

Résultats pour les 9 villes du programme français

SOMMAIRE

Résultats de Bordeaux

Résultats du Havre

Résultats de Lille

Résultats de Lyon

Résultats de Marseille

Résultats de Paris et proche couronne

Résultats de Rouen

Résultats de Strasbourg

Résultats de Toulouse

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Bordeaux

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Sophie Larrieu, Laurent Filleul

Juillet 2004

Résumé des principaux résultats

A Bordeaux, les moyennes journalières et annuelles de PM_{10} respectent les valeurs limites européennes prévues pour 2005. Cependant, elles restent supérieures aux limites prévues pour 2010.

Nous avons estimé qu'une réduction à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de $PM_{2,5}$ sur le long terme permettrait d'éviter 24 décès par an sur la ville de Bordeaux, ce qui revient à augmenter de 7 ans l'espérance de vie à partir du début de la simulation. Si les concentrations en PM_{10} étaient restées chaque jour en dessous de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 11 décès et 26 admissions hospitalières auraient pu être évités.

A Bordeaux, la cause principale de pollution atmosphérique est le trafic routier.

1. Contexte

Bordeaux est une ville du Sud-Ouest de la France située en bordure de l'océan Atlantique. Le climat est océanique et les températures moyennes varient de $9,3$ à $18,7^\circ\text{C}$. L'humidité relative est de $54,9\%$ et les précipitations varient autour de 950 mm par an.

La zone d'étude a été définie selon des critères d'homogénéité de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique et inclut 18 communes. Lors du dernier recensement réalisé en 1999, l'ensemble de ces communes représentait un total de $584\ 164$ habitants. Elles couvrent une surface de 283 km^2 , avec une densité de 2064 habitants/ km^2 .

A Bordeaux, un Plan pour la Protection de l'Air (PPA), obligatoire dans toutes les villes françaises de plus de $250\ 000$ habitants, a été mis en place pour assurer la gestion de la qualité de l'air. Ce plan vient compléter le Plan Régional pour la Qualité de l'Air (PRQA) initié en 1999 dans le contexte de la loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) parue en 1997. L'objectif du PPA est de prendre les mesures nécessaires pour le respect de la réglementation européenne sur le SO_2 , le NO_2 , les PM_{10} , le CO , le Pb , l' HCl , l' O_3 et le C_6H_6 . Cependant, lorsque cela s'avère nécessaire, les règles locales sur ces polluants peuvent être plus sévères que les réglementations européennes et des mesures supplémentaires peuvent également être prises pour les polluants non réglementés.

Les résultats d'Apheis3 à Bordeaux viennent compléter ceux du Psas-9 (programme de surveillance air & santé dans 9 villes françaises) au niveau local afin d'évaluer l'impact sanitaire de la pollution par les particules.

2. Origines de la pollution

Les principales origines de la pollution de l'air ont été décrites en détail dans le dernier rapport Apheis (www.apheis.org), et une mise à jour est présentée dans le tableau 1.

Tableau 1. Principales origines de pollution de l'air

Origine	SO ₂ *	NO _x *	COVNM *	CO *	NH ₃ *
Industrie et traitement des déchets	4 437 (54,3 %)	1 537 (12,4 %)	5 824 (22,2 %)	318 (0,3 %)	92 (79,3 %)
Energie	518 (6,3 %)	61 (0,5 %)	2 561 (9,8 %)	18 (0,0 %)	0 (0,0 %)
Domestique	1 431 (17,5 %)	849 (6,8 %)	3 921 (14,9 %)	15 242 (15,0 %)	0 (0,0 %)
Transports routiers	1 745 (21,4 %)	9 712 (78,1 %)	13 275 (50,5 %)	85 069 (83,7 %)	24 (20,7 %)
Autres	40 (0,5 %)	272 (2,2 %)	684 (2,6 %)	1 030 (1,0 %)	0 (0,0 %)
Total	8 171 (100 %)	12 431 (100 %)	26 265 (100 %)	101 677 (100 %)	116 (100 %)

* tonnes / an (%). Source : CITEPA – inventaire en Aquitaine, 1997

Le trafic routier constitue la source principale d'oxydes d'azote (NO_x), de monoxyde de carbone (CO) et de composés organiques volatils (COV). L'industrie et le traitement des déchets sont les principales origines de la pollution par dioxyde de soufre (SO₂) et par ammoniac (NH₃). Si l'on s'intéresse aux variations d'émission en Aquitaine entre 1990 et 1994, on peut constater une diminution pour tous les polluants sauf pour les NO_x qui, à l'inverse, ont augmenté de 9 % durant cette période. Notons que nous ne disposons pas de données sur les particules qui n'ont été mesurées qu'à partir de 1997 à Bordeaux. [Source: CITEPA 1994]

3. Données d'exposition à la pollution

Les concentrations de pollution atmosphérique ont été mesurées par l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air en Aquitaine (Airaq). Le nombre de stations de mesure variait selon le polluant mesuré : une station pour les fumées noires, 4 pour les PM₁₀ et 2 pour les PM_{2,5}. Seules les stations urbaines de fond ont été utilisées pour cette étude. La bonne corrélation des mesures enregistrées par les différentes stations a été vérifiée pour chacun des polluants.

Les PM₁₀ ont été mesurées par la méthode TEOM (Microbalance à élément effilé oscillant). Nous avons appliqué un facteur de correction de 1,3 pour obtenir les mesures hivernales

PM₁₀ en nous basant sur les recommandations françaises. Pour convertir les PM₁₀ en PM_{2,5}, nous avons appliqué un facteur de 0,67 établi localement.

Les données météorologiques (température et humidité) ont été fournies par Météo-France pour l'ensemble des villes participant à l'étude Psas-9.

Les mesures d'exposition pour Apehis 3 présentaient les caractéristiques suivantes :

- l'année de mesure était l'année 2000 pour les PM₁₀ et 2002 pour les fumées noires et les PM_{2,5}.
- les concentrations moyennes journalières pour les différents polluants étaient de 20 ($\sigma = 10$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM₁₀, 13 ($\sigma = 6$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{2,5} et de 11 ($\sigma = 11$) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les fumées noires.
- les niveaux de PM₁₀ atteints les 18 jours de l'année les moins pollués (P5) et les plus pollués (P95) étaient respectivement de 9 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 43 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les PM_{2,5}, ces niveaux étaient respectivement de 6 et 25 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Enfin, pour les fumées noires, ils étaient de 3 et 33 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- les nombres de jours de dépassement des seuils réglementaires étaient les suivants :

Tableau 2. Nombre de jours de dépassement des valeurs limites par les différents polluants

EIS court terme

	PM₁₀	fumées noires	PM_{2,5}
Nombre de jours au-dessus de	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	144	51	100
Nombre de jours au-dessus de	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	7	5	4

Figure 1. Distribution des niveaux de polluants

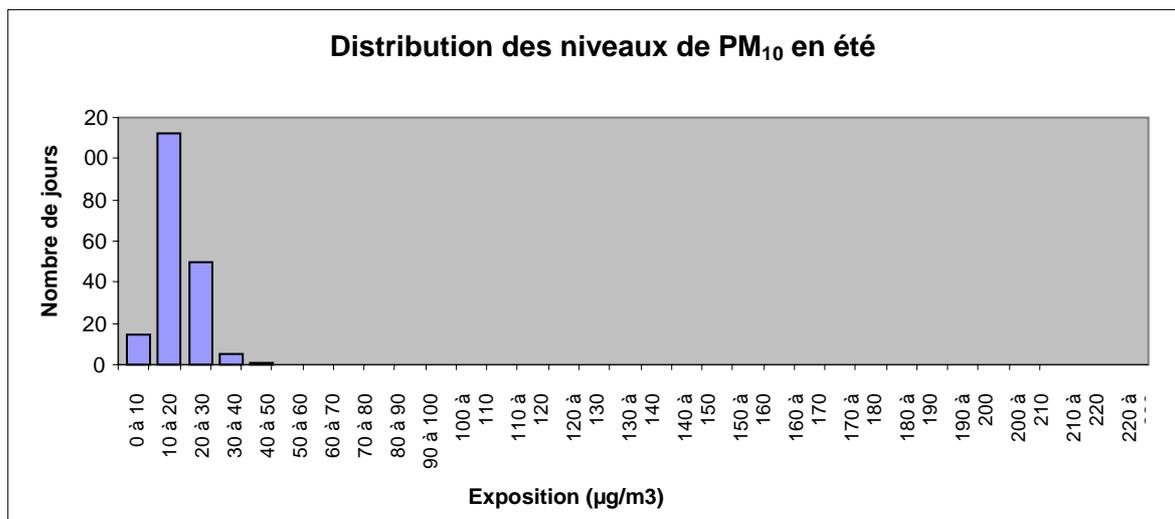
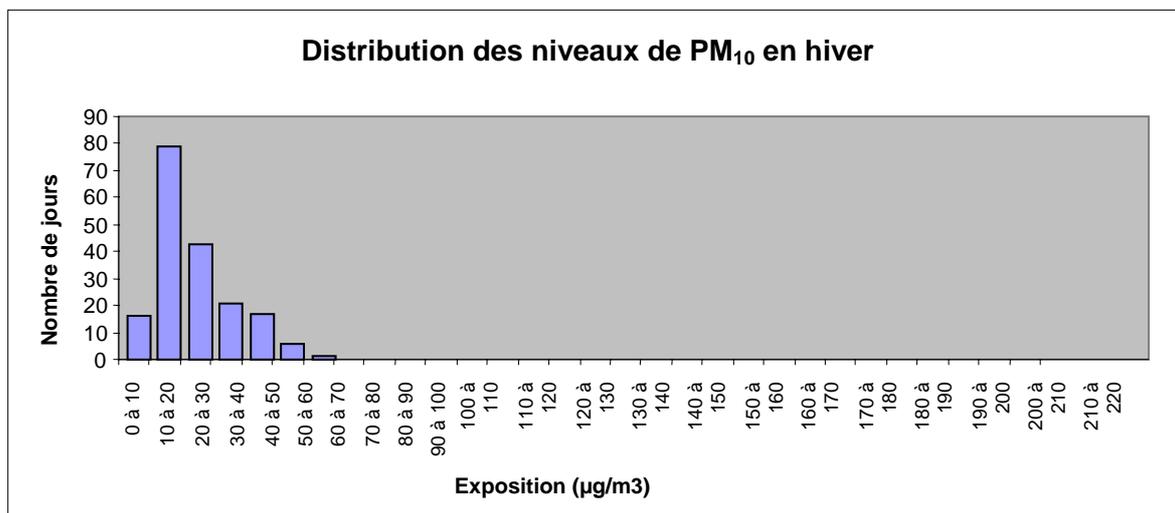
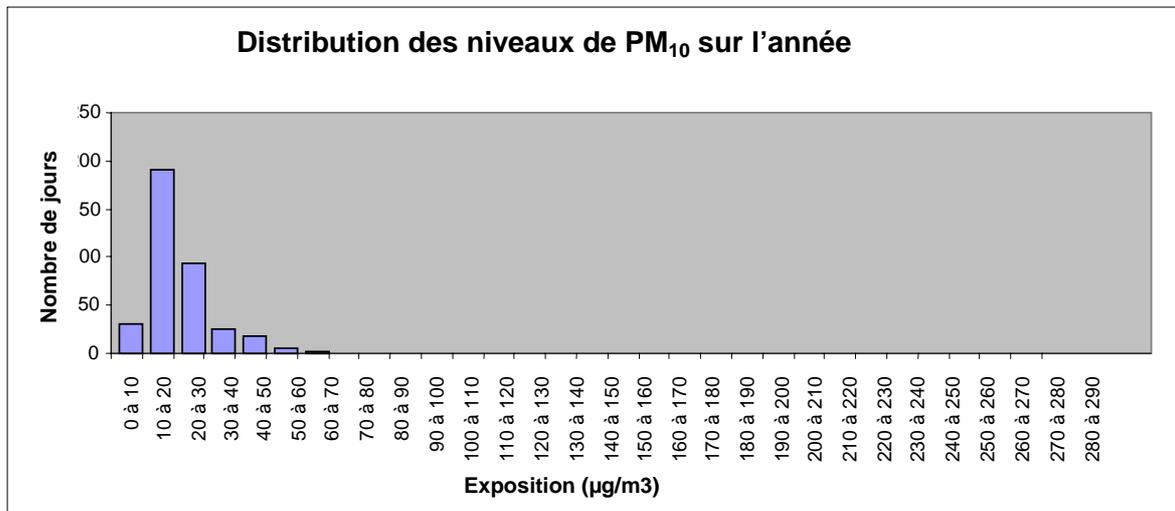


Figure 1 (suite). Distribution des niveaux de polluants

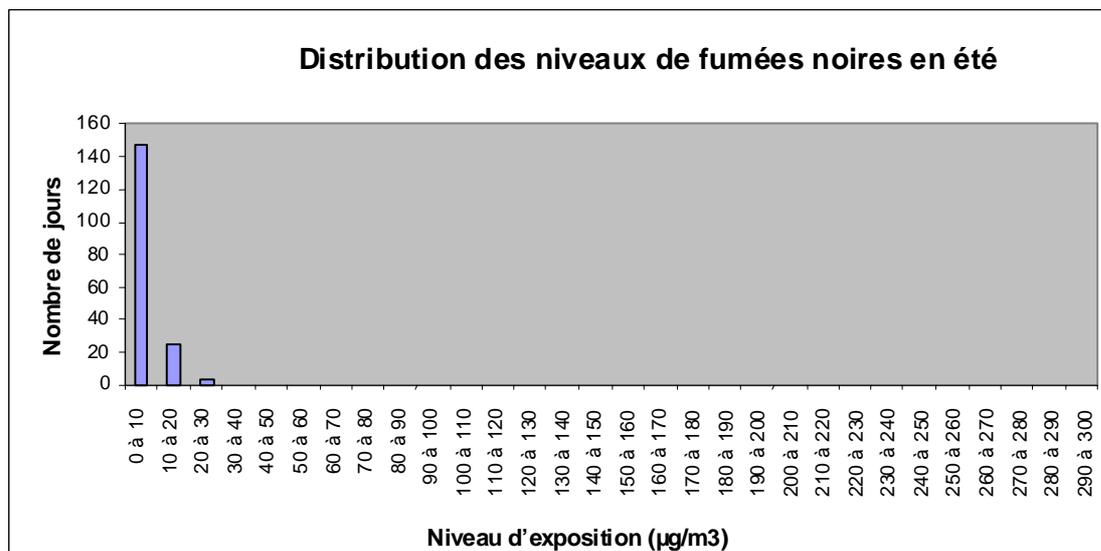
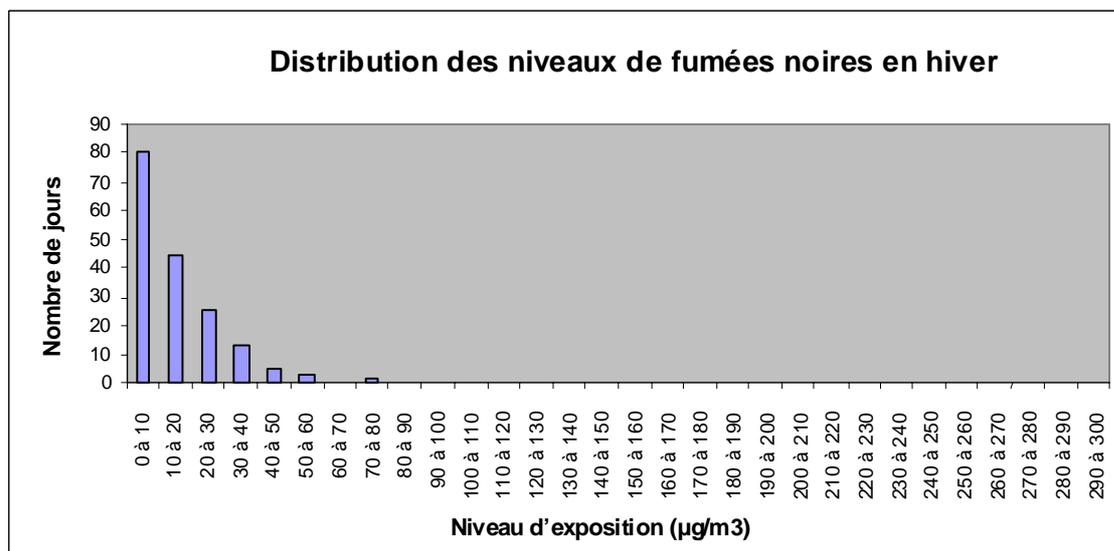
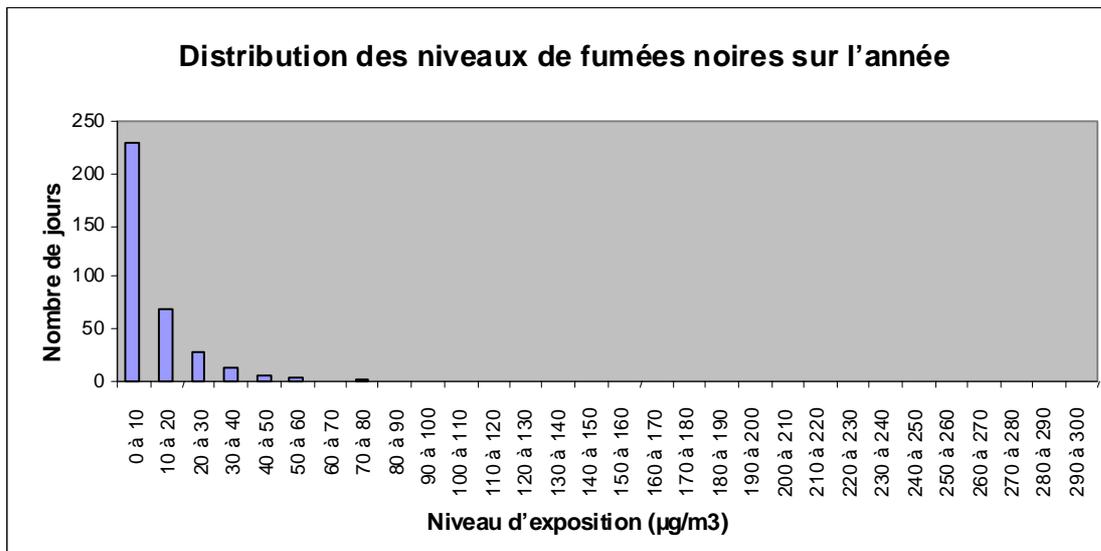
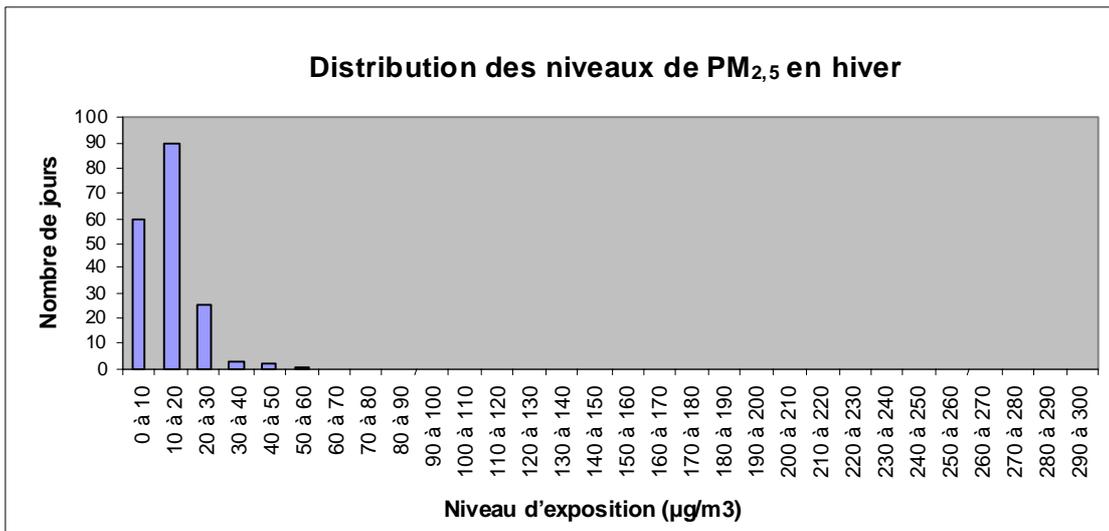
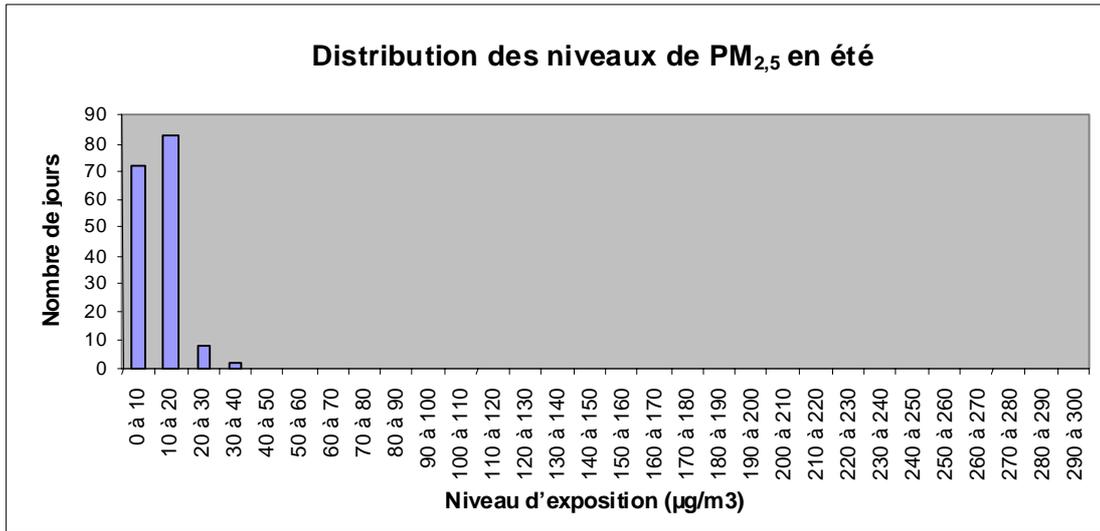
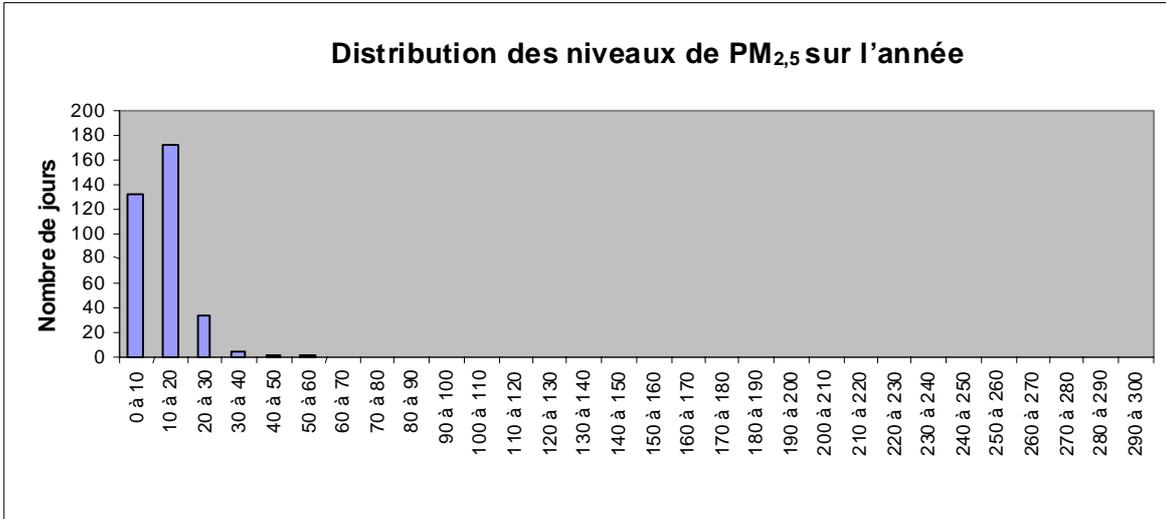


