 5,83	2,4 %
Morbidité respiratoire 15-64 ans	4	-2,03 – 10,32	0,5 %
Morbidité respiratoire 65 ans et +	9	5,69 – 12,39	1,3 %
Morbidité cardiaque tous âges	15	6,01 – 24,12	0,7 %
Morbidité cardiaque 65 ans et +	14	8,26 – 20,72	1,0 %
Morbidité cardiovasculaire hiver	50	30,00 – 70,61	2,5 %
Morbidité cardiovasculaire été	29	19,94 – 41,36	1,7 %

*IC 95 % : intervalle de confiance à 95 %

La pollution atmosphérique est directement responsable annuellement, dans la zone d'étude, de 34 décès (avec 13 décès pour les seuls motifs cardiovasculaires et 4 décès pour les seuls motifs respiratoires). De plus, elle provoque 79 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire, 15 pour motif cardiaque, 9 pour motif respiratoire chez les plus de 65 ans et 4 chez les 15-64 ans. Les personnes âgées de plus de 65 ans sont proportionnellement les plus touchées sur le plan de la morbidité cardiaque et respiratoire. De plus, la morbidité cardiovasculaire est plus importante en hiver qu'en été (50 admissions hospitalières en hiver vs 29 en été). Tous ces événements seraient théoriquement évités si les niveaux de pollution étaient de l'ordre de ceux atteints lors des 5 % jours les moins pollués (situation de pollution très faible selon l'hypothèse de départ).

4.2 Gains sanitaires attendus par une réduction de la pollution

4.2.1 Impact de la pollution à court terme

Les gains sanitaires sont calculés non plus en référence à une situation de pollution très faible mais en prenant en compte les scénarios d'exposition suivants :

- scénario n°1 : écrêtage des niveaux dépassant les valeurs réglementaires en vigueur pour chaque polluant. Ce scénario permet de quantifier l'impact sanitaire des pics de pollution et de leur suppression. Les objectifs de qualité par polluant sont les suivants (décrets n°98-360 du 6 mai 1998 et n°2002-213 du 15 février 2002) :

$$O_3 = 110 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{NO}_2 = 40 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{SO}_2 = 50 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

$$\text{PM}_{10} = 30 \mu\text{g}/\text{m}^3$$

- scénario n°2 : diminution de 25 % de la moyenne annuelle observée pour chaque polluant. Cette hypothèse permet de quantifier le gain sanitaire imputable à une politique globale de réduction de la pollution atmosphérique.

Les gains sanitaires liés à une réduction de la pollution sont présentés selon ces deux scénarios dans le tableau 18. Les pourcentages de gains sanitaires sont indiqués pour chacun des résultats.

Tableau 18. Gains sanitaires attendus d'une réduction de la pollution atmosphérique en nombre de cas/an (et en pourcentage)

Indicateur sanitaire	cas/an	scénario n°1	scénario n°2
Mortalité totale	34 [23,65 – 44,15]	3,2 [2,2 – 4,17]	13,1 [9,2 – 17,00]
Mortalité cardiovasculaire	13 [5,49 – 19,97]	1,3 [0,52 – 1,89]	5,1 [2,1 – 7,65]
Mortalité respiratoire	4 [1,37 – 5,83]	0,3 [0,13 – 0,55]	1,4 [0,53 – 2,22]
Morbidité respiratoire 15-64 ans	4 [-2,03 – 10,32]	0,02 [-0,01 – 0,04]	2,8 [-1,40 – 7,03]
Morbidité respiratoire 65 ans et +	9 [5,69 – 12,39]	1 [0,65 – 1,41]	3 [2,15 – 4,65]
Morbidité cardiaque tous âges	15 [6,01 – 24,12]	1,7 [0,68 – 2,72]	5,7 [2,28 – 9,10]
Morbidité cardiaque 65 ans et +	14 [8,26 – 20,72]	1,6 [0,94 – 2,34]	5,5 [3,13 – 7,80]
Morbidité cardiovasculaire hiver	50 [30,00 – 70,61]	6,0 [3,60 – 8,43]	16,8 [10,05 – 23,44]
Morbidité cardiovasculaire été	29 [19,94 – 41,36]	0,3 [0,16 – 0,38]	11,5 [6,72 – 16,29]

Scénario n°1 : écrêtage des niveaux dépassant les valeurs réglementaires en vigueur pour chaque polluant / Scénario n°2 : diminution de 25 % de la moyenne annuelle observée pour chaque polluant.

Il convient de noter que, dans le cas de la morbidité respiratoire, les cas attribuables calculés chez les 15-64 ans ne sont pas significatifs et ne peuvent être comparés à ceux obtenus chez les plus de 65 ans. Le tableau 19 synthétise les pourcentages de gains sanitaires pour les deux scénarios.