Figure 1 (suite). Distribution des niveaux de polluants



4. Données sanitaires

Le département d'information sur les données de mortalité (Cepi DC) de l'Institut National de la Santé et de la Recherche Médicale (Inserm) ont fourni les causes médicales de décès codées selon la Classification internationale des maladies – 9^{ème} révision (CIM9). Les données les plus récentes disponibles étaient celles de l'année 1999.

Les données d'admissions hospitalières étaient disponibles pour les établissements publics et privés. Elles ont été extraites du Programme de Médicalisation des Systèmes d'Information (PMSI) centralisé par l'Agence technique de l'information hospitalière (ATIH).

Le taux de mortalité toutes causes standardisé sur l'âge était de 569 pour 100 000 habitants en prenant pour référence la population européenne¹. Le tableau 3 présente pour chaque indicateur sanitaire le nombre journalier de décès et le taux annuel correspondant.

Tableau 3. Nombre moyen journalier de décès et d'admissions hospitalières, et taux annuel pour 100 000 (1999)

	ICD9	ICD10	Nombre journalier moyen	Taux pour 100 000
EIS court terme				
Mortalité toute cause (hors accidents et morts violentes)*	< 800	A00-R99	12,5	2,14
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	4,0	0,68
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	1,0	0,17
Admissions en cardiologie	390-429	I00-I52	17,0	2,90
Admissions en pneumologie	460-519	J00-J99	15,9	2,70
EIS long terme				
Mortalité toute cause (y compris accidents et morts violentes)	0-999	A00-Y98	13,5	2,31
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440	I10-I70	4,7	0,80
	460-519	J00-J99		
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	0,7	0,12

* pour les scénarios à court et long terme

¹ UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

5. Évaluation de l'impact sur la santé : méthode

Différents scénarios de réduction de l'exposition aux particules ont été imaginés afin d'estimer leurs impacts sanitaires à court et à long terme. A Bordeaux, ces estimations ont été réalisées pour les PM_{10} , les $PM_{2,5}$ et les fumées noires. Les résultats qui suivent ne doivent pas être ajoutés car les effets de chaque type de polluant ne sont pas indépendants. Considérer la somme des impacts sanitaires conduirait à une surestimation de l'effet de la pollution sur la santé. Nous avons utilisé différents outils de calculs et différentes relations exposition / risque (Risque Relatif – RR) pour estimer les impacts sanitaires à court et à long terme des différents polluants (Tableau 4).

Nous avons également utilisé des approches différentes en fonction du polluant étudié :

- pour les fumées noires, les effets à court terme ont été exprimés en terme de nombre de cas attribuables par an ;
- pour les PM_{10} , les effets à court et à long terme ont été exprimés en terme de nombre de cas attribuables par an ;
- pour les $PM_{2,5}$, les effets à long terme ont été exprimés en terme de nombre annuel de cas attribuables et de nombre potentiel d'années de vie perdues à partir du moment où l'estimation a été réalisée.

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
PM_{2,5}	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	RR convertis à partir des RR PM ₁₀	3 scénarios : Réduction à 35 µ/m ³ Réduction à 14 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99				
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99				
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52				
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99				
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiaque tous âges	390-429	I00-I52		1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (IC 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)	Villes concernées
<i>Nombres de cas attribuables</i>							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Trilateral Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios :	Villes estimant les
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,09 (1,03-1,16)	Réduction à 20 µ/m ³	PM _{2,5}
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Average Pope, 2002	Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
<i>Années de vie perdues</i>							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	AirQ	1,043 (1,026-1,061) Etude trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios :	Villes estimant les
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	AirQ	1,09 (1,03-1,16)	Réduction à 20 µ/m ³	PM _{2,5}
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002	Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement

5.1. Scénarios à court terme

Nous avons utilisé différents scénarios pour estimer les effets à court terme d'une exposition aux fumées noires et aux PM₁₀ sur la mortalité et les admissions hospitalières pour une année.

Pour les fumées noires : effets à court terme (0-1 jours d'exposition)

Nous avons utilisé trois scénarios différents pour estimer les effets des fumées noires sur la mortalité toutes causes (sauf accidents), cardiovasculaire et respiratoire sur une année :

- réduction des concentrations moyennes journalières en fumées noires à un niveau de 50 µg/m³ les jours où ce seuil est dépassé ;
- réduction des concentrations moyennes journalières en fumées noires à un niveau de 20 µg/m³ les jours où cette valeur est dépassée ;
- réduction de 5 µg/m³ de toutes les valeurs journalières de fumées noires.

Pour les PM₁₀ : effets à court terme (0-1 jours d'exposition) et effets à court terme cumulés (jusqu'à 40 jours d'exposition)

Nous avons utilisé trois scénarios pour estimer les effets à 0-1 jour et les effets cumulés jusqu'à 40 jours sur la mortalité toutes causes (sauf accidents), cardiovasculaire et respiratoire sur une année :

- réduction des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ à un niveau de 50 µg/m³ les jours où ce seuil est dépassé (valeurs limites pour les PM₁₀ dans la réglementation de 2005 et 2010),
- réduction des concentrations moyennes journalières en PM₁₀ à un niveau de 20 µg/m³ les jours où cette valeur est dépassée (pour étudier les effets dans les villes où les valeurs de PM₁₀ sont basses),
- réduction de 5 µg/m³ de toutes les valeurs journalières de PM₁₀ (pour étudier les effets dans les villes où les valeurs de PM₁₀ sont basses)

5.2. Scénarios à long terme

EIS long terme pour les PM₁₀

Nous avons utilisé trois scénarios pour estimer les effets d'une exposition prolongée aux PM₁₀ sur la mortalité toutes causes (sauf accidents), cardiovasculaire et respiratoire sur une année :

- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ à un niveau de 40 µg/m³ (limite fixée par la réglementation de 2005) ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ à un niveau de 20 µg/m³ (limite fixée par la réglementation de 2010) ;
- réduction de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle de PM₁₀ (pour étudier les effets dans les villes où les valeurs de PM₁₀ sont basses).

EIS long terme pour les PM_{2,5}

Nous avons étudié les effets d'une exposition chronique aux PM_{2,5} sur une population de sujets de 30 ans et plus à travers la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon.

Les trois scénarios suivants ont été appliqués :

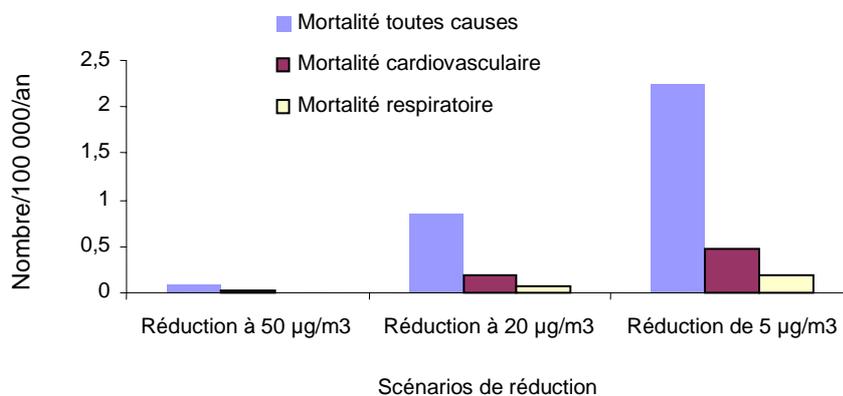
- réduction de la moyenne annuelle des PM_{2,5} à un niveau de 20 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM_{2,5} à un niveau de 15 µg/m³ ;
- réduction de 3,5 µg/m³ de la moyenne annuelle des PM_{2,5} (pour étudier les effets dans les villes où les valeurs de PM_{2,5} sont basses).

6. Évaluation de l'impact sur la santé : résultats

6.1. Résultats sur les fumées noires

Les données de fumées noires, de mortalité, et d'admissions hospitalières sont de l'année 2000.

Figure 2. Impact sanitaire à court terme sur la mortalité totale et spécifique d'une réduction des fumées noires jusqu'à 50, 20 ou de 5 µg/m³



* Mortalité toutes causes sauf accidents (ICD9 < 800), mortalité cardiovasculaire (ICD9 390-459), mortalité respiratoire (ICD9 460-519).

6.2. Résultats pour les PM₁₀

Effets à court terme (0-1 jour d'exposition), des effets à court terme cumulé (jusqu'à 40 jours) et des effets à long terme

Effets sur la mortalité

Les graphiques suivants montrent l'impact sanitaire des PM₁₀ sur la mortalité selon différentes périodes d'exposition : à court terme (CT, 0-1 jour), à court terme cumulé (MT, jusqu'à 40 jours) et à long terme (LT, plusieurs années).

Données de PM₁₀ et de mortalité de l'année 2000

Figure 3. PM₁₀ : réductions à 50/40, 20 et de 5 µg/m³. Impact sur la mortalité toutes causes (ICD9<800) à court terme (CT), moyen terme (MT) et long terme (LT)

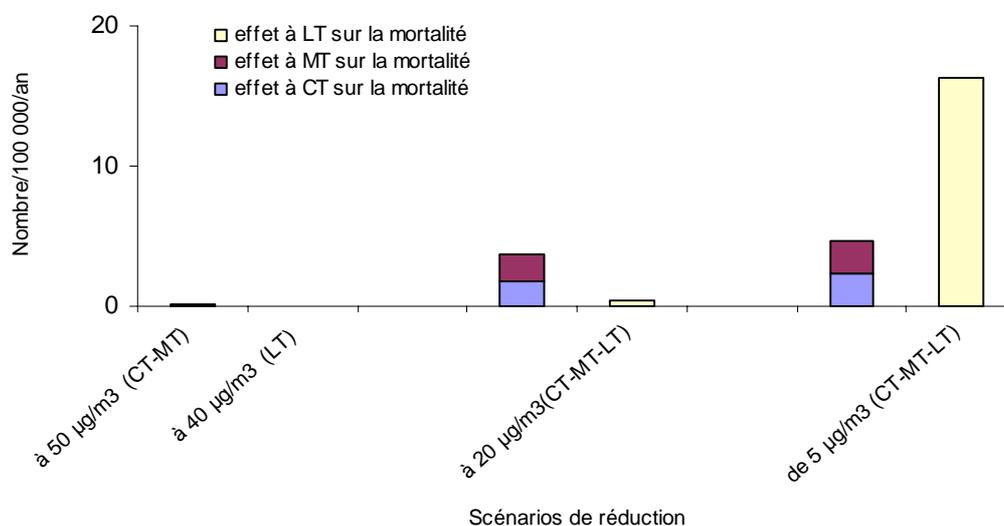
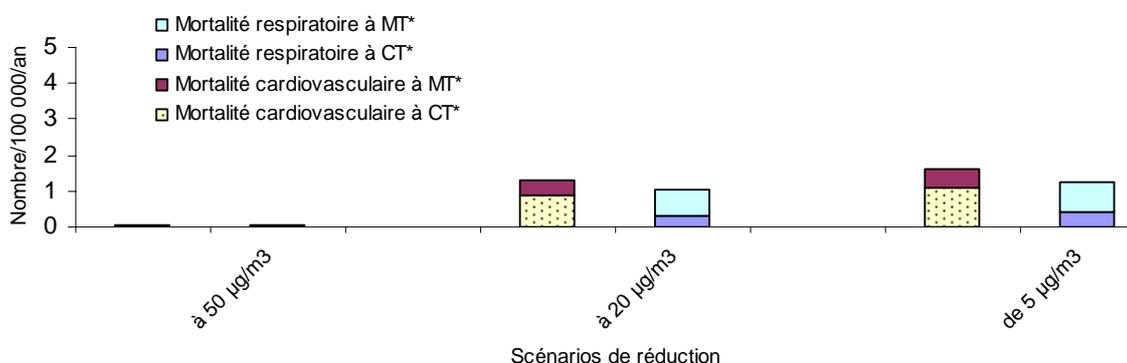


Figure 4. PM₁₀ : réductions à 50, 20 et de 5 µg/m³. Impact sur la mortalité spécifique* d'une exposition à court terme (CT) et moyen terme (MT)



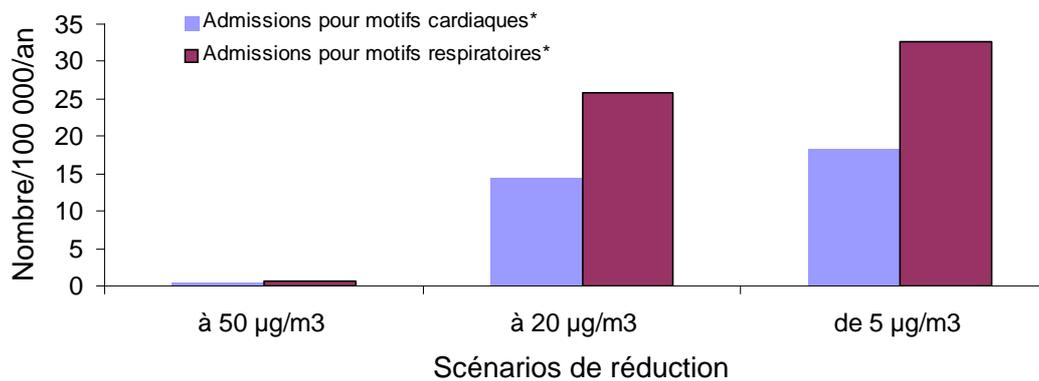
* Mortalité cardiovasculaire (ICD9 390-459), mortalité respiratoire (ICD9 460-519)

Comme le montre ce graphique, l'impact sanitaire du premier scénario (en dessous de 50 µg/m³) est négligeable puisque les niveaux de pollutions sur la ville de Bordeaux sont modérés. Pour les deux autres scénarios, l'impact sanitaire augmente avec le délai d'exposition à la pollution atmosphérique : l'impact à long terme est plus important que celui à court terme cumulé, lui-même plus important que celui à court terme.

Effets sur les admissions hospitalières

Nous avons estimé les effets à court terme d'une exposition aux PM₁₀ en étudiant les admissions hospitalières pour motifs cardiaques et respiratoires sur une année. Les données de PM₁₀ et de mortalité sont de l'année 2000.

Figure 5. PM₁₀ : réductions à 50, 20 et de 5 µg/m³. Effet à court terme sur les admissions hospitalières



* Admissions hospitalières pour motifs cardiaques (ICD9 390-429) et respiratoires (ICD9 460-519)

Quel que soit le scénario considéré, l'effet de l'exposition à court terme est plus important sur les admissions pour motifs respiratoires que cardiovasculaires.

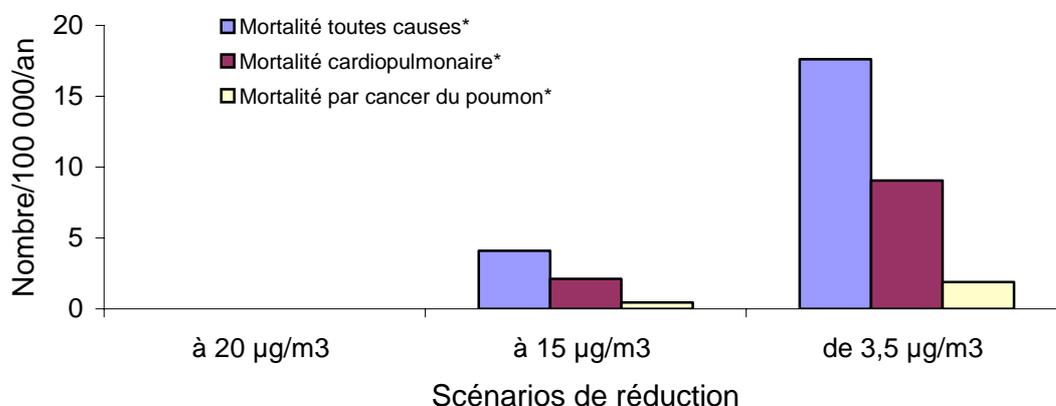
6.3. Résultats sur les PM_{2,5}

Nombre de cas attribuables

Nous avons également utilisé trois scénarios différents pour étudier les effets à long terme d'une exposition aux PM_{2,5} sur la mortalité.

Les graphiques qui suivent représentent le nombre de décès toutes causes, par pathologie cardio-pulmonaire et par cancer du poumon pour 100 000 habitants attribuables à l'exposition aux PM_{2,5}.