Tableau 19. Synthèse des gains sanitaires attendus d'une réduction de la pollution en pourcentage

Indicateur sanitaire	Scénario n°1	Scénario n°2
Mortalité totale	9,4 %	38,6 %
Mortalité cardiovasculaire	9,5 %	38,5 %
Mortalité respiratoire	9,5 %	38,5 %
Morbidité respiratoire 15-64 ans	0,5 %	68,5 %
Morbidité respiratoire 65 ans et +	11,3 %	37,7 %
Morbidité cardiaque tous âges	11,3 %	37,8 %
Morbidité cardiaque 65 ans et +	11,3 %	37,8 %
Morbidité cardiovasculaire	8,0 %	35,8 %
Morbidité cardiovasculaire hiver	12,0 %	33,4 %
Morbidité cardiovasculaire été	0,9 %	39,5 %

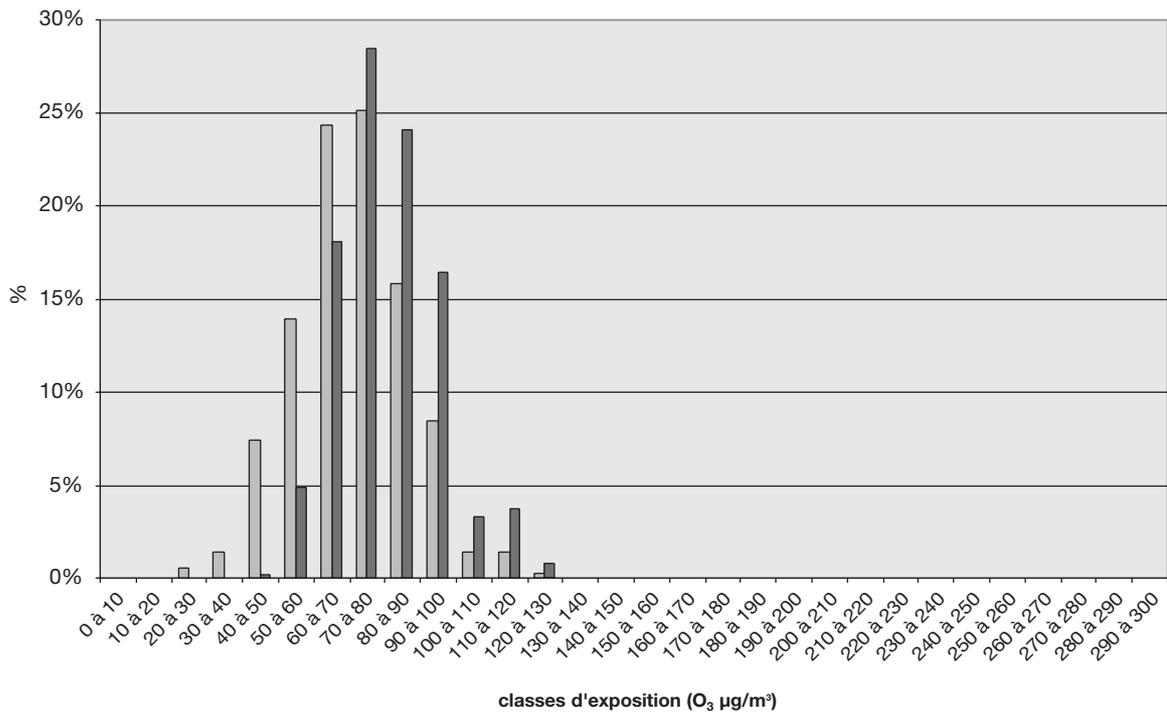
Scénario n°1 : écrêtage des niveaux dépassant les valeurs réglementaires en vigueur pour chaque polluant / Scénario n°2 : diminution de 25 % de la moyenne annuelle observée pour chaque polluant.

Le premier scénario concernant la suppression des pics de pollution (les valeurs de pollution dépassant les objectifs de qualité sont ramenées au niveau réglementaire) entraîne des gains sanitaires moindres que ceux apportés par le second scénario (diminution de 25 % de la pollution de fond). La diminution des niveaux moyens de la pollution permettrait ainsi d'éviter 13 décès, contre 3 par le seul écrêtage des pics. Les admissions hospitalières seraient également trois fois moins nombreuses. Une réduction de la pollution par la suppression des pics de pollution en hiver entraînerait plus de gains sanitaires qu'en été. Les pics de pollution sont en effet plus nombreux en hiver qu'en été pour le dioxyde d'azote.

L'écrêtage des pics de pollution, du fait de leur fréquence d'occurrence faible, n'aurait ainsi qu'un impact sanitaire relativement limité sur une année.

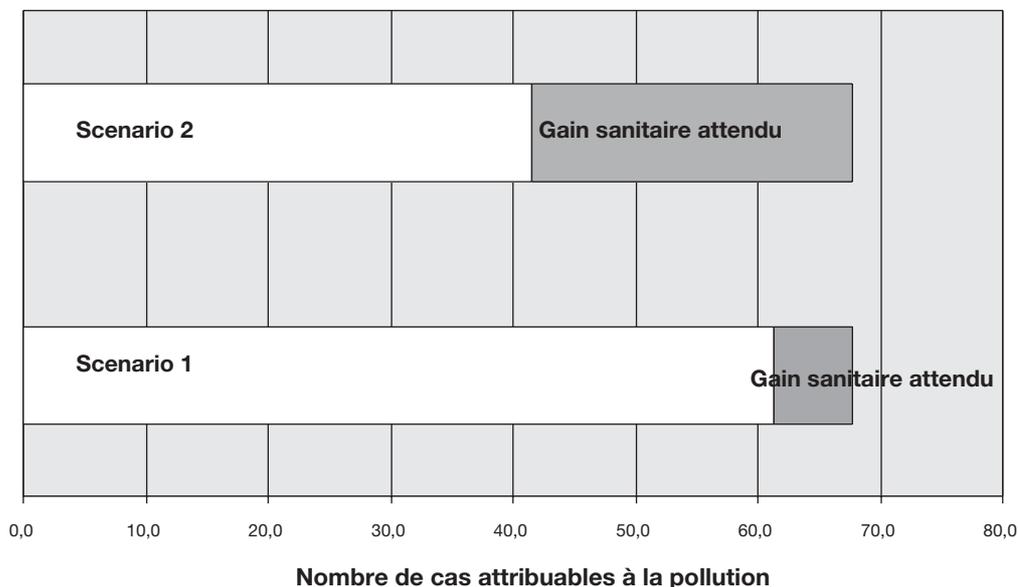
La figure 2 illustre la distribution des niveaux d'exposition par classe et les impacts sanitaires associés (mortalité totale) en prenant l'ozone pour exemple. Elle montre que les jours de forte pollution (concentration en ozone supérieure à 110 µg/m³) étant peu nombreux, les cas attribuables sont en proportion moins importants que dans le cas de la pollution de fond, même si leur impact sanitaire journalier est supérieur.