Figure 6. PM_{2,5} : réductions à 20, 15 et de 3,5 µg/m³. Effet à long terme sur la mortalité totale et spécifique



* Mortalité toutes causes (ICD9 0-999), cardiopulmonaire (ICD9 401-440 et 460-519) et par cancer du poumon (ICD9 162). Données de PM_{2,5} et de mortalité de l'année 2000

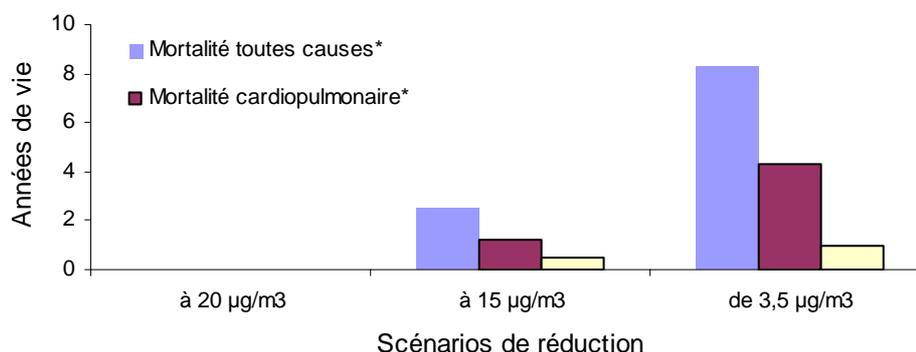
L'impact sanitaire est plus faible pour le deuxième (à 15 µg/m³) que pour le troisième scénario (de 3,5 µg/m³) car la moyenne annuelle de PM_{2,5} utilisée pour l'EIS (obtenue par conversion des PM₁₀ mesurées par TEOM) est proche de 15 µg/m³ à Bordeaux (16,0 µg/m³).

Années de vie perdues

Nous avons estimé le nombre d'années de vie perdues attribuable à une exposition à long terme aux PM_{2,5} en utilisant des données de l'année 2000. La Figure 8 représente le nombre d'années de vie perdues suite aux décès toutes causes, pour causes cardio-pulmonaires et par cancer du poumon chez des adultes de 30 ans et plus résidant à Bordeaux.

Pour la mortalité toutes causes, toutes choses étant égales par ailleurs, une réduction des PM_{2,5} de 3,5 µg/m³ en 2000 aurait pu permettre de sauver près de 49 années de vie à partir de la première année de simulation chez les personnes âgées de 30 ans et plus dans la communauté urbaine de Bordeaux. Concernant la mortalité par pathologie cardio-pulmonaire, ce chiffre approcherait les 25 et pour la mortalité par cancer du poumon il serait de moins de 6.

Figure 7. PM_{2,5} : réductions à 20, 15 et de 3,5 µg/m³. Années de vie perdues à partir de la première année de simulation par mortalité totale et spécifique



* Mortalité toutes causes (ICD9 0-999), cardiopulmonaire (ICD9 401-440 et 460-519) et par cancer du poumon (ICD9 162). Données de PM_{2,5} et de mortalité pour l'année 2000

Le tableau suivant présente les résultats en terme d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation possible par une réduction des PM_{2,5} jusqu'à 15 µg/m³ à Bordeaux (soit une diminution de 1 µg/m³).

Age	Espérance de vie	Gain attendu en terme d'espérance de vie		
		Moyenne	Minimum	Maximum
Naissance	79,31	0,06	0,02	0,11
30	50,21	0,06	0,02	0,11
65	19,37	0,05	0,01	0,09

En terme d'espérance de vie, toutes choses étant égales par ailleurs, si les niveaux annuels de PM_{2,5} étaient diminués jusqu'à 15 µg/m³ (soit une réduction de 1 µg/m³), l'espérance de vie d'une personne de 30 ans, à savoir 50 ans, serait augmentée de 0,06 ans (soit près d'un mois) grâce à une réduction du risque de décès toutes causes.

7. Interprétation des résultats

Concernant l'estimation de l'exposition, la zone d'étude a été définie selon les critères d'homogénéité d'exposition. En effet, l'ensemble de la zone présente une continuité d'urbanisation et la grande majorité des personnes résidant dans la zone y travaille également. De plus, l'homogénéité des données de pollution dans la zone d'étude a été vérifiée pour les particules mais également pour d'autres polluants (ozone, NO₂) : les moyennes des différentes stations étaient proches et les valeurs mesurées par les différentes stations étaient bien corrélées.

Pour les variables sanitaires, la principale limite réside dans les données d'hospitalisation qui sont des données globales d'admissions hospitalières. En effet, pour des raisons logistiques, nous n'avons pas pu sélectionner les admissions en urgence, ce qui peut engendrer une surestimation des effets à court terme puisque nous comptabilisons des admissions programmées qui ne peuvent pas être attribuables à la pollution atmosphérique.

Enfin, cette étude montre que les effets sanitaires augmentent avec la durée d'exposition. En effet, l'impact à long terme est plus important que celui à moyen terme (40 jours), lui-même plus élevé que celui à court terme. Ce résultat est compatible avec les variations de la mortalité observées lors d'épisodes majeurs de pollution, tels que celui de Londres en 1952, et avec les résultats des différentes études de cohortes de la littérature. En terme de santé publique, cela signifie qu'une légère diminution de la pollution sur du long terme peut être efficace et entraîner une diminution significative de l'impact sanitaire. Par exemple, une réduction de 3,5 µg/m³ des PM_{2,5} pourrait permettre d'éviter 100 décès par an à Bordeaux, toutes choses étant égales par ailleurs.

8. Commentaires

Ces résultats viennent s'ajouter à ceux du rapport APHEIS2 et confirment qu'une amélioration de la qualité de l'air peut avoir des conséquences bénéfiques sur la santé même dans une ville modérément polluée comme Bordeaux.

La publication des premiers résultats du PSAS-9, conjointement à celle du PRQA, a permis une prise de conscience de la problématique air-santé par les décideurs.

Pour l'instant, il est trop tôt pour connaître l'impact des EIS (Aphis et PSAS-9) sur le Plan de Protection de l'Atmosphère à Bordeaux puisque leur publication est très récente. Cependant, les décisions concernant la gestion de la qualité de l'air seront probablement influencées par ces résultats, en particulier grâce aux échanges entre les épidémiologistes de PSAS-9/Aphis et les décideurs locaux. Cependant, il est essentiel que les épidémiologistes restent attentifs aux différentes requêtes de leurs partenaires afin d'améliorer les outils d'évaluation d'impact sanitaire et de développer les collaborations. Par exemple, cet outil concerne la population générale et reste insuffisant pour des problèmes spécifiques à une zone ou une catégorie de la population. Cependant, il peut être amélioré en particulier grâce à une collaboration étroite avec les différents partenaires intéressés.

Pour conclure, il semble que les partenaires et les décideurs locaux s'approprient de mieux en mieux les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire de la pollution atmosphérique et leur interprétation. A présent, l'information doit être développée auprès du grand public afin de lui permettre de mieux comprendre les enjeux des décisions prises au niveau collectif.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation au Havre

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Myriam Blanchard

Juillet 2004

Résumé des principaux résultats

Au Havre, les principales sources de pollution atmosphérique sont l'industrie et le transport.

Les moyennes journalières et annuelles de PM_{10} sont en dessous des valeurs limites européennes prévues pour 2005 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne devant pas être dépassé plus de 35 jours par an) et légèrement au dessus des valeurs seuil pour 2010 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne devant pas être dépassé plus de 7 jours par an et $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour la moyenne annuelle).

Les analyses ont permis d'estimer que 17 décès par an étaient potentiellement évitables dans la zone d'étude du Havre pour une réduction à long terme de la pollution en particules fines $PM_{2,5}$ à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette estimation peut se traduire par un gain potentiel de 6 années d'espérance de vie répartie sur l'ensemble de la population pour la première année de simulation.

Concernant l'impact à court terme, si les moyennes journalières de PM_{10} restaient toujours inférieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 4 décès et 16 hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires auraient pu être évitées en 2000.

Contexte

La zone d'étude du Havre couvre 199 km² et possède une population d'environ 255 000 habitants, dont 15% de personnes âgées de plus de 65 ans (Insee 1999). Elle se situe sur la rive droite de l'estuaire de la Seine, à 90 km de Rouen et 220 km de Paris. Le climat est de type océanique avec des températures minimales et maximales moyennes respectivement de 7,9 et 13,2°C.

Il existe deux plans de gestion de la qualité de l'air de l'agglomération du Havre mis en place dans le cadre de la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) : le Plan régional de la qualité de l'air (PRQA) dont la première version a été approuvée en décembre 2001 et le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) qui est en cours de rédaction. Le PPA a pour but la mise en place des mesures nécessaires pour le respect des valeurs réglementaires en matière de concentrations atmosphériques des polluants tels que SO₂, NO₂, PM_{2,5}, O₃.

Résumé des données et des résultats de la seconde année d'Apheis

Pour Apheis 2, seules les Fumées noires étaient mesurées en 1998 et leur concentration moyenne journalière était de 9,3 µg/m³. L'évaluation de l'impact sanitaire n'avait été réalisée que pour les effets à court terme sur la mortalité et les hospitalisations pour pathologies respiratoires. Aucune donnée n'était disponible pour les admissions pour pathologies cardiaques.

Les principaux résultats d'Apheis 2 sont présentés dans le tableau suivant :

Gain potentiel pour une réduction des concentrations en fumées noires	Cas attribuables par an	Taux pour 100 000 habitants
mortalité		
réduction des concentrations > à 20 à 20 µg/m ³	1,5 (0,8-2,1)	0,6 (0,3-0,8)
réduction de 5 µg/m ³	5,9 (3,4-8,3)	2,3 (1,4-3,3)
hospitalisations pour pathologies respiratoires		
réduction des concentrations > à 20 à 20 µg/m ³	0,0 (0,0-0,3)	

Les objectifs d'Apheis 3

Les objectifs d'Apheis 3 complètent ceux du programme Psas-9 (Programme de surveillance Air & Santé sur 9 villes françaises) et d'Apheis 2 en ce qui concerne les impacts sanitaires de la pollution par les particules. Outre l'impact à court terme des fumées noires sur la mortalité et sur les admissions hospitalières qui sera de nouveau estimé, Apheis 3 permettra d'évaluer l'impact à court et long terme de l'exposition à de nouveaux indicateurs de pollution particulaire qui sont les PM_{10} et les $PM_{2,5}$. Enfin, l'impact à long terme sera aussi estimé à travers le calcul des années de vie perdues.

Sources d'émission

Les principales sources de pollution atmosphérique ont été décrites en détail dans le précédent rapport Apheis (www.apheis.org). Le tableau suivant reprend leurs parts relatives :

Tableau 1. Principales sources d'émission

Source	Transports (%)	Combustion (%)	Industrie (%)
SO ₂	0,7%	0,9%	97,4%
NOx	10,1%	2,2%	87,6%
COVNM	14%	6,7%	79,2%

Pour le SO₂ 38,4% des émissions régionales provient de l'agglomération du Havre et 23,1% pour les NOx. Les industries sont responsables de 90% de ces émissions (CITEPA 1994).

Données d'exposition

L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air, Air-Normand, a fourni les données sur la pollution de l'air. Elle possède 13 stations fixes dont 6 urbaines réparties sur l'ensemble de l'agglomération du Havre. Les deux sites mesurant les $PM_{2,5}$ ont été mis en place en 2001. Les PM_{10} sont mesurées depuis 2000 par trois stations urbaines. Enfin, tous les sites mesurant les fumées noires ont été modifiés depuis l'étude Apheis 2.

Les concentrations en fumées noires sont mesurées par réflectométrie. Les PM_{10} et les $PM_{2,5}$ sont mesurées par la méthode TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance).

Les indicateurs de pollution ont été construits en calculant la moyenne des concentrations journalières mesurées par les stations sélectionnées. Cette sélection s'appuie sur les critères suivants : une bonne corrélation des mesures entre les stations (corrélation $\geq 0,70$) et des

concentrations moyennes relativement proches. Pour les PM_{10} , 3 stations urbaines ont été sélectionnées et 2 stations pour les fumées noires et les $PM_{2,5}$.

Pour les calculs d'impact sanitaire à long terme des PM_{10} et des $PM_{2,5}$, des facteurs de correction ont été appliqués aux mesures afin d'être en cohérence, avec les recommandations européennes d'une part (méthode de mesure gravimétrique pour référence) et avec les méthodes de mesures rapportées dans la littérature pour ce type d'étude épidémiologique d'autre part (méthode gravimétrique également).

Ainsi, après consultation des professionnels de l'Ecole des Mines de Douai (laboratoire de référence), un facteur de correction, différent selon la saison, a été appliqué aux mesures des PM_{10} par le TEOM. Pour Le Havre, ces facteurs étaient les suivants:

- En hiver (niveaux de particules élevés) : 1,25
- En été (niveaux de particules modérés) : 1

L'estimation de ces facteurs était basée sur des campagnes locales de mesures comparatives entre la méthode gravimétrique et la méthode du TEOM.

Certaines villes participant à Aphis ne disposent pas de mesures directes de $PM_{2,5}$ et doivent estimer les niveaux de ce polluant par conversion des niveaux de PM_{10} . Aussi, dans un souci de cohérence des méthodes au sein du programme, les niveaux de $PM_{2,5}$ utilisés au Havre pour l'EIS ont également été obtenus en appliquant un facteur de conversion aux niveaux de PM_{10} précédemment corrigés : ce facteur, fixé au niveau européen, est de 0,7.

Les données d'exposition avaient les caractéristiques suivantes :

- Les mesures utilisées étaient celles de l'année : 2000 pour les PM_{10} et les fumées noires; 2002 pour les $PM_{2,5}$ mesurées.
- Les concentrations moyennes journalières (écart-type) étaient de :
 - 21 (8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} ,
 - 7 (7) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les fumées noires
 - 13 (8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $PM_{2,5}$ mesurées.
- Percentile 5 et percentile 95 :

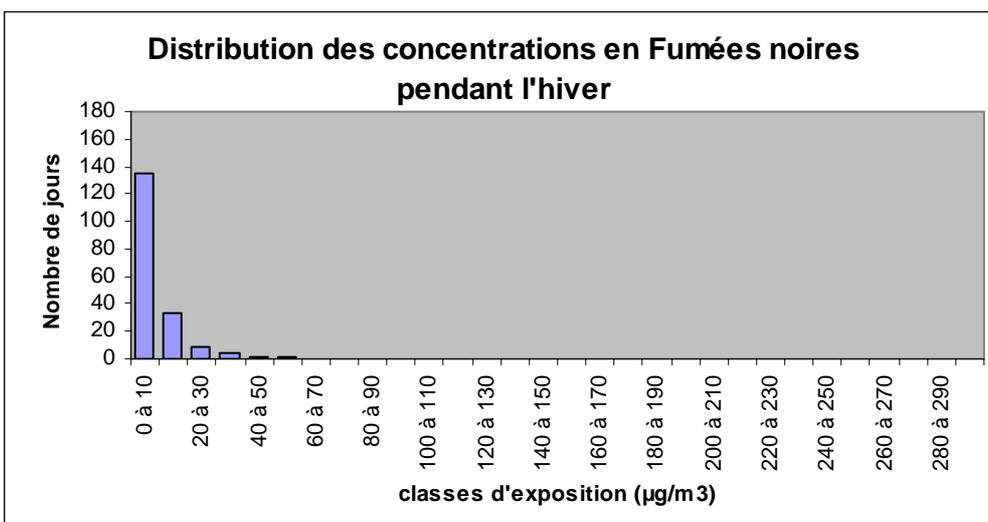
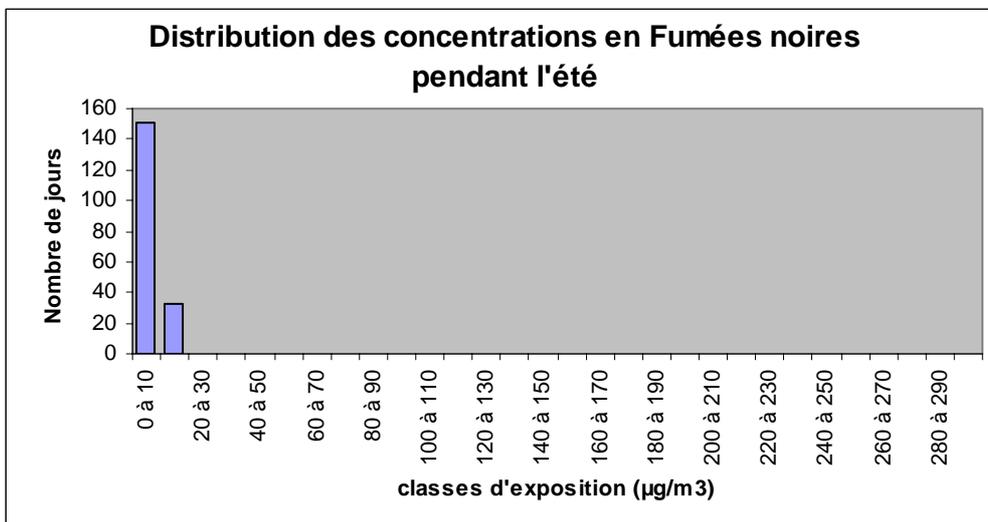
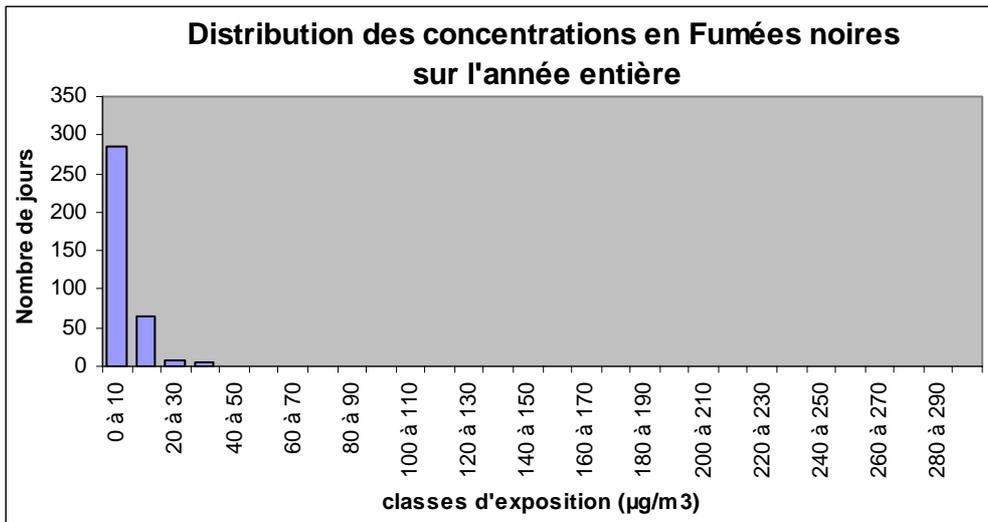
Les niveaux de PM_{10} atteints les 18 jours de l'année les moins pollués (P5) et les plus pollués (P95) étaient respectivement de 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 39 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les fumées noires, ces niveaux étaient respectivement de 2 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 19 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les $PM_{2,5}$, ces niveaux étaient respectivement de 6 et 29 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Les nombres de jour dépassant les valeurs limites réglementaires sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Nombre de jours durant lesquels les concentrations ont dépassé les valeurs limites réglementaires