Figure 2. Distribution par classe des niveaux d'exposition journaliers d'ozone et de la mortalité totale



La figure 3 présente les gains sanitaires (mortalité totale pour NO₂) attendus d'une diminution de la pollution selon les deux scénarios : écrêtage des pics de pollution (scénario n°1) et diminution de la pollution moyenne de 25 % (scénario n°2).

Figure 3. Gains sanitaires relatifs à la mortalité totale théoriquement obtenus par les scénarios 1 et 2



L'application du scénario 1 permet un gain sanitaire d'environ 9 %, tandis que celle du deuxième scénario permet d'éviter 39 % des décès.

4.2.2 Impact de la pollution à long terme

Les données de mortalité totale obtenues pour les PM₁₀ peuvent être utilisées pour estimer l'impact à long terme de la pollution atmosphérique, selon trois scénarios d'exposition :

- scénario n°1 : diminution de la moyenne annuelle au niveau de la norme européenne de 2010 (20 µg/m³) ;
- scénario n°2 : diminution de la moyenne annuelle de 5 µg/m³ ;
- scénario n°3 : diminution de la moyenne annuelle de 25 %.

Les gains sanitaires associés à ces trois scénarios sont présentés dans le tableau 20.

Tableau 20. Gains sanitaires (mortalité totale) attendus d'une diminution de la pollution atmosphérique selon les trois scénarios (rapportés aux cas observables dans la zone d'étude)

Scénario	Gains sanitaires	IC95 %
N°1 : diminution de la moyenne à 20 µg/m ³	20	12,23 – 28,34
N°2 : diminution de la moyenne de 5 µg/m ³	37	22,43 – 52,19
N°3 : diminution de la moyenne de 25 %	40	24,23 – 54,44

Les gains sanitaires à long terme sont plus importants lorsque l'on réduit les niveaux moyens de pollution de 25 % (scénario n°3 : 40 décès évités) ou de 5 µg/m³ (scénario n°2 : 37 décès évités) plutôt qu'avec une diminution annuelle des niveaux au niveau de la norme européenne de 2010 (contre scénario n°1 : 20 décès). La moyenne annuelle des niveaux de PM₁₀ étant de 23 µg/m³, le scénario n°2 implique un niveau moyen de pollution de 18 µg/m³, lequel, bien que très proche de la future norme européenne (20 µg/m³), procure des bénéfices sanitaires supérieurs (37 décès évités vs 20).

Le calcul des cas attribuables à la pollution atmosphérique à long terme est soumis à des incertitudes dépendant de l'évolution démographique de la population de la zone d'étude (causes de mortalité, espérance de vie moyenne, etc.) ainsi que de l'évolution de la pollution atmosphérique.

5. Discussion et recommandations

5.1 Synthèse des résultats

L'évaluation d'impact de la pollution atmosphérique a été réalisée pour onze communes appartenant à l'unité urbaine de Montpellier (Castelnau-le-Lez, Clapiers, Le Crès, Grabels, Jacou, Juvignac, Montferrier-sur-Lez, Montpellier, Saint-Clément-de-Rivière, Saint-Jean-de-Védas, Vendargues). Elle se fonde sur l'analyse des données de mortalité sur deux années (1999 et 2000) et des admissions hospitalières sur quatre années (1999 à 2002). La population étudiée est composée de 288 059 habitants. Les indicateurs de la pollution atmosphérique analysés sont l'ozone, le dioxyde d'azote, le dioxyde de soufre et les particules de diamètre inférieur à 10 μm .

5.1.1 Impacts sanitaires à court terme

La pollution atmosphérique est directement responsable annuellement, dans la zone d'étude, de 34 décès anticipés, dont 13 pour motif cardiovasculaire et 4 pour motif respiratoire. En termes de morbidité, elle provoque chaque année 79 admissions hospitalières pour motif cardiovasculaire, 15 pour motif cardiaque, 9 pour motif respiratoire chez les plus de 65 ans et 4 chez les 15-64 ans. Les personnes âgées de plus de 65 ans sont proportionnellement les plus touchées sur le plan de la morbidité. De plus, la morbidité cardiovasculaire est plus importante en hiver qu'en été (50 admissions hospitalières en hiver vs 29 en été). Ces événements seraient théoriquement évités si les niveaux de pollution étaient de l'ordre de ceux atteints lors des 5 % jours les moins pollués (situation de pollution très faible selon l'hypothèse de départ).