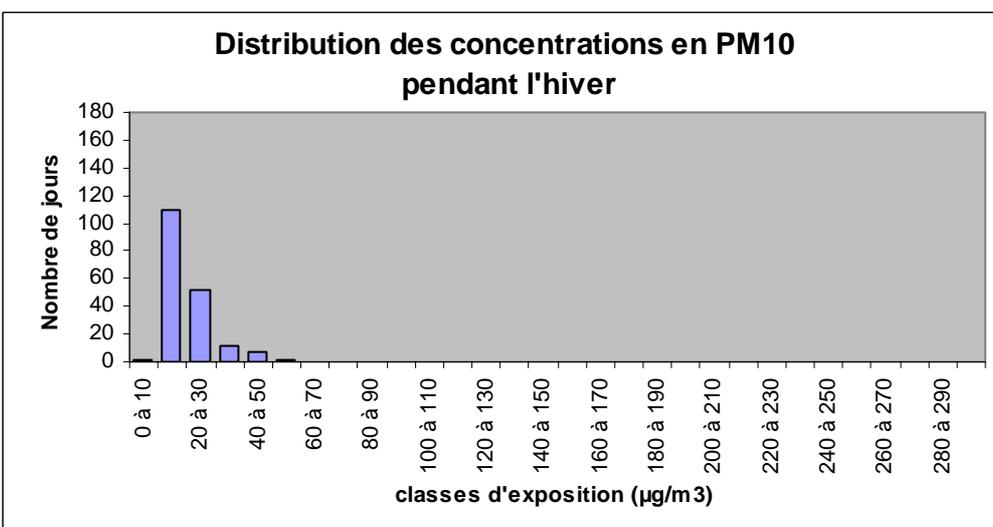
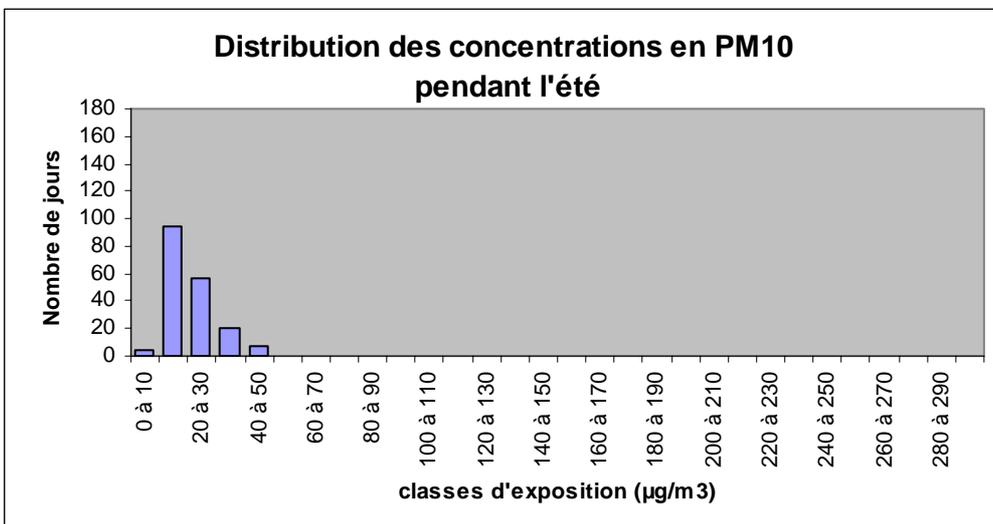
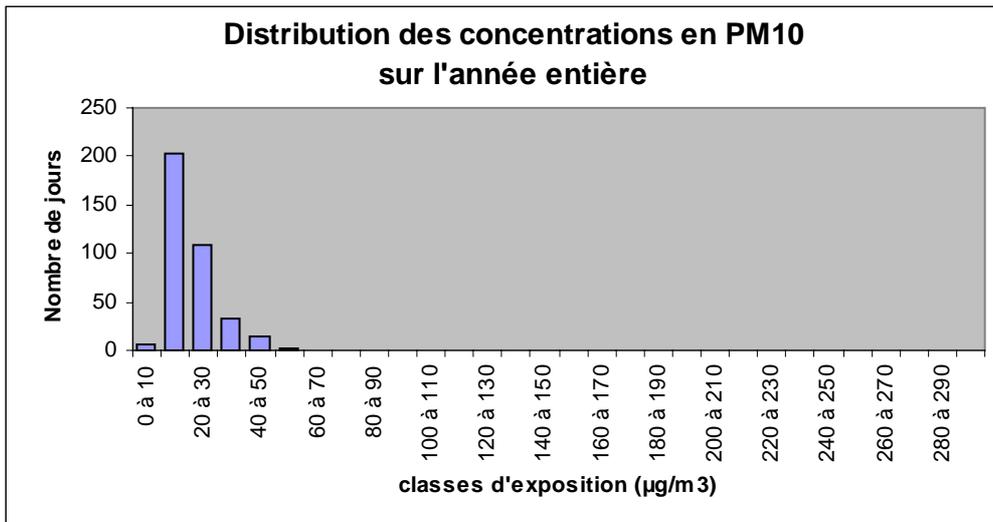
Polluant de l'air	PM₁₀	Fumées noires	PM_{2,5} mesurées
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	20 µg/m ³ 156	20 µg/m ³ 14	14 µg/m ³ 124
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	50 µg/m ³ 2	50 µg/m ³ 1	35 µg/m ³ 9

Les 9 graphiques suivants présentent les distributions des niveaux en fumées noires, PM₁₀ et PM_{2,5} (mesurées) sur l'année entière, l'été et l'hiver. Les profils des distributions ne sont pas très différents entre l'hiver et l'été, cependant les niveaux les plus élevés sont atteints en hiver.

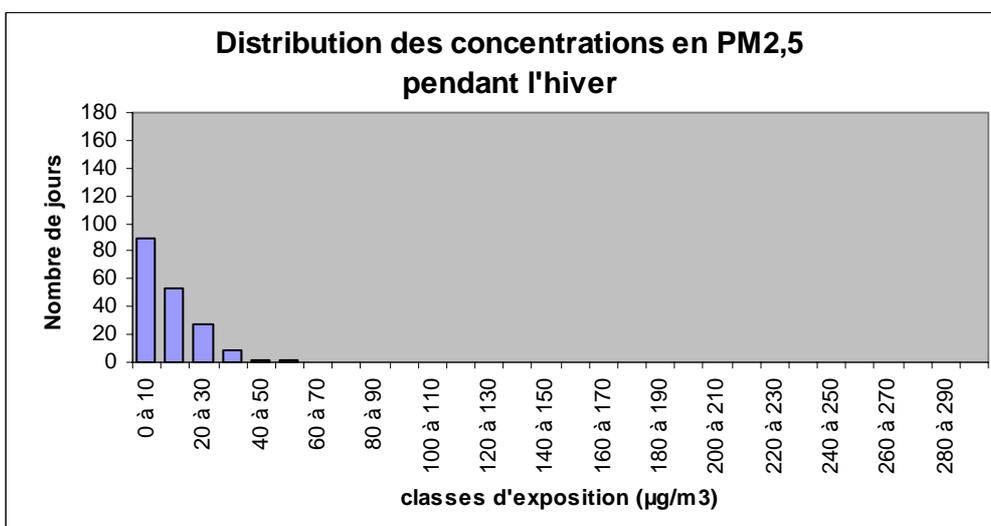
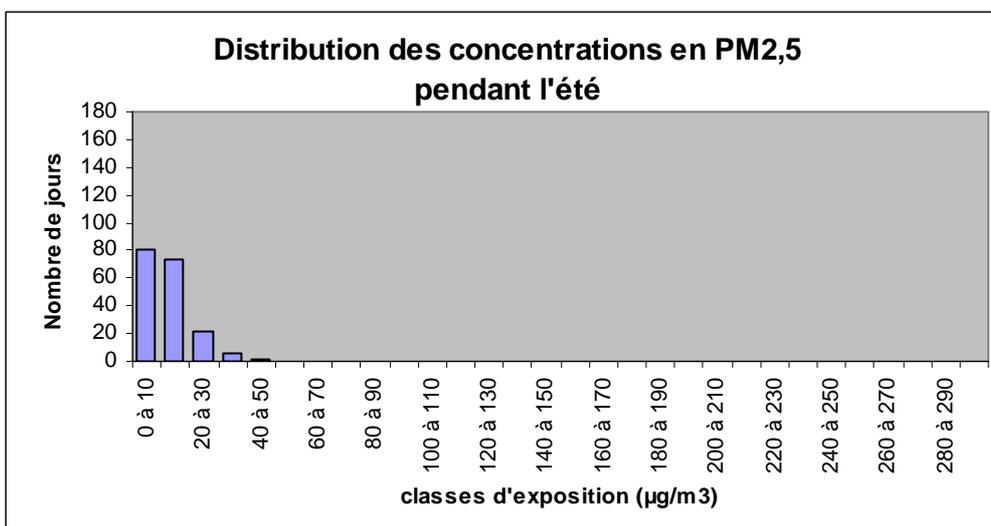
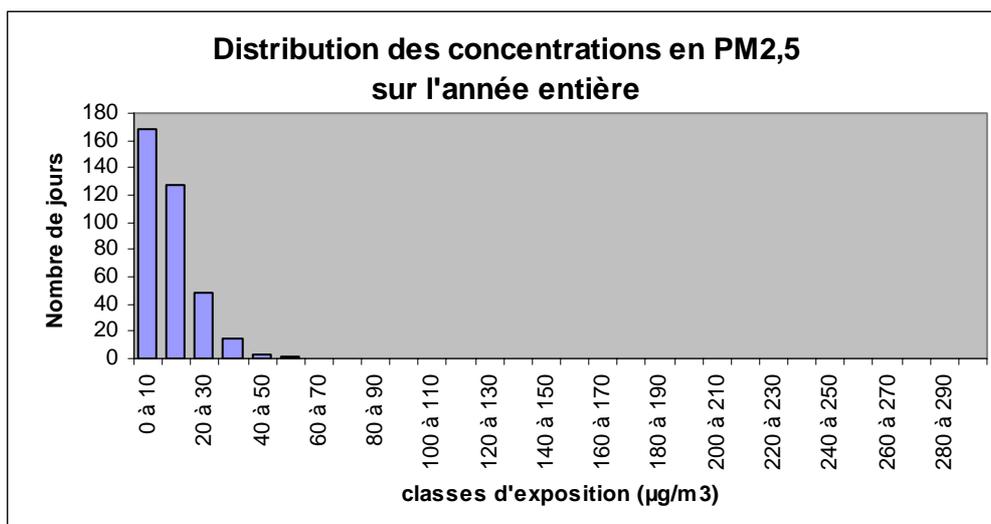
Figures 1,2,3. Distribution des concentrations en fumées noires pour l'année 2000



Figures 4,5,6. Distribution des concentrations en PM10 pour l'année 2000



Figures 7,8,9. Distribution des concentrations en PM2,5 en 2002



Données sanitaires

Les données de mortalité ont été recueillies auprès du service CépiDC de l'Inserm qui enregistre l'ensemble des décès et leurs causes. Les données les plus récentes au moment de l'étude étaient les données de 1999. Les causes de décès étaient codées selon la Classification internationale des maladies – 9ème révision (CIM-9).

Les données d'admissions hospitalières pour pathologies cardiovasculaires et respiratoires sont fournies par l'Agence technique de l'information hospitalière (ATIH) et sont issues du système d'information hospitalière nommé PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information) pour les hôpitaux publics et privés du Havre. Les maladies cardiovasculaires et respiratoires sont codées avec la codification CIM10. Les données étaient disponibles pour l'année 2000 et sont présentées dans le tableau 3.

Des contrôles de qualité par ces services sont menés sur les données d'admissions hospitalières et de mortalité.

Le taux annuel de mortalité standardisé sur l'âge (mortalité toutes causes) était de 870 pour 100 000 habitants. La population européenne était la population de référence² pour ce calcul : 727 304 000 habitants pour l'année 2000.

Le tableau 3 présente, selon l'indicateur sanitaire, le nombre moyen journalier ou le nombre total annuel et les taux pour 100 000 habitants correspondants.

² UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Tableau 3. Nombre moyen journalier, nombre annuel et taux correspondants pour 100 000 habitants, des décès (1999) et des admissions hospitalières (2000).

Indicateur sanitaire	Codes CIM9	Codes CIM10	Moyenne journalière (1) Nombre total annuel (2)	Taux journalier (1) ou annuel (2) pour 100 000 hab.
Impact sanitaire à court terme				
Mortalité toutes causes (hors causes externes)	< 800	A00-R99	5,72 (1)	2,2 (1)
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	1,74 (1)	0,70 (1)
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	0,52 (1)	0,20 (1)
Hospitalisations cardiaques	390-429	I00-I52	6,4 (1)	2,5 (1)
Hospitalisations respiratoires	460-519	J00-J99	7,9 (1)	3,1 (1)
Impact sanitaire à long terme				
Mortalité toutes causes	0-999	A00-Y98	2258 (2)	889 (2)
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 460-519	I10-I70 J00-J99	762 (2)	300 (2)
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	1124 (2)	44 (2)

Évaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios d'exposition ont été utilisés afin d'évaluer l'impact des particules à court et long termes. Au Havre, ces scénarios ont été élaborés pour trois indicateurs de pollution particulaires : fumées noires, PM₁₀ et PM_{2,5}. Il est recommandé d'interpréter avec précaution les résultats : en aucun cas les estimations du nombre de cas attribuables à ces deux polluants ne doivent être ajoutées car ils représentent les effets d'une même pollution.

Différents outils de calculs et relations exposition / risque (Risque Relatif – RR) ont été utilisés pour estimer les impacts sanitaires selon le polluant considéré, l'indicateur sanitaire étudié et la ville concernée. (Tableau 4).

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>Codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)</i>	<i>Villes concernées</i>
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-429	I00-I52		1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)</i>	<i>Villes concernées</i>
<i>Nombres de cas attribuables</i>							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Etude trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,09 (1,03-1,16) 1,14 (1,04-1,23)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		Moyenne Pope, 2002		
<i>Années de vie perdues</i>							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	AirQ	1,09 (1,03-1,16) 1,14 (1,04-1,23)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		Moyenne Pope, 2002		

Différentes approches ont été utilisées pour la présentation des résultats :

- Pour les fumées noires, les résultats des impacts à court terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les PM₁₀, les résultats des impacts à court et long terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les PM_{2,5}, les résultats des impacts à long terme ont été exprimés en termes de :
 - Nombre annuel de décès attribuables
 - Nombre d'années d'espérance de vie perdues pour la première année de simulation.

Scénarios d'exposition pour les impacts à court terme :

Nous avons utilisé les scénarios suivants pour estimer les effets à court terme sur la mortalité et les hospitalisations d'une exposition aux fumées noires et aux PM₁₀ sur une année.

Pour les fumées noires

Les 3 scénarios qui ont été utilisés pour estimer l'impact à court terme des fumées noires sur la mortalité toutes causes (sauf accidentelles), cardiovasculaire et respiratoire sur une année sont les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 50 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur ;
- réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de fumées noires déjà modérés) ;
- réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de fumées noires déjà modérés).

Pour les PM₁₀

Nous avons utilisé 3 scénarios pour estimer les effets à court terme d'une exposition aux PM₁₀ sur la mortalité pour différentes durées d'exposition : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédant l'événement sanitaire (DL). Concernant les admissions hospitalières, les expositions prises en compte étaient uniquement celle du jour de l'événement et de la veille.

Les 3 scénarios d'évolution de l'exposition étaient les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 40 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeurs limites en 2005 et 2010)
- réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés)
- réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés)

Scénarios d'exposition pour les impacts à long terme :

Pour les PM₁₀

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM₁₀ sur la mortalité pour différents scénarios :

- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40 µg/m³ (valeur limite 2005 pour les PM₁₀) ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 20 µg/m³ (valeur limite 2010 pour les PM₁₀) ;
- réduction de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle observée (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés).

Pour les PM_{2,5}

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM_{2,5} en terme de :

- nombre de décès attribuables par an, pour la mortalité toutes causes, cardiorespiratoire et par cancer du poumon ;
- nombre d'années de vie perdues pour la première année de simulation dans la population des 30 ans et plus.

Les différents scénarios sont les suivants :

- réduction de la moyenne annuelle au niveau de 20 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle au niveau de 15 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle de 3,5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{2,5} déjà modérés).

Évaluation de l'impact sanitaire : résultats

Résultats pour les fumées noires

Les graphes suivants illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux fumées noires sur la mortalité toutes causes (sauf accidentelles), cardiovasculaire et respiratoire et sur les hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires. Les données de fumées noires et d'hospitalisation sont de 2000, les données de mortalité sont de 1999.

Figure 10. Impact sanitaire à court terme sur la mortalité toutes causes* et spécifique* pour une réduction des fumées noires à 50 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

*mortalité toutes causes sauf accidentelle (CIM9 < 800), cardiovasculaire (CIM9 390-459) et respiratoire (CIM9 460-519).

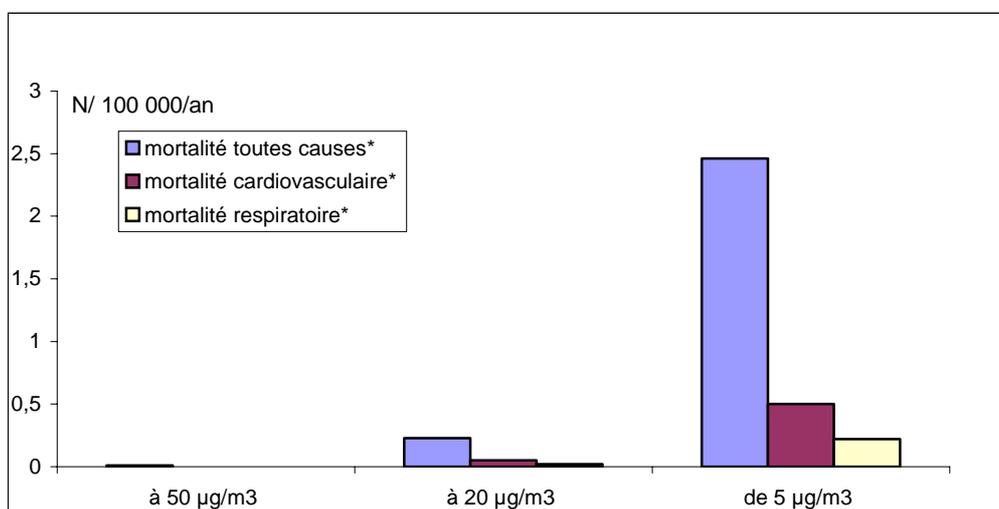
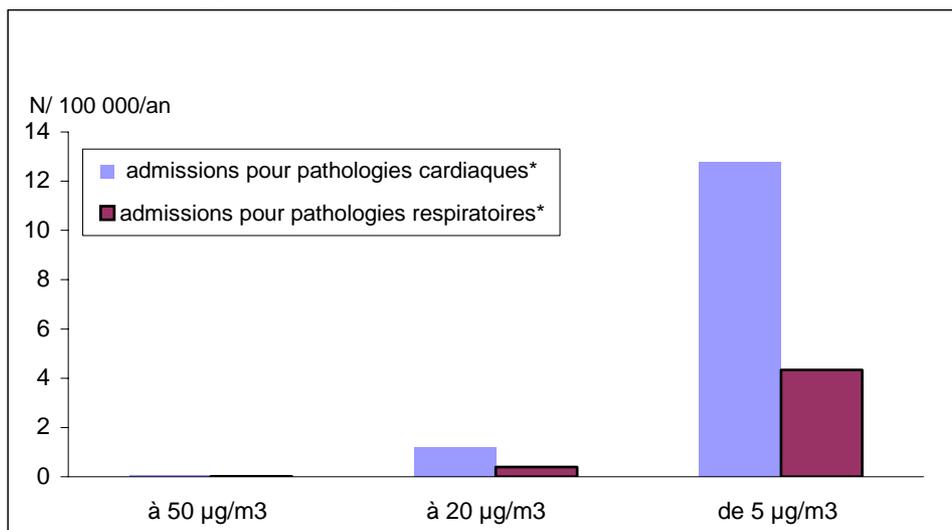


Figure 11. Impact sanitaire à court terme sur les hospitalisations pour une réduction des fumées noires à 50 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



*admissions hospitalières pour pathologies cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

Résultats pour les PM_{10}

1. Résultats concernant la mortalité

Les graphes suivants illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux PM_{10} sur la mortalité pour les différentes durées d'exposition considérées : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL) et une exposition chronique (LT). Les données de PM_{10} sont celles de l'année 2000 et les données de mortalité de 1999.

Figure 12. Impacts sanitaires des PM10 sur la mortalité toutes causes pour des réductions à 50/40, 20 µg/m³ et de 5 µg/m³. Expositions de 0-1 j (ST), 40 j (DL), chronique (LT)

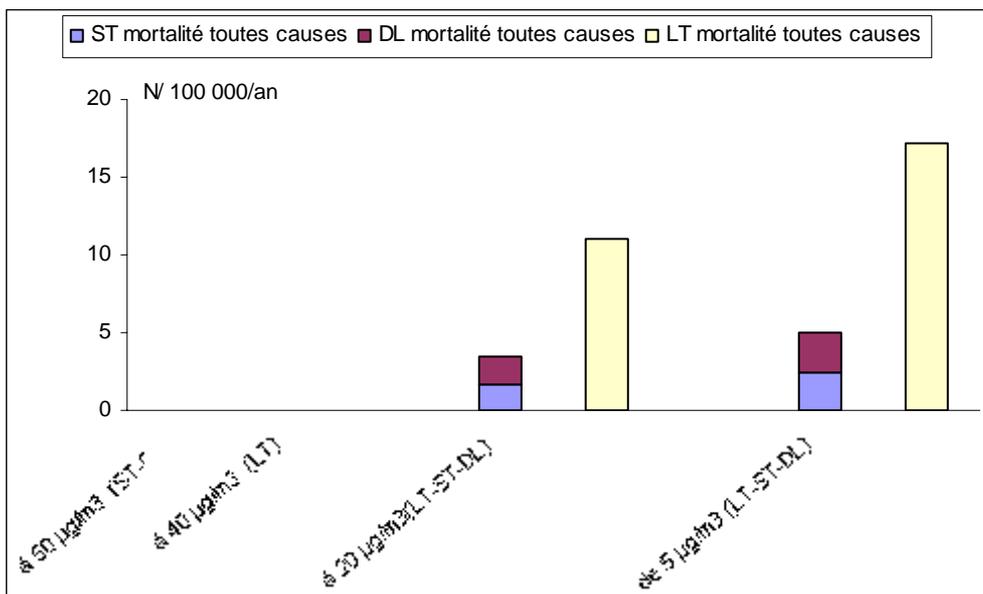
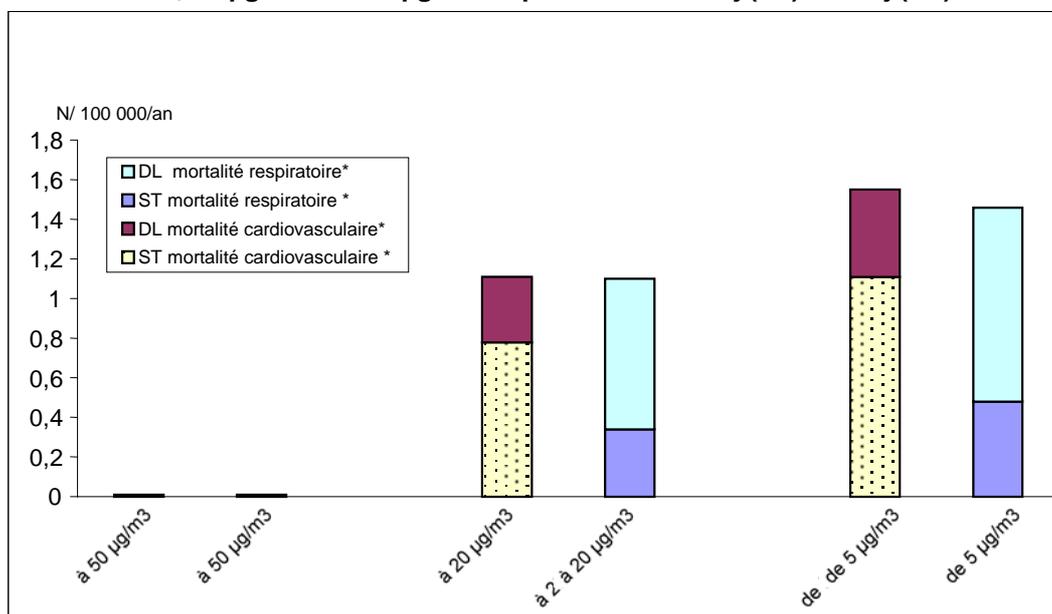


Figure 13. Impacts sanitaires des PM10 sur la mortalité respiratoire et cardiovasculaire pour des réductions à 50, 20 µg/m³ et de 5 µg/m³. Expositions de 0-1 j (ST) et 40 j (DL).



*mortalité cardiovasculaire (CIM9 390-459) et respiratoire (CIM9 460-519).

Le premier scénario (réduction de toutes les valeurs journalières à 50 µg/m³) n'a qu'un impact sanitaire négligeable au Havre en raison de niveaux observés déjà modérés.

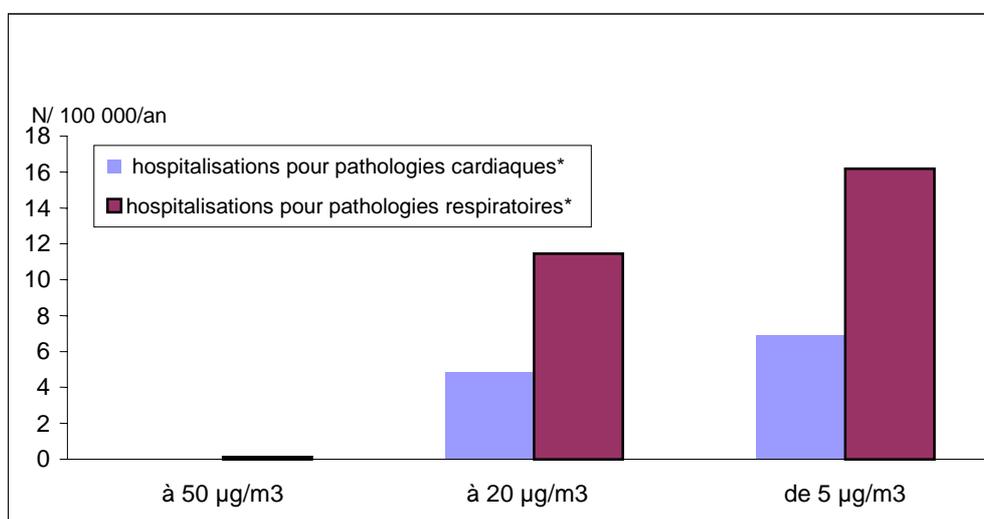
Les résultats montrent que l'impact sanitaire d'une exposition chronique aux PM₁₀ est d'environ 2 fois plus important que l'impact d'une exposition cumulée sur 40 jours qui est lui-

même plus important que l'impact d'une exposition sur 0-1 jours. Cela signifie que plus la durée d'exposition est longue et plus l'impact sanitaire est important et que les effets sont cumulatifs dans le temps.

2. Résultats concernant les admissions hospitalières

La figure 14 présente les impacts à court terme des PM₁₀ sur les hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires. Les données de PM₁₀ et d'admissions hospitalières sont celles de l'année 2000.

Figure 14. Impact sanitaire à court terme des PM10 sur les hospitalisations cardiaques et respiratoires pour des réductions à 50, 20 et de 5 µg/m³.



*admissions hospitalières pour pathologies cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

L'impact sanitaire, en nombre de cas, sur les admissions respiratoires est plus important que l'impact sur les admissions cardiaques car ces dernières sont moins fréquentes, toutes choses égales par ailleurs. Comme dans les graphes précédents, le premier scénario (réduction de tous les niveaux journaliers à 50 µg/m³) conduit à un impact négligeable en raison de niveaux déjà modérés de PM₁₀.

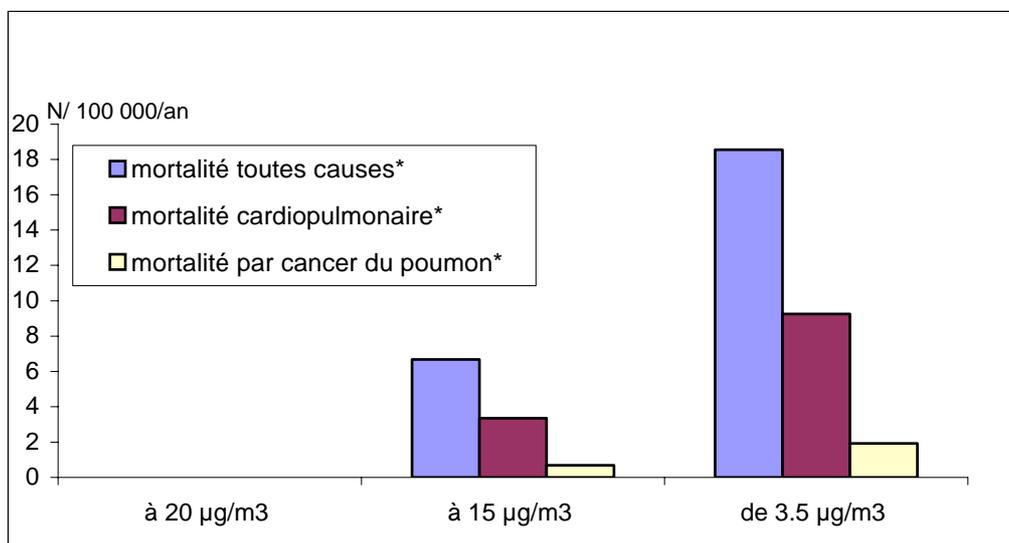
Résultats pour les PM_{2,5}

1. Nombre de cas attribuables

Les figures suivantes présentent l'impact à long terme de la pollution de l'air en terme de taux (pour 100 000 habitants) de décès toutes causes, cardio-pulmonaires et par cancer du poumon attribuables à une exposition chronique aux PM_{2,5}. Ces dernières, pour des raisons de cohérence entre les différentes villes européennes, ont été obtenues par conversion des

données PM₁₀ de l'année 2000, elles-mêmes corrigées pour prendre en compte la technique de mesure (voir paragraphe « Données d'exposition »).

Figure 15. Impact à long terme des PM_{2,5} sur la mortalité pour des réductions de la moyenne annuelle à 20 et 15 µg/m³ et de 3,5 µg/m³.



* mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

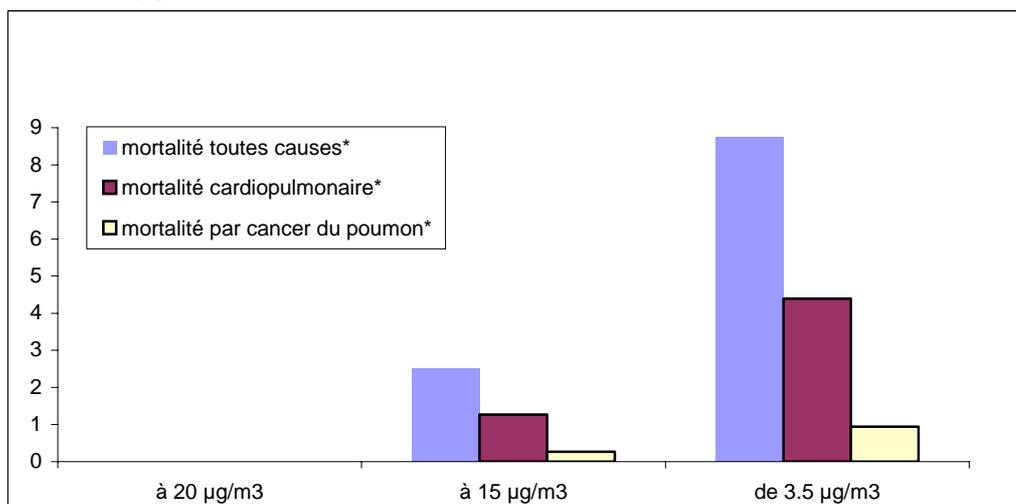
La moyenne annuelle en PM_{2,5} (calculé) étant de 16 µg/m³, le 1^{er} scénario (diminution à 20 µg/m³) n'a aucun impact et l'impact du second scénario (diminution à 15 µg/m³) est très faible. Le 3^{ème} scénario (diminution de 3,5 µg/m³) est donc celui qui a le plus grand impact sanitaire.

2. Années potentielles de vie perdues

Nous avons estimé les années potentielles de vie perdues attribuables à une exposition chronique aux PM_{2,5} en utilisant les données de l'année 2000 obtenues par conversion des données de PM₁₀ corrigées.

La figure 16 présente les années potentielles de vies perdues pour la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon pour la population âgée de 30 ans et plus de la zone d'étude du Havre.

Figure 16 : Années potentielles de vie perdues liées à une exposition chronique aux PM_{2,5} et dues aux décès survenus en 2000. Population des 30 ans et plus - Scénarios de réductions à 20, 15 et de 3,5 µg/m³.



*mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

Pour les décès toutes causes, et toutes choses égales par ailleurs, une réduction de 3,5 µg/m³ du niveau de PM_{2,5} en 2000 aurait pu éviter de perdre 22 années de vie pour la totalité des habitants de la zone d'étude de Rouen âgés de 30 ans et plus (254 585 habitants). Pour la mortalité cardio-pulmonaire, ce chiffre est d'environ 11 années tandis que pour la mortalité par cancer du poumon, il est de plus de 2 années. Le tableau 5 présente ces résultats en termes d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation potentielle pour une réduction du niveau des PM_{2,5} (moyenne annuelle) à 15 µg/m³ au Havre.

Age	Espérance de vie	Gain potentiel d'espérance de vie (années)		
		moyenne	Estimation basse	Estimation haute
À la naissance	77,37	0,07	0,02	0,11
À 30 ans	48,26	0,07	0,02	0,12
À 65 ans	18,23	0,05	0,01	0,08

Ce tableau doit être interprété de la façon suivante : toutes choses égales par ailleurs, si la moyenne annuelle des concentrations en PM_{2,5} (16µg/m³) étaient réduits à 15 µg/m³, les 48,26 années d'espérance de vie d'une personne de 30 ans augmenteraient de 0,07 année dans l'agglomération du Havre.

Interprétation des résultats

Concernant les données utilisées, un certain nombre de commentaires peuvent être faits :

- Estimation de l'exposition : afin de réduire les biais de classification potentiels concernant l'exposition, la zone d'étude a été définie sur des critères d'homogénéité de la pollution atmosphérique ambiante. Cette zone ne doit pas présenter de rupture d'urbanisation, et le lieu de travail de la majorité de la population active doit être situé dans cette même zone. Enfin, l'homogénéité des niveaux de pollution observés sur la zone a été contrôlée sur des séries annuelles de mesures pour plusieurs stations de fond pour les Fumées noires et les particules.
- Indicateurs sanitaires : la principale lacune des données sanitaires réside dans le fait que les données des services d'urgence ne sont pas disponibles. Ainsi, l'ensemble des admissions en service « traditionnel » a été utilisé pour les calculs, y compris des admissions qui peuvent être programmées et donc non concernées par les effets à court terme de la pollution atmosphérique. Aussi, l'impact sanitaire sur les hospitalisations a-t-il pu être surestimé.

Néanmoins, ces résultats montrent que pour l'agglomération du Havre, les concentrations journalières étant très proche des futures valeurs réglementaires de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} et les Fumées noires et de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$, une réduction des concentrations en dessous de ces valeurs n'entraîneraient qu'un faible gain sanitaire.

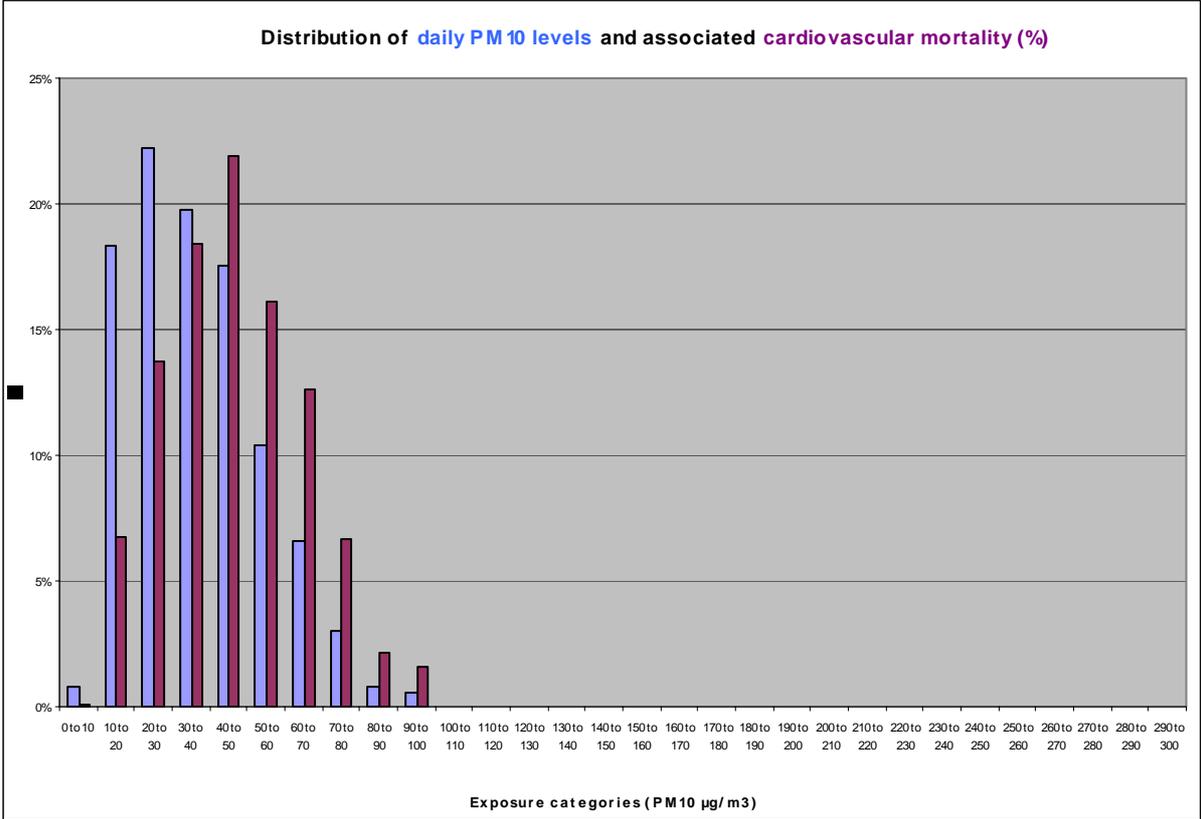
A travers l'étude de l'impact des PM_{10} , on observe que l'impact sanitaire augmente avec la durée de l'exposition : l'impact à long terme est plus important que l'impact de 40 jours d'exposition, lui-même plus important que l'impact d'une exposition de 2 jours.

Les résultats montrent aussi que, même pour les niveaux mesurés actuellement, un gain sanitaire peut être potentiellement obtenu par une amélioration de la qualité de l'air, comme le montre les résultats du scénario de réduction de la moyenne annuelle en $\text{PM}_{2,5}$ de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ceci est encore plus visible à travers les résultats présentés en terme d'années de vie perdues.

En terme de gestion de la qualité de l'air, cela peut se traduire de la façon suivante : il est plus efficace au plan sanitaire de réduire à long terme les niveaux de pollution, même faiblement, que de supprimer les pics ponctuels de pollution.

La figure suivante illustre cet aspect en comparant la part relative de l'impact des pics, présents que quelques jours par an, en comparaison à l'exposition de tous les jours à des plus faibles niveaux de pollution. Dans cet exemple, seulement 4% de l'impact sanitaire est attribuable des niveaux de PM₁₀ supérieur à 80 µg/m³, contre 96 % pour les faibles niveaux de PM₁₀.

Figure 17 : distribution journalière des niveaux de PM10 et pourcentages de cas attribuables associés à court terme



Conclusion

Ces résultats complètent ceux présentés dans le rapport Apehis 2 pour l'agglomération du Havre avec une estimation de l'impact des particules PM_{10} et $PM_{2,5}$. Ils confirment que des gains sanitaires peuvent être potentiellement obtenus par l'amélioration de la qualité de l'air même dans des villes où la pollution atmosphérique est d'ores et déjà modérée.

Au niveau local, le Plan de protection de l'atmosphère étant encore en cours de rédaction, il est encore trop tôt pour évaluer l'impact réel de l'information apportée par les évaluations d'impact sanitaire (Apehis et Psas-9). Un groupe de travail sur la thématique "Air et santé" a été créé afin de prendre en compte les effets sanitaires de la pollution de l'air dans les choix politiques qui seront pris dans le cadre de ce plan. Les résultats des études du PSAS-9 et d'Apehis y sont d'ores et déjà mentionnés.

En conclusion, les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire et leur interprétation devront apporter aux partenaires et décideurs locaux des informations sanitaires et les aider dans leur choix de politique de réduction et de prévention des risques associés à la pollution de l'air.

La communication vers le grand public sur les effets de la pollution de l'air sur la santé et sur les résultats des évaluations d'impact devra être développée, notamment dans le cadre du Plan de protection de l'atmosphère.