Les gains sanitaires liés à une réduction de la pollution ont été calculés selon deux scénarios. Le premier scénario concernant la suppression des pics de pollution (les valeurs de pollution dépassant les objectifs de qualité sont ramenées au niveau réglementaire) entraîne des gains sanitaires moindres que ceux apportés par le second scénario (diminution de 25 % de la pollution de fond). On éviterait ainsi 3 décès avec le premier scénario contre 13 avec le second. De même, l'application du second scénario permettrait d'éviter trois fois plus d'admissions hospitalières que celle du premier scénario : 3 admissions hospitalières pour motif respiratoire chez les plus de 65 ans (contre 1 avec le 1^{er} scénario), 6 pour motif cardiaque (contre 2 avec le 1^{er} scénario) et 18 pour motif cardiovasculaire (contre 6 avec le 1^{er} scénario). L'application du second scénario éviterait de plus 3 admissions hospitalières pour motif respiratoire chez les 15-64 ans (contre 0 avec le 1^{er} scénario).

L'écrtage des pics de pollution, du fait de leur fréquence d'occurrence faible, n'aurait ainsi qu'un impact sanitaire relativement limité sur une année.

5.1.2 Impacts sanitaires à long terme

Les données de mortalité totale obtenues pour les particules (PM_{10}) peuvent être utilisées pour estimer l'impact à long terme de la pollution atmosphérique, selon trois scénarios d'exposition :

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

Les gains sanitaires à long terme sont plus importants lorsque l'on réduit les niveaux moyens de pollution de 25 % (40 décès évités) ou de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ (37 décès évités) plutôt qu'avec une diminution annuelle des niveaux au niveau de la norme européenne de 2010 (20 décès). La moyenne annuelle des niveaux de PM_{10} étant de 23 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, le scénario n°2 implique un niveau moyen de pollution de 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, lequel, bien que très proche de la future norme européenne (20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$), procure des bénéfices sanitaires supérieurs (37 décès évités vs 20).

5.2 Hypothèses, limites et incertitudes

La démarche d'évaluation des risques a été retenue selon la méthodologie de l'InVS pour réaliser l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique à Montpellier et les dix autres communes de son unité urbaine. Les hypothèses et incertitudes inhérentes à la démarche sont rappelées, en déroulant ses quatre étapes, pour permettre l'interprétation des résultats obtenus dans les meilleures conditions.

5.2.1 Identification des dangers

L'évaluation d'impact sanitaire à court terme a permis de calculer un nombre annuel de décès anticipés liés à un différentiel entre la pollution atmosphérique de fond relevée à Montpellier et une situation théorique de pollution très faible (5^{ème} percentile des valeurs observées). Les résultats obtenus ne représentent donc pas, dans l'absolu, un excès de mortalité mais plutôt une estimation du nombre de personnes dont l'espérance de vie a diminué d'une certaine durée en une année. Cette anticipation de décès peut être interprétée comme le délai au cours duquel la frange de la population la plus sensible à la pollution aurait évolué vers le décès en l'absence d'exposition à la pollution atmosphérique. Pour la mortalité cardiovasculaire, elle est actuellement estimée au minimum à plusieurs mois.

Pour ce qui concerne le calcul des décès attribuables à la pollution atmosphérique à long terme, l'évolution de la structure démographique de la population de la zone d'étude et des niveaux de pollution atmosphérique sont sources d'incertitudes.

En matière de morbidité respiratoire, cardiaque et cardiovasculaire, les seuls effets pris en compte sont ceux ayant donné lieu à une hospitalisation, ce qui correspond vraisemblablement aux cas les plus graves et conduit à une sous-estimation de l'impact sanitaire global.

5.2.2 Relations exposition risque

Les relations exposition risque utilisées dans le cadre de l'évaluation d'impact sanitaire à court terme de la pollution atmosphérique ont été établies à partir d'études épidémiologiques réalisées pour des niveaux d'exposition ambiants rencontrés habituellement en zone urbaine. De plus, l'usage d'estimateurs de risque établis aux niveaux européen et français a été favorisé. Leur cohérence, dans plusieurs villes d'Europe sur la mortalité et les admissions hospitalières pour motif respiratoire et en France sur la mortalité, a été mise en évidence quelles que soient les caractéristiques locales. Aussi, même si les relations exposition risque n'ont pas été produites spécifiquement pour Montpellier et ses environs mais extrapolées à partir des données existantes, l'incertitude induite par cette extrapolation reste limitée.

En revanche, les fonctions exposition risque utilisées dans l'évaluation de l'impact à long terme ont été établies dans des populations américaines potentiellement différentes en matière de causes de mortalité et d'exposition. L'incertitude résultant de l'extrapolation des données américaines est donc plus importante que pour les risques calculés à court terme.

5.2.3 Estimation de l'exposition

L'hypothèse de base dans l'évaluation de l'impact sanitaire repose sur un niveau d'exposition moyen homogène pour l'ensemble de la population de la zone d'étude. De ce fait, les expositions individuelles, potentiellement variables a priori, ne sont pas prises en compte. Dans la mesure où les budgets espace temps individuels ne sont pas disponibles, les individus sont supposés demeurer toute la journée et toute l'année dans la zone étudiée. L'impact sanitaire est en conséquence sous ou surestimé, selon que les individus se déplacent en dehors de la zone d'étude dans des lieux plus ou moins exposés à la pollution atmosphérique. De la même manière, des personnes ne résidant pas dans la zone peuvent y séjourner dans la journée (par exemple pour y travailler). Dans ce cas, le risque sanitaire calculé est sous-estimé puisque ces personnes ne sont pas comptabilisées dans les statistiques de mortalité et d'admissions hospitalières (fondées sur le lieu de résidence dans la zone d'étude) alors même qu'elles sont soumises aux conditions de pollution atmosphériques spécifiques de la zone.