APHEIS

Air Pollution and Health: A European
Information System

Situation à Lille

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Pascal Fabre, Hélène Prouvost, Christophe Declercq

Juillet 2004

Résumé des principaux résultats

Dans la communauté urbaine de Lille, le trafic routier est la principale source de pollution atmosphérique. En terme de bénéfice à long terme nous avons estimé qu'une réduction de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux journaliers de pollution par les $\text{PM}_{2,5}$ pourrait réduire la mortalité non spécifique à Lille de 8 décès par an. De la même façon, si les niveaux moyens journaliers de PM_{10} pouvaient être maintenus en deçà de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 190 décès et environ 600 admissions hospitalières pourraient être évités par an à Lille.

Contexte

Dans le Nord de la France, le territoire de la communauté urbaine Lille métropole s'étend sur environ 612 km^2 pour une population de plus d'un million d'habitants, répartis sur 86 communes dont les 4 principales sont Lille, Roubaix, Tourcoing et Villeneuve d'Ascq. La population est relativement jeune comparée à d'autres villes françaises avec seulement 12,8% de personnes âgées de plus de 65 ans. La région lilloise est plate, largement balayée par les vents d'ouest. Elle bénéficie d'un climat tempéré sous influence de la mer, caractérisé par des températures modérées ainsi que par une nébulosité et une pluviométrie moyennes. Lille bénéficie d'environ 1900 heures d'ensoleillement par an.

Situé au cœur de l'Europe, la zone métropole de Lille est caractérisée par un réseau routier dense, marqué par la présence de plusieurs carrefours autoroutiers nationaux et internationaux (A1, A22, A23, A25). De plus, le trafic routier entre la périphérie et le centre de la métropole est important. En 1997, environ 4,7 millions de navettes quotidiennes étaient effectuées à l'intérieur de la métropole, 61% en voiture personnelle et seulement 8% par les transports publics.

Pertinence de cette étude d'impact sanitaire

Depuis 1999, et en accord avec la réglementation, la région Nord-Pas-de-Calais dispose d'un Plan régional de la qualité de l'air (PRQA). Par ailleurs, en janvier 2001, un Plan de protection de l'atmosphère (PPA) a été élaboré dans la région Lille-Métropole. Son objectif est de mettre en place les mesures nécessaires pour le respect des normes européennes en matière de pollution aérienne par le SO_2 , les oxydes d'azote, les particules, les fumées noires, le monoxyde de carbone, et l'ozone. Il propose des mesures globales pour une réduction à long terme des émissions des polluants industriels et une politique des transports sur la métropole : Un Plan de déplacements urbains (PDU) a été adopté en 2000 par la communauté urbaine de Lille.

Les sources de pollution atmosphérique

Les données sur les différentes sources d'émissions dans la communauté urbaine de Lille ont été présentées en détail dans le précédent rapport Apehis (www.apheis.org). La principale source de pollution dans la communauté urbaine de Lille est le trafic routier responsable de 72% des émissions de NO_x, 66% des émissions de CO et de 42 % des composés volatiles organiques non aromatiques. Les industries continuent à jouer un rôle important avec 49 % des émissions de SO₂ (tableau 1).

Tableau 1. Principales sources d'émission polluante à Lille *

Polluant	Routes (%)	Chauffage (%)	Industrie (%)
NOx	72	10	18
CO	66	32	2
COV	42	26	33
SO2	24	27	49

* Sources CITEPA 1994

Données d'exposition

Les données de pollution atmosphérique ont été fournies par le réseau de surveillance de la qualité de l'air de la métropole lilloise, ATMO Nord Pas-de-Calais. Les valeurs moyennes des 24 heures collectées par les stations urbaines de fond ont été utilisées pour cette étude d'impact sanitaire. Chaque jour, la moyenne des 24 heures a été validée seulement si moins de 25% des mesures horaires étaient manquantes. Lorsque qu'une ou plusieurs données journalières étaient manquantes, celles-ci ont été remplacées en utilisant la méthode des moyennes saisonnières ou par régression linéaire selon la durée de la période de données manquantes.

Les particules (PM₁₀) particules fines (PM_{2,5}) sont mesurées à Lille par la méthode TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance). L'indicateur des PM₁₀ correspond à la moyenne arithmétique des données collectées dans 6 stations urbaines de fond (Faidherbe, Fives, Tourcoing, Marcq en Baroeul, Lomme, Villeneuve d'Ascq) (Figure 1).

L'indicateur d'exposition par les PM₁₀ est la moyenne arithmétique des données mesurées dans deux stations urbaines : une station de proximité automobile (Faidherbe) et une station urbaine de fond (Lomme). D'autre part une estimation des concentrations en PM_{2.5} a été calculée à partir d'une conversion des mesures de PM₁₀ provenant de chacune de ces deux même stations.

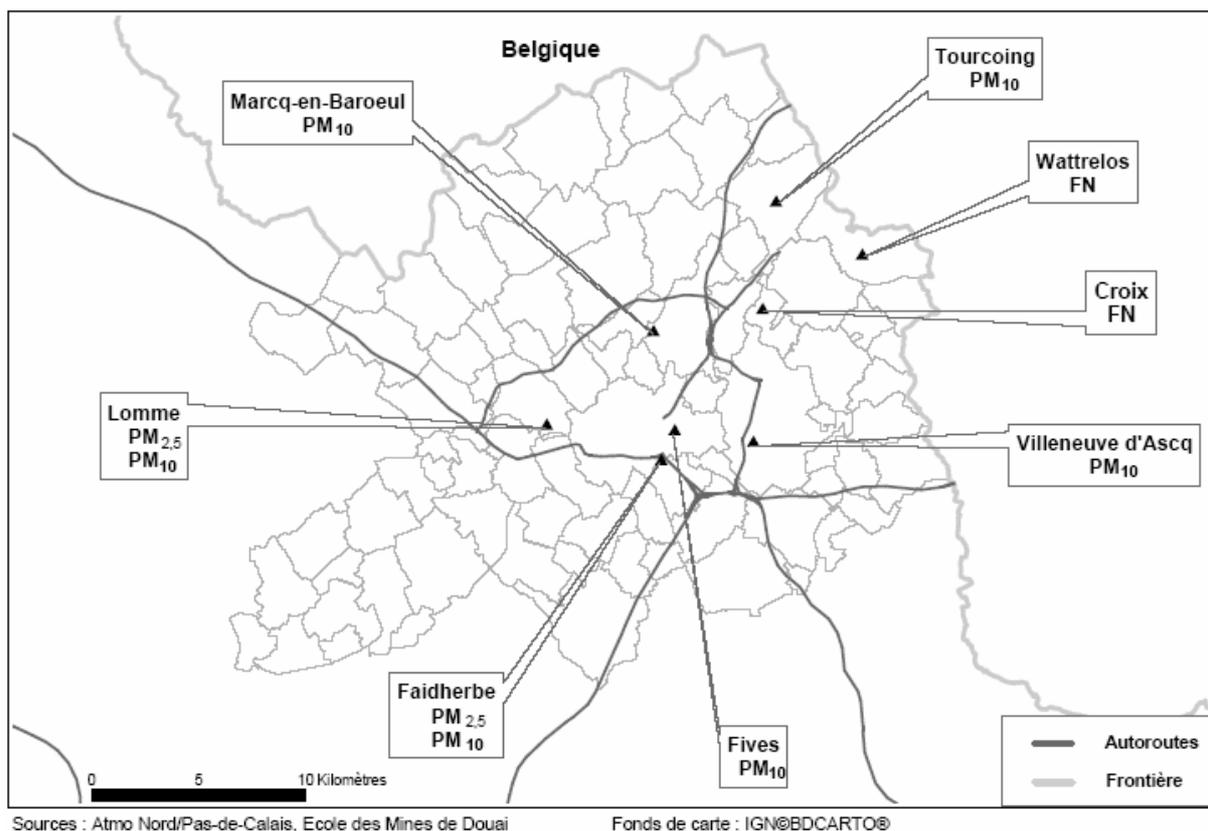
Les fumées noires sont mesurées par réflectométrie par le réseau manuel de surveillance de la qualité de l'air de l'Ecole des Mines de Douai depuis 1997. L'indicateur d'exposition est la moyenne arithmétique issue de deux stations urbaines de fond (Croix et Wattrelos).

Les données d'exposition utilisées dans le cadre de cette étude Apehis 3 avaient les caractéristiques suivantes :

- les mesures de pollution utilisées étaient celles de l'année 2001 ;

- les concentrations moyennes journalières (écart type) étaient de :
 - 10 (4) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les fumées noires ;
 - 26 (15) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} ;
 - 16 (11) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$ mesurées.
- les niveaux de fumées noires atteints les jours de l'année les moins pollués (P5) et les plus pollués (P95) étaient respectivement de 6 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 18 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les PM_{10} , ces niveaux étaient respectivement de 12 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 48 $\mu\text{g}/\text{m}^3$;
- pour les $\text{PM}_{2,5}$, ces niveaux étaient respectivement de 7 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et 31 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

Figure 1 : Localisation des stations urbaines de fond dans la métropole de Lille



Pour les calculs d'impact sanitaire à long terme des PM_{10} et des $\text{PM}_{2,5}$, des facteurs de correction ont été appliqués aux mesures afin d'être en cohérence avec les recommandations européennes d'une part (méthode de mesure gravimétrique pour référence) et avec les méthodes de mesures rapportées dans la littérature pour ce type d'étude épidémiologique d'autre part.

Ainsi, après consultation des professionnels de l'Ecole des Mines de Douai (laboratoire de référence), un facteur de correction, différent selon la saison, a été appliqué aux mesures des PM_{10} par TEOM.

Pour Lille, ces facteurs étaient les suivants:

- en été (niveaux de particules modérés) (1^{er} avril, au 30 septembre) = 1,185 ;
- en hiver (niveaux de particules élevés) (1^{er} octobre au 31 mars) = 1,271.

Afin de pouvoir comparer nos résultats avec d'autres villes européennes qui n'avaient pas de mesures directes de PM_{2,5}, nous avons aussi, à Lille, calculé un indicateur estimé des niveaux de PM_{2,5}, en appliquant un facteur de conversion aux niveaux de PM₁₀ précédemment corrigés. Ce facteur, estimé à partir de mesures locales, est de 0,66.

Les tableaux 2a et 2b présentent les nombres de jours de dépassement des valeurs réglementaires pour, respectivement, les mesures directes et les mesures corrigées.

Tableau 2a. Nombre de jours durant lesquels les concentrations ont dépassé les valeurs limites réglementaires - Méthode TEOM pour particules, Réflectométrie pour fumées noires.

	PM₁₀ directes*	fumées noires	PM_{2,5} directes*
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé les valeurs réglementaires	20 µg/m ³ 158	20 µg/m ³ 14	14 µg/m ³ 159
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé les valeurs réglementaires	50 µg/m ³ 12	50 µg/m ³ 0	35 µg/m ³ 15

* Mesures TEOM non corrigées

Tableau 2b. Nombre de jours durant lesquels les concentrations ont dépassé les valeurs limites réglementaires - Extrapolation des mesures particulières en mesures gravimétriques*

Polluants de l'air	PM₁₀ corrigées	PM_{2,5} converties
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé les valeurs réglementaires	20 µg/m ³ 221	14 µg/m ³ 206
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé les valeurs réglementaires	50 µg/m ³ 16	35 µg/m ³ 15

*Mesures de PM₁₀ corrigées en mesures gravimétriques, puis conversion en PM_{2,5} en utilisant un facteur de 0,66.

Les tableaux suivants présentent les distributions des différents indicateurs : fumées noires, PM₁₀ corrigées, PM_{2,5} directes, PM₁₀ directes.

Tableau 3a. Distribution des mesures de Fumées noires (2001)

Paramètres de distribution	Année	Période d'été	Période d'hiver
Nombre de jours	365	183	182
Minimum	2	4	2
Percentile 5	6	6	6
Percentile 25	8	8	8
Médiane	9	9	9
Percentile 75	10	10	12
Percentile 95	18	13	21
Percentile 98	22	14	23
Maximum	28	19	28
Moyenne journalière	10	9	1
Ecart type	4	2	5
Valeurs manquantes	0%	0%	0%

Tableau 3b. Distribution des mesures PM₁₀ corrigées (2001)

Paramètres de distribution	Année	Période d'été	Période d'hiver
Nombre de jours	365	183	182
Minimum	9	10	9
Percentile 5	12	13	11
Percentile 25	17	17	17
Médiane	23	22	24
Percentile 75	31	28	34
Percentile 95	48	42	63
Percentile 98	67	46	73
Maximum	144	73	144
Moyenne journalière	26	24	28
Ecart type	15	10	18
Valeurs manquantes	0%	0%	0%

Tableau 3c. Distribution des mesures directes de PM_{2,5} par TEOM (2001)

Paramètres de distribution	Année	Période d'été	Période d'hiver
Nombre de jours	358	182	176
Minimum	5	5	6
Percentile 5	7	7	7
Percentile 25	9	9	9
Médiane	13	12	14
Percentile 75	18	17	19
Percentile 95	31	25	39
Percentile 98	42	31	47
Maximum	111	43	111
Moyenne journalière	16	14	17
Ecart type	11	6	14
Valeurs manquantes	0%	0%	0%

Tableau 3d. Distribution des mesures directes de PM₁₀ (2001) par TEOM

Paramètres de distribution	Année	Période d'été	Période d'hiver
Nombre de jours	365	183	182
Minimum	7	9	7
Percentile 5	10	11	9
Percentile 25	14	14	13
Médiane	19	18	19
Percentile 75	25	24	27
Percentile 95	39	35	50
Percentile 98	53	39	57
Maximum	114	62	114
Moyenne journalière	21	20	22
Ecart type	12	8	14
Valeurs manquantes	0%	0%	0%

Données sanitaires

Les données de mortalité ont été recueillies auprès du service de l'Inserm qui enregistre en France l'ensemble des décès et leurs causes (Cepi-DC). Les données les plus récentes au moment de l'étude étaient les données de 1999. Les causes de décès étaient codées selon

la Classification internationale des maladies – 9ème révision (CIM-9). Le taux annuel de mortalité standardisé sur l'âge (mortalité toutes causes) était de 950 pour 100 000 habitants. La population européenne de l'année 2000 étant la population de référence³

Les données d'admissions hospitalières pour pathologies cardiovasculaires et respiratoires ont été fournies par l'Agence technique de l'information hospitalière (ATIH) et sont issues du système d'information hospitalière nommé PMSI (Programme de médicalisation des systèmes d'information) pour les 6 hôpitaux publics et 6 établissements privés de Lille. Les maladies cardiovasculaires et respiratoires ont été codées avec la classification CIM10. Les données étaient disponibles pour l'année 2001 et sont présentées dans le tableau 4. Des contrôles de qualité par ces services ont été menés sur les données d'admissions hospitalières et de mortalité.

Tableau 4. Nombre moyen journalier et taux annuel pour 100 000 des décès (1999) et des admissions hospitalières (2001)

Indicateur sanitaire	CIM9	CIM10	Nombre moyen journalier	Taux pour 100 000 hab
Impact sanitaire à court terme				
Mortalité toutes causes (hors causes externes)*	< 800	A00-R99	23	765,92
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	7	138,10
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	2	71,64
Hospitalisations cardiaques	390-429	I00-I52	5	164,82
Hospitalisations respiratoires	460-519	J00-J99	30	987,3
Impact sanitaire à long terme			32	1072,3
Mortalité toutes causes	0-999	A00-Y98		
	401-440	I10-I70	25	822,45
Mortalité cardio-pulmonaire	460-519	J00-J99	9	291,52
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	1	45,8

3 UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Evaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios d'exposition ont été utilisés afin d'évaluer l'impact des particules à court et long termes. A Lille, ces scénarios ont été élaborés pour trois indicateurs de pollution particulaire : fumées noires, PM₁₀ et PM_{2,5}. En aucun cas les estimations du nombre de cas attribuables à ces deux polluants ne doivent être ajoutées car elles représentent différentes estimations de l'effet du même type de pollution.

Une feuille de calcul similaire à celle du programme PSAS-9 (<http://www.invs.sante.fr/surveillance/psas9/>) a été spécialement développée et utilisée dans ce programme Apheis (www.apheis.org).

L'ensemble des relations exposition / risque utilisés pour estimer les impacts sanitaires selon le polluant considéré et l'indicateur sanitaire étudié est présenté dans le tableau suivant (tableau 5).

Tableau 5 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

Polluant	Indicateur sanitaire	codes CIM-9	codes CIM-10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg.m ⁻³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ.m ⁻³ Réduction à 20 µ.m ⁻³ Réduction de 5 µ.m ⁻³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,011(1,0062- 1,016)		
PM_{2,5}	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	RR convertis à partir des RR PM ₁₀	3 scénarios : Réduction à 35 µ.m ⁻³ Réduction à 14 µ.m ⁻³ Réduction de 3,5 µ.m ⁻³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99				
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99				
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52				
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99				
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ.m ⁻³ Réduction à 20 µ.m ⁻³ Réduction de 5 µ.m ⁻³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,003 (0,998-1,007)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,012(1,008 - 1,016)	3 scénarios : Réduction à 50 µ.m ⁻³ Réduction à 20 µ.m ⁻³ Réduction de 5 µ.m ⁻³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-429	I00-I52		1,019(1,014 - 1,025)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,042 (1,011 - 1,074)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 5 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

Polluant	Indicateur sanitaire	codes CIM-9	codes CIM-10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance à 95%) pour une augmentation de 10 $\mu\text{g.m}^{-3}$	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)	Villes concernées
Nombres de cas attribuables							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061)	3 scénarios : Réduction à 40 μm^{-3} Réduction à 20 μm^{-3} Réduction de 5 μm^{-3}	Villes mesurant les PM ₁₀
					Etude trilatérale Apheis 2		
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98	Feuille de calcul Psas-9	1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios : Réduction à 20 μm^{-3} Réduction à 15 μm^{-3} Réduction de 3,5 μm^{-3}	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99		1,09 (1,03-1,16)		
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23)		
					Moyenne Pope, 2002		
Années de vie perdues							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98	AirQ	1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios : Réduction à 20 μm^{-3} Réduction à 15 μm^{-3} Réduction de 3,5 μm^{-3}	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99		1,09 (1,03-1,16)		
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23)		
					Moyenne Pope, 2002		

Différentes approches ont été utilisées pour la présentation des résultats. Pour les fumées noires et les PM₁₀, les résultats des impacts à court et long terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables. Pour les PM_{2,5}, les résultats des impacts à long terme ont été exprimés en termes de :

- nombre annuel de décès attribuables ;
- nombre d'années de vie perdues pour la première année de simulation.

Scénarios d'exposition pour les impacts à court terme

Nous avons utilisé les scénarios suivants pour estimer les effets à court terme sur la mortalité et les hospitalisations de l'exposition aux fumées noires et aux PM₁₀ sur une année.

Pour les fumées noires

Les 3 scénarios qui ont été utilisés pour estimer l'impact à court terme sur une année des fumées noires sur la mortalité toutes causes (hors accidents et morts violentes), cardiovasculaire et respiratoire sur une année sont les suivants :

réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 50 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur ;

réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (ce scénario permet de considérer l'impact d'une réduction de la pollution particulaire dans les villes avec des niveaux faibles de fumées noires) ;

réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (ce scénario permet de considérer l'impact d'une réduction de la pollution particulaire dans les villes avec des niveaux faibles de fumées noires).

Pour les PM₁₀

Nous avons estimé les effets à court terme d'une exposition aux PM₁₀ sur la mortalité pour deux durées d'exposition : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL). Concernant les admissions hospitalières, les expositions prises en compte étaient uniquement celle du jour de l'événement et de la veille.

Les 3 scénarios d'évolution de l'exposition étaient les suivants :

réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 40 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeurs limites en 2005 et 2010) ;

réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (ce scénario permet de considérer l'impact d'une réduction de la pollution particulaire dans les villes avec des niveaux faibles de PM₁₀) ;

réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (ce scénario permet de considérer l'impact d'une réduction de la pollution particulaire dans les villes avec des niveaux faibles de PM₁₀).

Scénarios d'exposition pour les impacts à long terme

Pour les PM₁₀

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM₁₀ sur la mortalité pour différents scénarios :

- ◆ réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40 µg/m³ (valeur limite 2005 pour les PM₁₀) ;
- ◆ réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 20 µg/m³ (valeur limite 2010 pour les PM₁₀) ;
- ◆ réduction de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle observée (ce scénario permet de considérer l'impact d'une réduction de la pollution particulaire dans les villes avec des niveaux faibles de PM₁₀).

Pour les PM_{2,5}

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM_{2,5} en terme de :

- ◆ nombre de décès attribuable par an, pour la mortalité toutes causes, pour motifs cardiorespiratoires et par cancer du poumon ;
- ◆ nombre d'années de vie perdues pour la première année de simulation dans la population des 30 ans et plus.

Les différents scénarios étaient les suivants :

- ◆ réduction de la moyenne annuelle au niveau de 20 µg/m³ ;
- ◆ réduction de la moyenne annuelle au niveau de 15 µg/m³ ;
- ◆ réduction de la moyenne annuelle de 3,5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{2,5} déjà modérés).

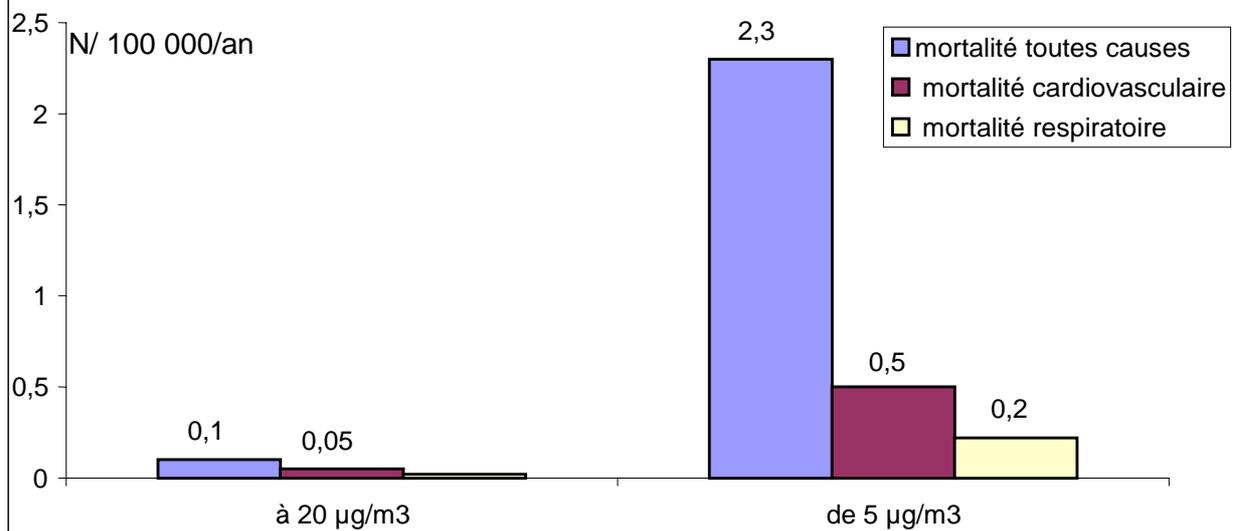
Evaluation de l'impact sanitaire : résultats

Résultats pour les fumées noires

Nous avons analysé les effets sanitaires à court terme sur une année de la pollution par les fumées noires en terme de mortalité toutes causes (hors accidents et morts violentes), mortalité cardiovasculaire et respiratoire (figure 2). La réduction des niveaux moyens journaliers des fumées noires de 5 µg/m³ à Lille aboutirait à une diminution de 2,3, 0,5 et 0,2 décès pour 100 000 habitants pour les mortalités totale, cardiovasculaire et respiratoire, respectivement. Par comparaison, une réduction des niveaux

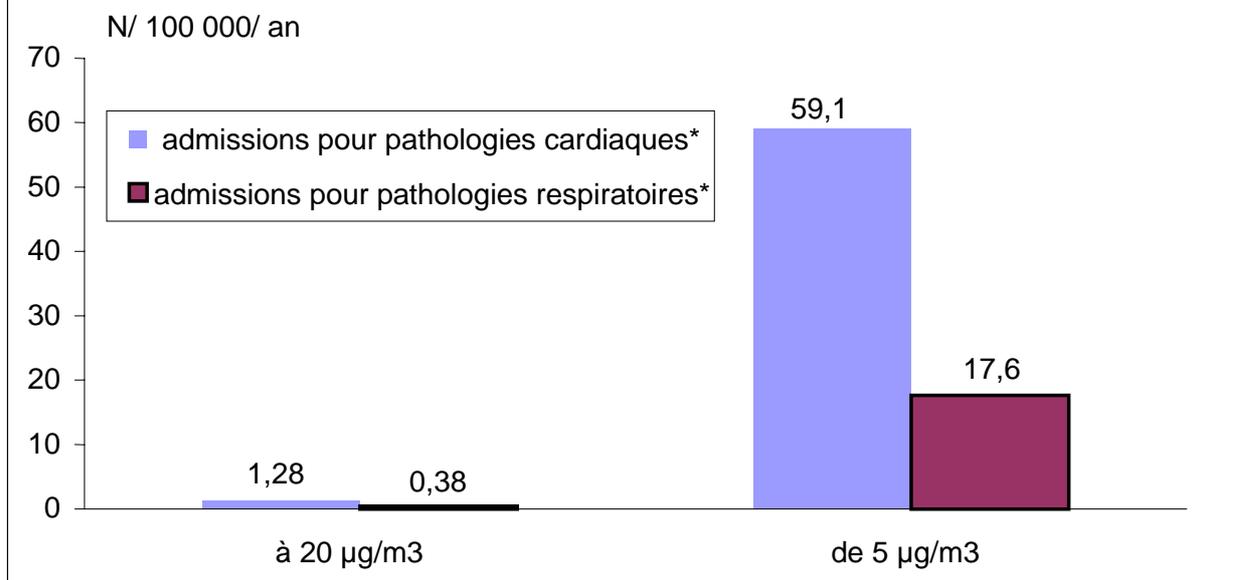
journaliers des fumées noires en deçà de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'induirait pas de réduction significative de la mortalité liée à la pollution.

Figure 2. Impact sanitaire à court terme sur la mortalité toutes causes* et spécifique* pour une réduction des fumées noires à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Lille.



*Toutes causes de mortalité hors accidents et morts violentes (CIM9 < 800), mortalité cardiovasculaire (ICD9 390-459), mortalité respiratoire (CIM9 460-519) pour l'année 1999. Données de FN pour l'année 2001.

Figure 3. Impact sanitaire à court terme sur les hospitalisations* pour une réduction des fumées noires à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Lille.



*Données d'admissions hospitalières cardiaques (ICD9 390-429) et respiratoires (ICD9 460-519) et données de fumées noires de 2001

Une diminution des niveaux journaliers actuels des fumées noires de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Lille résulterait en une réduction attribuable d'environ 59 et de 17 admissions hospitalières pour 100 000 habitants par an pour des raisons cardiaques et respiratoires, respectivement

(Figure 3). A l'inverse, ramener tous les pics de fumées noires au seuil de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'induirait pas une diminution significative du nombre d'admissions hospitalières liées à la pollution atmosphérique.

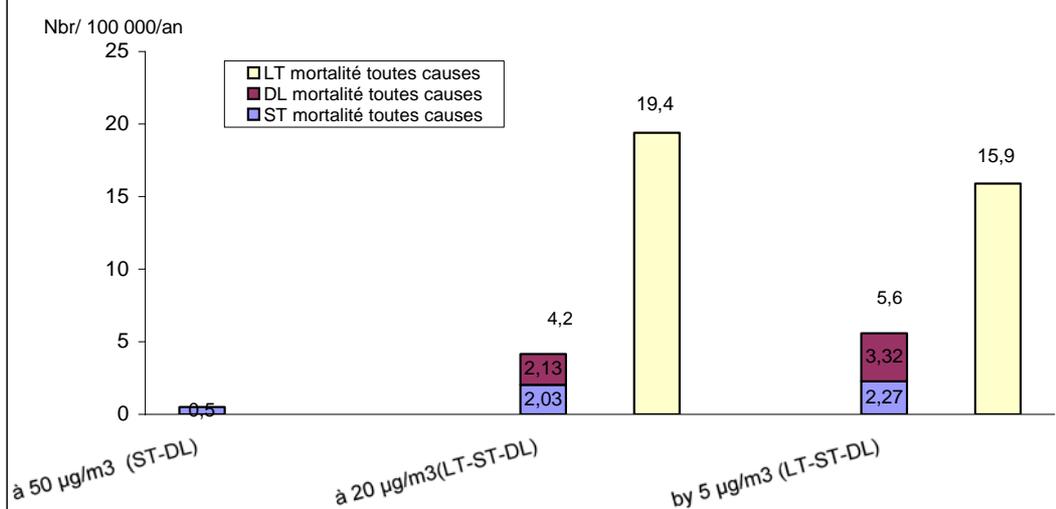
Résultats pour les PM_{10}

Etude d'impact sanitaire à court terme (0-1 jours), effets cumulatifs à 40 jours, et effets à long terme des PM_{10}

Résultats sur la mortalité

Nous avons évalué l'impact sanitaire des PM_{10} sur la mortalité totale pour différentes périodes d'exposition : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille ou impact à court-terme (ST) correspondant à un intervalle d'exposition de 0-1 jour, celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL) et celle d'une exposition chronique à long terme (LT) (figure 4).

Figure 4. Impacts sanitaires des PM_{10} sur la mortalité* toutes causes pour des réductions à 50, $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ à Lille. Expositions de 0-1 j (ST), 40 j (DL), chronique (LT)

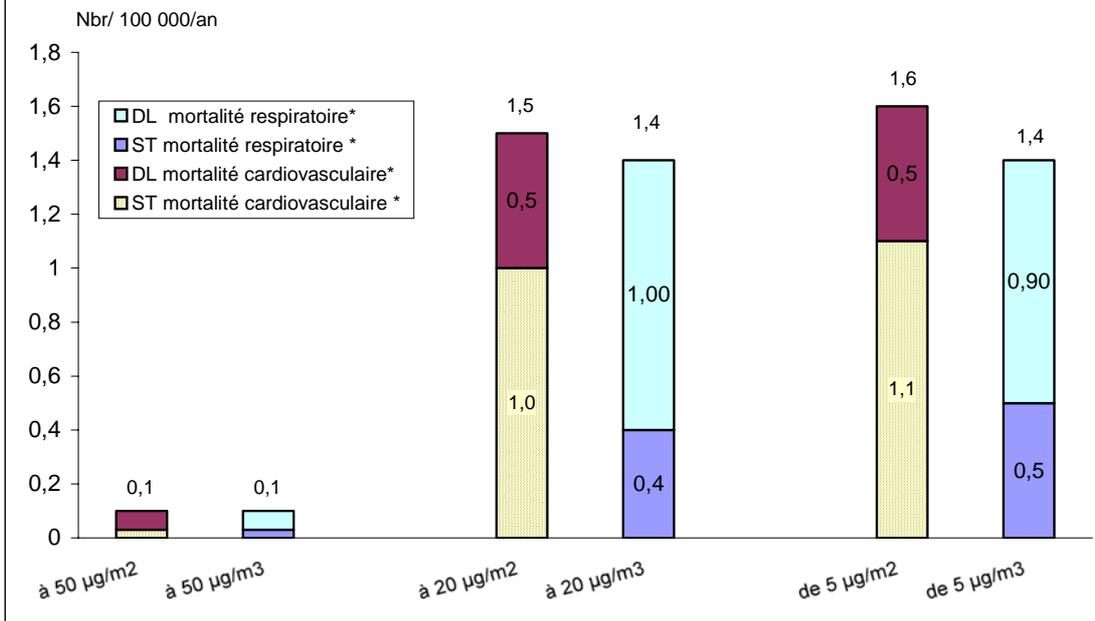


* Données de PM_{10} de 2001, données de mortalité de 1999

Le bénéfice à long terme sur la mortalité non spécifique serait d'environ 19 et de 16 décès pour 100 000 habitants et par an pour une réduction des niveaux moyens journaliers de PM_{10} à 20 et de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, respectivement. Le bénéfice cumulé après un délai de 40 jours pourrait être de 5,6 et 4,2 décès pour 100 000 habitants par an pour une réduction des niveaux respectivement de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et en deçà de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$.

Une réduction des niveaux moyens journaliers de PM_{10} en deçà de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ n'aurait pas d'effet significatif sur la mortalité (0,5 décès/100 000/an). Quel que soit le scénario de réduction de la pollution considéré, l'effet des niveaux cumulés sur 40 jours et l'effet à long terme sur la mortalité est plus important que l'effet des niveaux moyens du jour et de la veille.

Figure 5. Impacts des PM₁₀ sur la mortalité* respiratoire et cardiovasculaire pour des réductions à 50, 20 µg/m³ et de 5 µg/m³ à Lille. Expositions de 0-1 j (ST) et 40 j (DL).



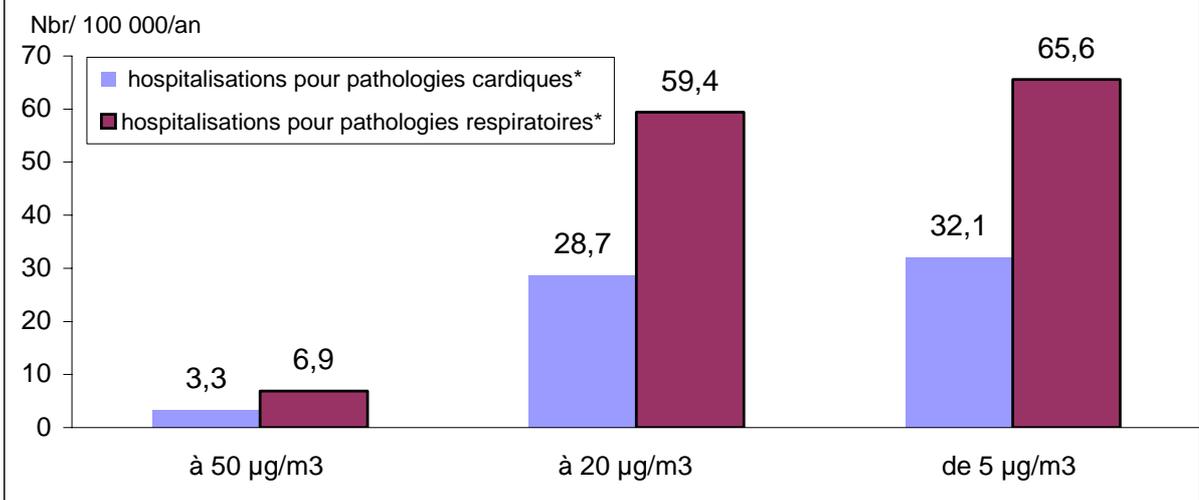
*Mortalité cardiovasculaire (ICD9 390-459), mortalité respiratoire (ICD9 460-519), données de PM₁₀ de 2001, données de mortalité pour 1999

La réduction des niveaux cumulés sur 40 jours en deçà de 20µg/m³ serait d'1,5 décès cardiovasculaire pour 100 000 habitants par an. Une réduction de 5 µg/m³ des niveaux cumulés sur 40 jours donnerait des résultats similaires (1,6 décès pour 100 000 habitants par an). En terme de décès respiratoires évités, le bénéfice pourrait être de 1,4 décès pour 100 000 par an pour une réduction des pics à 20 µg/m³ ou avec une diminution moyenne globale de 5 µg/m³ de tous les niveaux moyens de PM₁₀. Comme pour la mortalité non spécifique, une réduction à 50 µg/m³ de tous les niveaux supérieurs à cette valeur n'aurait pas d'effet significatif (0,1 décès/100 000/an). Comme pour la mortalité totale, l'impact des niveaux cumulés sur 40 jours sur la mortalité cardiovasculaire et respiratoire est plus important que celui des niveaux du jour et de la veille.

Résultats pour les admissions hospitalières

Nous avons estimé les effets à court terme de l'exposition aux PM₁₀ sur les admissions hospitalières cardiaques et respiratoires sur un an (figure 6).

Figure 6. Impact sanitaire à court terme des PM₁₀ sur les hospitalisations cardiaques et respiratoires à Lille pour des réductions à 50, 20 et de 5 µg/m³.



*Admissions hospitalières cardiaques (ICD9 390-429) et respiratoires (ICD9 460-519), données PM₁₀ de 2001, admissions hospitalières de 2001.

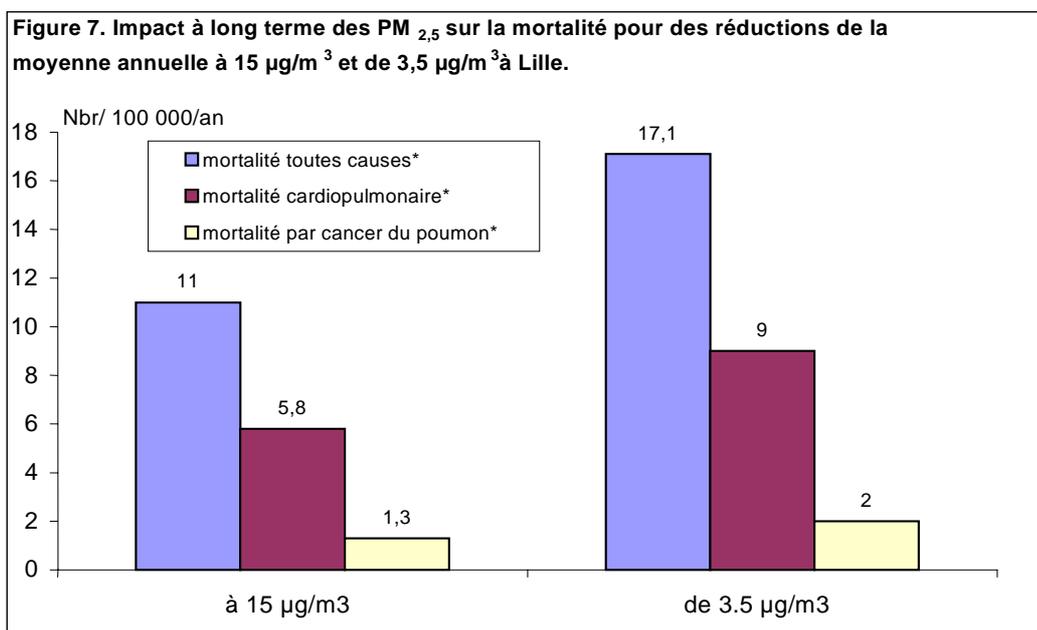
En termes d'admissions hospitalières, le bénéfice attendu après une réduction de tous les niveaux journaliers de 5 µg/m³ ou si l'on ramenait les pics de pollution par les PM₁₀ à un niveau de 20 µg/m³ est à peu près similaire : 60 hospitalisations pour 100 000 habitants par an pour les motifs cardiaques et 30 hospitalisations pour 100 000 habitants par an pour les motifs respiratoires.

Résultats avec les PM_{2,5}

L'impact sur la santé en terme de cas attribuables ainsi que d'années potentielles de vie perdues à été estimé à partir de mesures réelles relevées sur deux stations de fond de la pollution urbaine (Lomme et Faidherbe) de la métropole lilloise .

Nombre de cas attribuables

Nous avons aussi utilisé deux scénarios pour estimer les effets à long terme de l'exposition chronique aux PM_{2,5} sur la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon exprimée pour 100 000 habitants par an (figure 7).