D'autre part, les données de pollution quotidiennement enregistrées par les stations de mesure sont dépendantes de la localisation géographique de celles-ci. Cependant, seuls les résultats des trois stations de fond, qui ont pour objectif la surveillance du niveau d'exposition moyen de la population résidente de la zone urbaine, ont été analysés. De plus, la bonne corrélation entre les stations a été le critère de leur recrutement pour l'étude, ce qui limite les incertitudes liées à un caractère éventuellement

hétérogène de l'exposition dans la zone. Il aurait sans nul doute été préférable d'inclure les concentrations en ozone fournies par les deux stations périurbaines de la zone d'étude, mieux représentatives de la pollution photochimique. Malheureusement, les plages de temps sur lesquelles les mesures étaient disponibles n'étaient pas compatibles avec la période d'étude, leur mise en fonctionnement ayant été plus tardive. Les résultats n'ont ainsi pu être intégrés dans l'étude, alors qu'ils étaient en théorie plus élevés, et les concentrations en ozone – et donc leur impact sanitaire – prises en compte dans l'étude ont ainsi été sous-évaluées.

5.2.4 Caractérisation du risque

Les relations exposition risque sont établies par polluant. Elles ne sont pas forcément disponibles pour chacun des polluants étudiés. Les impacts sanitaires estimés pour chaque indicateur de pollution ne sont pas cumulables puisque la pollution atmosphérique résulte d'un ensemble interactif de polluants non individualisables. Les polluants doivent bien être considérés comme indicateurs du mélange complexe composant l'atmosphère urbaine. Le calcul du nombre de cas attribuables représente en conséquence une estimation du risque lié à la pollution atmosphérique urbaine réalisée à partir des indicateurs environnementaux. La réduction des niveaux d'un seul des polluants étudiés peut donc induire une diminution de l'impact sanitaire global directement quantifiable.

L'utilisation de catégories de diagnostic très larges (mortalité toute cause, sauf accidentelles, cardiovasculaire et respiratoire, morbidité respiratoire, cardiovasculaire et cardiaque) limite les erreurs de codage qui sont susceptibles d'exister dans le PMSI. De même, l'erreur liée à la prise en compte des mois de sortie de l'hôpital, seuls disponibles dans le PMSI, et non d'entrée, est compensée par le nombre d'événements sanitaires retenus sur les quatre années étudiées. Cependant, les urgences ne sont pas comptabilisées dans le PMSI, ce qui conduit à une sous-estimation de l'impact de la pollution atmosphérique.

5.3 Conclusions

Compte tenu des limites évoquées ci-dessus, les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique représentent des ordres de grandeur. Ils ont été obtenus sur la base de l'état actuel des connaissances disponibles.

Chaque année, la pollution atmosphérique est directement responsable, dans l'unité urbaine de Montpellier, de 34 décès, de 79 admissions hospitalières pour motif cardio-vasculaire, 15 pour motif cardiaque et 13 pour motif respiratoire chez les plus de 15 ans. Les personnes âgées de plus de 65 ans sont proportionnellement les plus touchées sur le plan de la morbidité cardiaque. De plus, la morbidité cardiovasculaire est plus importante en hiver qu'en été (50 admissions hospitalières en hiver vs 29 en été), ce qui s'explique par le fait qu'elle n'est mesurée que sur les seules concentrations en dioxyde d'azote, lesquelles sont plus élevées en hiver qu'en été.

La suppression des pics de pollution, du fait de leur fréquence d'apparition faible, aurait un impact sanitaire plus limité que la diminution de 25 % des niveaux moyens de pollution sur une année pour les effets à court terme de la pollution atmosphérique comme pour les effets à long terme. Les décès évités par une réduction de la pollution atmosphérique seraient de 3 par la suppression des pics et de 13 par la diminution des niveaux moyens de 25 %. Pour ce qui concerne la morbidité, trois fois plus d'événements sanitaires pourraient être évités avec cette diminution des niveaux de pollution. Les gains sanitaires apportés par la suppression des pics seraient ainsi d'une admission hospitalière pour motif respiratoire (chez les plus de 65 ans), 2 pour motif cardiaque et 6 pour motif cardiovasculaire. La diminution de 25 % des niveaux moyens de pollution sur une année permettrait également d'éviter 3 admissions hospitalières pour motif respiratoire (chez les plus de 65 ans), 6 pour motif cardiaque et 18 pour motif cardiovasculaire. De plus, 3 admissions hospitalières pour motif respiratoire chez les 15-64 ans seraient également évitées.

De la même façon, les gains sanitaires à long terme sont plus importants lorsque l'on réduit les niveaux moyens de pollution de 25 % (40 décès évités) ou de 5 µg/m³ (37 décès évités) plutôt qu'avec une diminution annuelle des niveaux au niveau de la norme européenne de 2010 (20 décès évités).

L'impact de la pollution atmosphérique sur la santé, même à de faibles niveaux d'exposition, a déjà été démontré par ailleurs. L'objet de la présente étude ne répond donc pas à cet objectif mais à celui de quantifier sur le plan local cet impact et de permettre aux décideurs de fonder leur politique de réduction de la pollution sur des arguments sanitaires acquis localement.

En tout état de cause, une politique de diminution de la pollution atmosphérique visant à éviter seulement les dépassements des valeurs réglementaires n'aurait pas les bénéfices escomptés sur le plan de la santé publique. Une plus grande efficacité sera obtenue en réduisant à la source, de manière quotidienne et globale, les émissions de polluant. La pollution atmosphérique dans l'unité urbaine de Montpellier étant essentiellement due au trafic routier, ce sont les émissions liées aux transports par la route qu'il conviendrait de réduire.

Au final, les décideurs locaux, les acteurs de santé et le public doivent s'approprier la notion de pollution atmosphérique comme facteur de risque à prendre en compte dans son ensemble. Même si les risques sanitaires individuels restent à priori faibles, l'importance de la population exposée et son caractère chronique doivent faire considérer la pollution atmosphérique urbaine comme un problème de santé publique permanent, au-delà de l'attention portée ponctuellement aux pics de pollution.

Bibliographie

Air LR. Agglomération de Montpellier. Bilan 2002 de la qualité de l'air.

Air LR. Inventaire d'émissions dans l'atmosphère de substances polluantes de la zone PPA de Montpellier. Année 2000. Juillet 2004.

Burgeap. Montpellier (34). Rédaction du plan de protection de l'atmosphère. rapport provisoire au 12/12/02.

Insee. Recensement général de la population. 1999.

Institut de veille sanitaire. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Guide méthodologique. Juillet 1999.

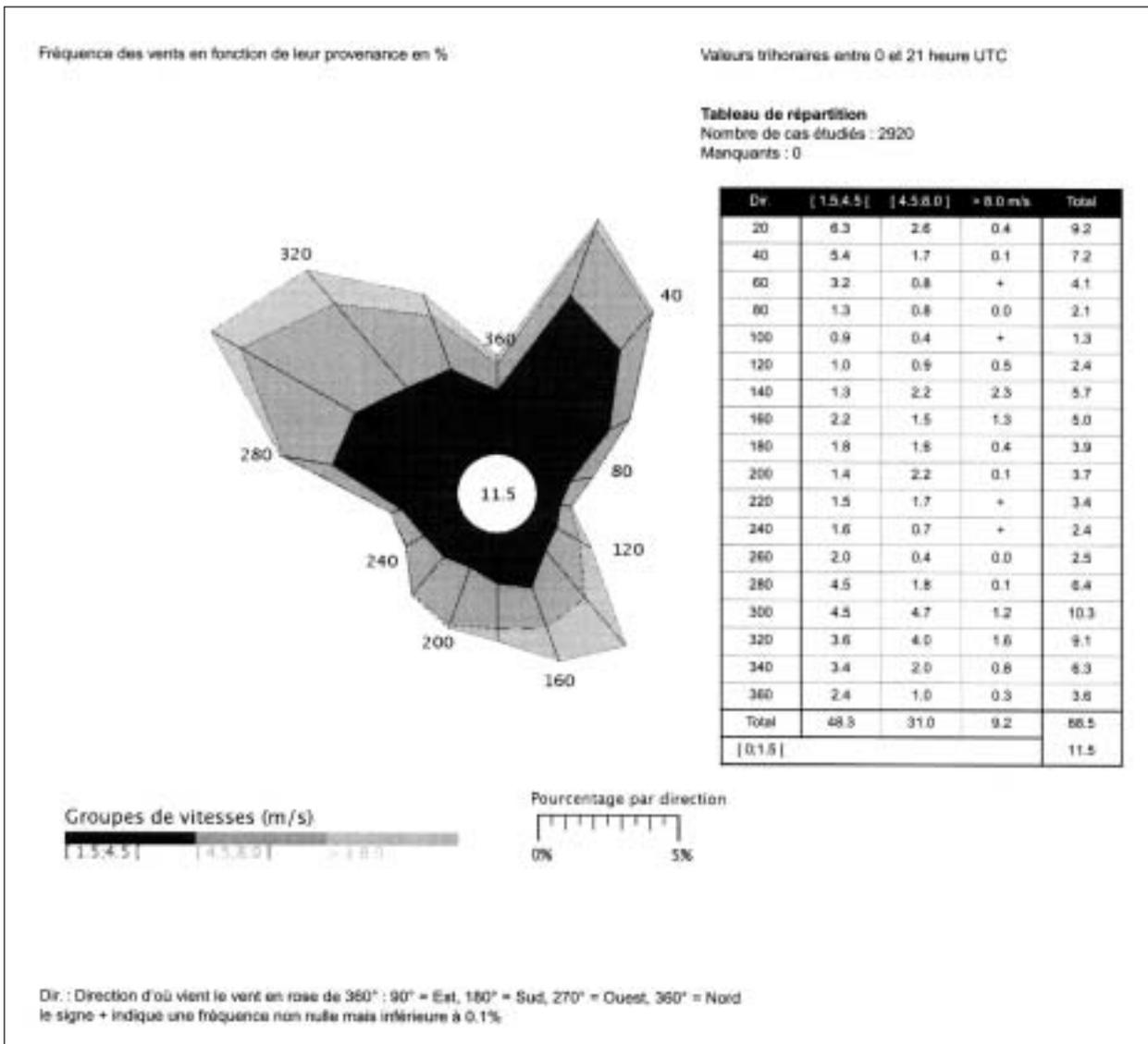
Institut de veille sanitaire. Evaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique urbaine. Actualisation du guide méthodologique. Mars 2003.

Institut de veille sanitaire. Surveillance des effets sur la santé liés à la pollution atmosphérique en milieu urbain. Mars 1999.

Annexes

Annexe 1

Rose des vents de Montpellier (station de Fréjorgues, année 2001). Source Météo France



Annexe 2

Migrations alternantes domicile travail dans la zone d'étude

commune	population	nombre d'actifs	% population travaillant dans la zone d'étude	% population travaillant hors zone d'étude
Castelnau-le-lez	14 208	5 273	83,1 %	16,9 %
Clapiers	4 627	1 877	86,7 %	13,3 %
Le Crès	6 799	2 523	81,5 %	18,5 %
Grabels	5 438	2 315	82,9 %	17,1 %
Jacou	4 752	2 080	84,6 %	15,4 %
Juvignac	5 587	2 245	84,5 %	15,5 %
Montferrier-sur-Lez	3 295	1 290	84,7 %	15,3 %
Montpellier	225 511	72 771	83,9 %	16,1 %
Saint-Clément-de-Rivière	4 579	1 766	80,7 %	19,3 %
Saint-Jean-de-Védas	8 041	3 176	81,2 %	18,8 %
Vendargues	5 222	2 120	75,7 %	24,3 %
Total	287 981	97 436	83,6 %	16,4 %

Source : Centre d'étude technique de l'équipement de l'Hérault, 1999

Annexe 3

Statistiques descriptives des indicateurs d'exposition

Distribution des indicateurs d'exposition sur la période d'étude 1999-2000 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

saison	O ₃	NO ₂		PM ₁₀			
	été	année	été	hiver	année	été	hiver
nombre	366	731	366	365	724	364	360
minimum	29	6	6	10	2	4	2
percentile 5	46	12	11	15	8	9	7
percentile 25	62	22	19	24	14	15	13
médiane	72	28	25	33	22	21	22
percentile 75	81	37	31	44	29	28	32
percentile 95	97	52	40	58	41	35	45
maximum	120	74	51	74	93	54	93
moyenne journalière	71	30	25	35	23	22	24
écart type	15,8	12,2	8,8	13,4	11,0	8,5	12,9
% valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %	0 %	1 %	1 %	1 %

Source : Air LR

Distribution des indicateurs d'exposition sur la période d'étude 1999-2002 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

saison	O ₃	NO ₂		PM ₁₀			
	été	année	été	hiver	année	été	hiver
nombre	731	1 460	731	729	1 431	721	710
minimum	29	2	2	7	2	4	2
percentile 5	47	11	9	15	8	9	7
percentile 25	63	20	16	24	14	14	13
médiane	73	27	23	33	21	21	21
percentile 75	83	36	30	43	29	27	31
percentile 95	99	51	38	56	40	35	43
maximum	126	75	51	75	93	54	93
moyenne journalière	73	29	23	34	22	21	23
écart type	15,9	12,4	9,2	12,8	10,5	8,5	12,1
% valeurs manquantes	0 %	0 %	0 %	0 %	2 %	2 %	2 %

Source : Air LR

Distribution par gammes de concentration des indicateurs d'exposition

Distribution des indicateurs d'exposition par classes de concentrations sur la période d'étude 1999-2000 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

classe d'exposition saison	O ₃	NO ₂		PM ₁₀			
	été	année	été	hiver	année	été	hiver
[0 à 10]	0	14	13	1	61	22	39
]10 à 20]	0	135	84	51	246	126	120
]20 à 30]	2	252	157	95	248	157	91
]30 à 40]	5	187	94	93	121	48	73
]40 à 50]	27	94	17	77	38	9	29
]50 à 60]	51	34	1	33	5	2	3
]60 à 70]	89	12	0	12	2	0	2
]70 à 80]	92	3	0	3	2	0	2
]80 à 90]	58	0	0	0	0	0	0
]90 à 100]	31	0	0	0	1	0	1
]100 à 110]	5	0	0	0	0	0	0
]110 à 120]	5	0	0	0	0	0	0
]120 à 130]	1	0	0	0	0	0	0
>130	0	0	0	0	0	0	0

Source : Air LR

Distribution des indicateurs d'exposition par classes de concentrations sur la période d'étude 1999-2002 (en $\mu\text{g}/\text{m}^3$)

classe d'exposition saison	O ₃	NO ₂		PM ₁₀			
	été	année	été	hiver	année	été	hiver
[0 à 10]	0	58	55	3	145	61	84
]10 à 20]	0	311	208	103	500	265	235
]20 à 30]	2	469	282	187	478	287	191
]30 à 40]	10	371	162	209	226	91	135
]40 à 50]	40	163	22	141	68	15	53
]50 à 60]	95	65	2	63	8	2	6
]60 à 70]	173	18	0	18	2	0	2
]70 à 80]	191	5	0	5	3	0	3
]80 à 90]	112	0	0	0	0	0	0
]90 à 100]	72	0	0	0	1	0	1
]100 à 110]	20	0	0	0	0	0	0
]110 à 120]	13	0	0	0	0	0	0
]120 à 130]	3	0	0	0	0	0	0
>130	0	0	0	0	0	0	0

Source : Air LR

Annexe 4

Proportion d'habitants par commune et par code postal - Facteur multiplicatif appliqué aux indicateurs du PMSI (* commune en dehors de la zone d'étude)

code postal	commune	nombre d'habitants	pourcentage	facteur multiplicatif
34 170	Castelnau-le-Lez	14 208	100 %	1
34 830	Clapiers	4 627	40,3 %	0,40
	Jacou	4 752	41,3 %	0,41
	Teyran* (+34 820)	4 236 (2 118)	18,4 %	sans objet
34 920	Le Crès	6 799	100 %	1
34 790	Grabels	5 438	100 %	1
34 990	Juvignac	5 587	100 %	1
34 980	Montferrier-sur-Lez	3 295	19,4 %	0,19
	Saint-Clément-de-Rivière	4 579	26,9 %	0,27
	Combaillaux*	1 285	7,5 %	sans objet
	Murles*	233	1,4 %	sans objet
	Saint-Gely-du-Fesc*	7 629	44,8 %	sans objet
34 000	Montpellier	225 511	100 %	1
34 430	Saint-Jean-de-Védas	8 041	100 %	1
34 740	Vendargues	5 222	100 %	1

Annexe 5

Nombres moyens annuel et quotidien d'admissions hospitalières, par établissement, pour motifs respiratoires dans la zone d'étude par saison tropique - 1999-2002

		Total 1999-2002						hiver			été		
		0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +	0-14 ans	15-64 ans	65 ans et +
CHU Montpellier	année	173	455,75	406,50	111,25	253,50	231	61,75	202,25	175,50	61,75	202,25	175,50
	jour	0,47	1,25	1,11	0,61	1,39	1,27	0,34	1,11	0,96	0,34	1,11	0,96
polyclinique Saint-Jean	année	11,50	93	8	6,75	49,50	3,75	4,75	43,50	4,25	4,75	43,50	4,25
	jour	0,03	0,25	0,02	0,04	0,27	0,02	0,03	0,24	0,02	0,03	0,24	0,02
polyclinique Saint-Roch	année	10,75	36,25	5,50	5,50	22	3,25	5,25	14,25	2,25	5,25	14,25	2,25
	jour	0,03	0,10	0,02	0,03	0,12	0,02	0,03	0,08	0,02	0,03	0,08	0,02
clinique Beausoleil	année	18	54,75	56,75	10,25	31,75	35,50	7,75	23,50	21,25	7,75	23,50	21,25
	jour	0,05	0,15	0,16	0,06	0,17	0,19	0,04	0,12	0,12	0,04	0,12	0,12
clinique Clémentville	année	39,25	120,75	85,50	24,75	65,50	65,50	14,50	55,25	36,25	14,50	55,25	36,25
	jour	0,11	0,33	0,23	0,14	0,36	0,36	0,08	0,30	0,20	0,08	0,30	0,20
clinique Lavalette	année	0	13,25	60	0	6,75	37	0	6,50	23	0	6,50	23
	jour	0	0,04	0,16	0	0,04	0,20	0	0,04	0,12	0	0,04	0,12
clinique du Parc	année	22,50	95,25	55,00	10,25	47,50	29,25	12,25	47,75	25,75	12,25	47,75	25,75
	jour	0,06	0,26	0,15	0,06	0,26	0,16	0,06	0,26	0,14	0,06	0,26	0,14
Total établissements	année	275	869	677,25	168,75	476,50	405,25	106,25	393	288,25	106,25	393	288,25
	jour	0,75	2,38	1,85	0,92	2,61	2,22	0,58	2,15	1,58	0,58	2,15	1,58

**Nombres moyens annuel et quotidien d'admissions hospitalières,
par établissement, pour motifs cardiovasculaires et cardiaques
dans la zone d'étude par saison tropique - 1999-2002**

		pathologies cardiovasculaires				pathologies cardiaques : tous âges				pathologies cardiaques : 65 ans et +											
		Total		Hiver		été		Total		Hiver		été									
		année	jour	année	jour	année	jour	année	jour	année	jour	année	jour								
CHU Montpellier	année	1 894,50	1 019,75	874,75	1 113,25	601	512,25	705,5	384,5	321	année	jour	5,19	4,79	20,5	0,11	0,007	0,007	0,005	0,004	0,01
polyclinique Saint-Jean	année	49,75	29,25	20,5	2,5	1,25	1,25	1,75	0,75	1	année	jour	0,14	0,16	0,11	0,007	0,007	0,005	0,004	0,01	
	jour	0,14	0,16	0,11	0,007	0,007	0,007	0,005	0,004	0,01	polyclinique Saint-Roch	année	277,25	166,5	110,75	36	19	17	22,5	12	10,5
clinique Beausoleil	année	0,76	0,91	0,61	0,10	0,10	0,09	0,06	0,07	0,06	année	jour	164	97	67	42	23,75	35	20,25	14,75	
	jour	0,45	0,53	0,37	0,11	0,13	0,10	0,10	0,11	0,08	clinique Clémentville	année	121,25	70,5	50,75	24	12,5	11,5	17,25	8,75	8,5
clinique Lavalette	année	0,33	0,39	0,28	0,07	0,07	0,06	0,05	0,05	0,05	année	jour	764,75	403,75	361	685,75	361,25	525,25	272	253,25	
	jour	2,09	2,21	1,98	1,88	1,97	1,78	1,44	1,49	1,39	clinique du Parc	année	438	239,25	198,75	229,5	125	105,25	162,25	91,75	70,5
Total établissements	année	1,20	1,31	1,09	0,63	0,68	0,58	0,44	0,50	0,39	année	jour	3 709,5	2 026	1 683,5	2 133	1 143,75	989,25	1 469,5	790	679,5
	jour	10,16	11,09	9,22	5,84	6,26	5,42	4,02	4,33	3,72	Total établissements	année	10,16	11,09	9,22	5,84	6,26	5,42	4,02	4,33	3,72

Notes