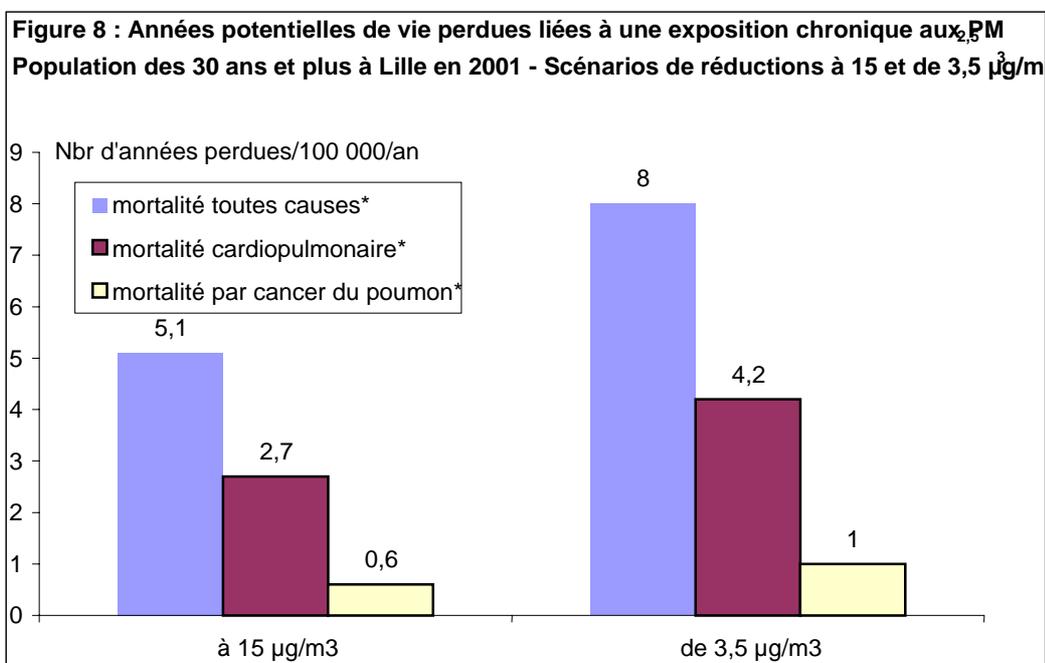


*Mortalité toutes causes (ICD9 0-999), mortalité cardio-pulmonaire (ICD9 401-440 et 460-519), mortalité par cancer du poumon (ICD9 162) de l'année 1999, données de PM_{2,5} de l'année 2001.

La réduction de 3,5 µg/m³ des niveaux actuels de PM_{2,5} à Lille pourrait conduire à une diminution du nombre de morts toutes causes, cardio-pulmonaires et par cancer du poumon, de 17, 9, et 2 pour 100 000 habitants par an, respectivement. Si l'on ramenait tous les niveaux supérieurs à 15 µg/m³ à cette valeur, le bénéfice serait moins important en terme de décès évitables : 11, 5,8 et 1,3 pour 100 000 habitants par an, respectivement pour les trois types de mortalité.

Années potentielles de vie perdues

Nous avons estimé l'impact sur l'espérance de vie attribuable aux effets chroniques des PM_{2,5} en termes de mortalité non spécifique, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon pour les sujets de plus de 30 ans dans la population de Lille (figure 8).



* Mortalité toutes causes (ICD9 0-999), mortalité cardio-pulmonaire (ICD9 401-440 et 460-519), mortalité par cancer du poumon (ICD9 162) de l'année 1999, données de PM_{2,5} de l'année 2001.

A Lille, pour les personnes âgées de 30 ans et plus, une réduction du niveau annuel moyen de pollution par les PM_{2,5} de 3,5 µg/m³, pourrait conduire à éviter environ 8 années de vie perdue pour 100 000 habitants. Pour la mortalité cardio-pulmonaire, l'impact serait d'environ 4 années de vie perdues pour 100 000 habitants et pour la mortalité par cancer, environ 1 année pour 100 000 habitants. En comparaison, l'impact d'une réduction de tous les niveaux de PM_{2,5} en dessous de 15 µg/m³ serait moins important.

Nous avons analysé ces résultats en terme d'espérance de vie (tableau 6).

Tableau 6. Espérance de vie et son augmentation potentielle par une réduction de 3,5 µg/m³ de la pollution aérienne par les PM_{2,5} à Lille

Age	Espérance de vie (années)	Gain attendu en espérance de vie (années)		
		Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
A la naissance	76,72	0,22	0,06	0,38
A 30 ans	47,61	0,22	0,06	0,39

A 65 ans	17,53	0,16	0,04	0,27
----------	-------	------	------	------

En terme d'espérance de vie, toutes choses étant égales par ailleurs, si le niveau annuel des $PM_{2,5}$ ($17,23 \mu\text{g}/\text{m}^3$) pouvait être réduit de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, l'espérance de vie théorique d'une personne âgée de 30 ans à Lille (47,6 ans en 2001) pourrait être augmentée de 0,22 [0,06-0,39] années, soit 2,6 [0,7-4,7] mois.

Commentaires

Depuis 2000, le réseau de mesure de la qualité de l'air de la zone Lille métropole a installé deux capteurs de $PM_{2,5}$. Ces nouvelles données nous ont permis une meilleure connaissance de l'impact des particules sur la santé à Lille.

Les niveaux de pollution aérienne par les fumées noires et les PM_{10} sont restés comparables entre 1999 (Aphis 2) et 2001 (Aphis 3), le nombre de jours de dépassements au-delà de $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ par les PM_{10} est passé de 2 à 12 entre ces deux années.

Cette étude d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique réalisée à Lille montre que les bénéfices potentiels à court terme sur la santé d'une réduction des niveaux de pollution (mortalité et hospitalière) sont importants lors d'une réduction de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux journaliers de PM_{10} et des fumées noires.

De même, si l'exposition à long terme aux $PM_{2,5}$ ou PM_{10} pouvait être réduite respectivement de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ou $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le nombre de décès évitables annuellement se situerait entre 49 et 328 pour les $PM_{2,5}$ et entre 106 et 246 pour les PM_{10} .

Nous avons aussi observé un effet de niveaux cumulés sur 40 jours des PM_{10} bien plus important que l'effet de la moyenne du jour et de la veille de l'événement sanitaire.

Cette nouvelle étude d'impact sanitaire nous a permis aussi d'estimer, pour la première fois dans Lille Métropole, les effets de la pollution aérienne sur l'espérance de vie. En 2001, une réduction de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de $PM_{2,5}$ pourrait être associée à une augmentation moyenne de 2,6 mois de l'espérance de vie chez une personne âgée de 30 ans. Le PRQA (Plan régional pour la qualité de l'air) de la région Nord-Pas-de-Calais, qui a été approuvé en avril 2001, recommande de conduire des études pour évaluer localement l'impact sur la santé de la pollution aérienne. Des études d'impact sanitaire de la pollution atmosphérique seront réalisées dans 6 zones de plus de 100 000 habitants de la région Nord-Pas-de-Calais. Un projet en cours vise à modéliser les bénéfices sanitaires potentiels de la mise en œuvre du Plan de déplacement urbain (PDU) de Lille.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Lyon

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Jean-François JUSOT

Juillet 2004

Lyon

Résumé des principaux résultats

La communauté urbaine de Lyon (Grand Lyon) a conservé sa vocation de carrefour pour les fleuves, les voies ferrées et les routes de part la confluence du Rhône et de la Saône. Un climat continental avec des conditions anticycloniques d'inversion de température en hiver est fréquemment rencontré. La zone d'étude comporte 9 communes autour de Lyon représentant 782 828 habitants (dont 15,7% ont plus de 65 ans) répartis sur une surface de 132 km² (densité = 5930 hab/km²). Les concentrations de polluants atmosphériques se sont maintenues au même niveau depuis 1993 en dehors du dioxyde de soufre qui diminue nettement depuis la dernière décennie.

Les appareils de type TEOM (Tapered Element Oscillation Microbalance) ont permis de mesurer les PM₁₀. Selon une étude métrologique réalisée dans 12 villes françaises au cours de l'hiver 2001/2002 et de l'été 2001, les mesures de PM₁₀ faites avec le TEOM ont été comparées avec celles faites par le Partisol (méthode gravimétrique). Un facteur de correction de 1,221 pour compenser une partie des PM₁₀ perdue par volatilisation a été utilisé en hiver. Aucune mesure n'était disponible pour les PM_{2,5} et un facteur de conversion de 0,7 à partir des PM₁₀ a été choisi.

Le taux de mortalité standardisé sur l'âge (CIM-9 = [000-999] était de 663,7 pour 100 000 habitants. Pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme, la mortalité par maladies cardiovasculaires, cardiaques et respiratoires représentait respectivement 34,0%, 22,8%, et 7,9% de l'ensemble de la mortalité.

L'évaluation de l'impact sanitaire à court terme montre qu'une réduction quotidienne à 20 µg.m⁻³ des niveaux de polluants dépassant cette valeur représente le meilleur scénario pour les PM₁₀. La limite réglementaire prévue pour 2010 semble avoir un impact encore plus élevé sur la mortalité.

Une réduction de 3,5 µg.m⁻³ des PM_{2,5} représenterait la stratégie la plus efficace : 60 vies seraient potentiellement épargnées et l'espérance de vie augmenterait de 0,13 année parmi les sujets âgés de plus de 30 ans.

De plus, une amélioration quotidienne de la qualité de l'air semble la plus efficace en terme d'impact sanitaire que la seule gestion des pics de pollution.

Si la surveillance de la qualité de l'air est maintenant bien implantée et une prise de conscience du problème représenté par la pollution atmosphérique évidente, les mesures sanitaires sont encore limitées à la réduction des pics de pollution. Comme les décideurs attendent des informations plus probantes des études en santé, les résultats de cette évaluation de l'impact sanitaire pourraient représenter un outil d'aide à la décision intéressant les différents acteurs impliqués dans la gestion de la pollution de l'air. La présentation des résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire de façon compréhensible, pratique et pédagogique à tous les niveaux décisionnels représente un réel enjeu pour les programmes Apehis et Psas-9, en particulier à Lyon.

Contexte

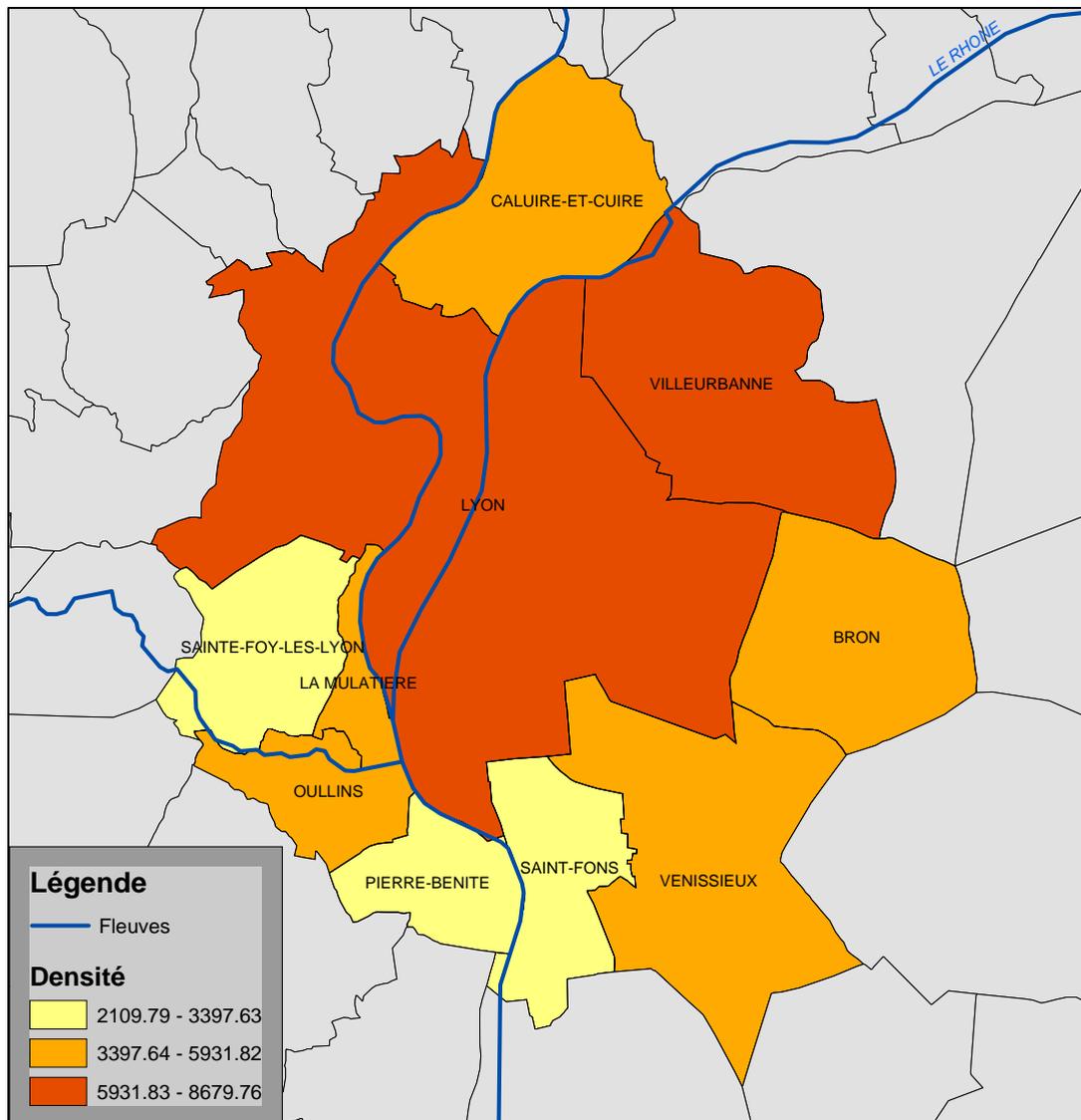
Généralités

La précédente évaluation de l'impact sanitaire (EIS) réalisée à Lyon (au cours de la seconde phase du programme Aphis, rapport 2000-2001) a montré un bénéfice non négligeable de deux stratégies de réduction des niveaux moyens annuels des PM_{10} à 20 et $10 \mu g.m^{-3}$ évitant respectivement la survenue de 73 et 298 décès. Depuis cette dernière évaluation, deux villes de la région Rhône-Alpes ont bénéficié d'une EIS et le plan de protection de l'atmosphère de Lyon a été lancé.

Sur le plan géographique, la communauté urbaine de Lyon (Grand Lyon) a conservé sa vocation de carrefour pour les fleuves, les voies ferrées et les routes de part la confluence du Rhône et de la Saône. Un climat continental avec des conditions anticycloniques d'inversion de température en hiver est fréquemment rencontré. Les températures moyennes quotidiennes se situent entre $8^{\circ}C$ en hiver et $17^{\circ}C$ en été. Les mois les plus froids sont janvier, février et mars pour l'année 2002, avec respectivement 16, 1 et 2 jours en dessous de $0^{\circ}C$. Les mois les plus chauds sont ceux de juin, juillet et août avec des températures au-dessus de $25^{\circ}C$ pendant 14, 12 et 15 jours respectivement. L'humidité relative moyenne est de 52%. Les mois pluvieux sont mai, août et novembre avec des niveaux de précipitation au-dessus de 0,5 mm respectivement pendant 13, 13 et 19 jours. La vitesse du vent est supérieure à 3 m/s au moins 5 jours par mois en février, mars, septembre, octobre et décembre.

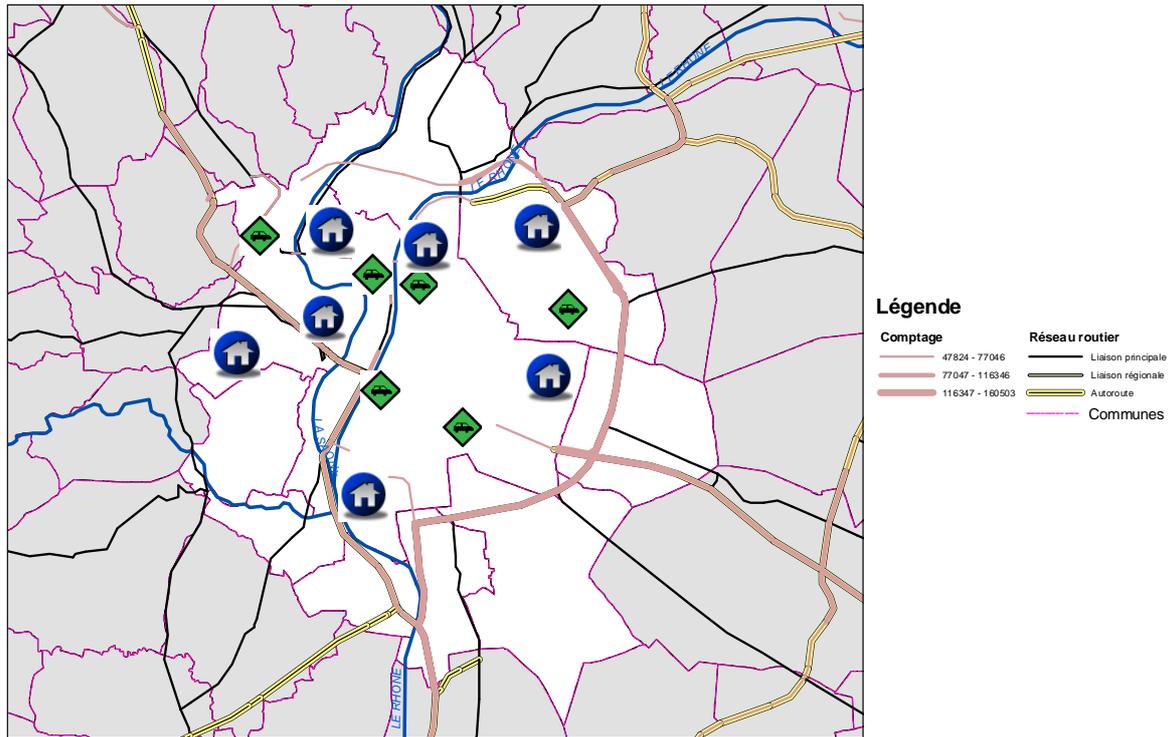
La zone d'étude inclut 9 communes autour de Lyon (Figure 1), rassemblant 782 828 habitants (dont 15,7% ont plus de 65 ans) répartis sur une surface de 132 km² (densité = 5 930 hab/km²).

Figure 1. Zone d'étude retenue et densité d'habitants



La ville de Lyon compte en moyenne 4 400 000 déplacements quotidiens qui augmentent de 25% tous les 10 ans. En 1999, chaque jour, 600 000 véhicules en moyenne sont entrés dans Lyon, dont 100 000 par le tunnel de Fourvière et 90 000 sous le tunnel de la Croix-Rousse. Egalement, 200 000 proviennent du nord et du sud par les autoroutes A6 et A7 respectivement (Figure 2). Ce volume de déplacement est expliqué par le fait qu'environ 400 000 personnes travaillent dans la zone d'étude, dont 60% résident en dehors de la ville. A l'opposé, 320 000 personnes vivent dans la zone d'étude, mais travaillent en dehors.

Figure 2. Zone d'étude et comptage routier
(nombre de véhicules par jour)



-  Station de trafic
-  Station urbaine

Le plan de protection de l'atmosphère de la ville de Lyon (PPA) vise à prendre toutes les mesures nécessaires pour répondre à la réglementation européenne concernant les polluants comme SO₂, NO₂, PM₁₀, CO, Pb, HCl, O₃, C₆H₆. Il est toujours possible de développer des mesures encore plus restrictives pour ces polluants ou des mesures s'appliquant à de nouveaux polluants au niveau local.

Au niveau local, les résultats d'Apheis3 complètent ceux du Psas-9 pour l'évaluation de l'impact sanitaire et des plans de réglementation locaux.

Origines des émissions

Soixante pour cent des émissions de dioxyde de soufre provient des industries (principalement de la raffinerie de Feyzin) et 60% du dioxyde d'azote et du monoxyde de carbone vient du trafic.

Les particules fines sont également reliées au trafic. Les niveaux moyens de PM₁₀ n'ont pas changé : 29 µg.m⁻³ en 1996, 32 µg.m⁻³ en 1997, 27 µg.m⁻³ en 1998, 23 µg.m⁻³ en 1999, 2000 et 2001, 27 µg.m⁻³ en 2002. Il en va de même pour les niveaux de NO₂ et O₃ qui restent constants.

Un niveau élevé d'ozone a été observé au cours de l'été 2003.

Données d'exposition

La technique de TEOM (Tapered Element Oscillation Microbalance) est utilisée pour la mesure des PM₁₀. Selon une étude métrologique réalisée dans 12 villes françaises au cours de l'hiver 2001/2002 et de l'été 2001, les mesures de PM₁₀ faites avec le TEOM ont été comparées avec celles faites par le Partisol (méthode gravimétrique). Un facteur de conversion de 1,221 pour compenser une partie des PM₁₀ perdue par volatilisation a été utilisé en hiver. Aucune mesure n'était disponible pour les PM_{2,5} et un facteur de conversion de 0,7 à partir des PM₁₀ a été choisi.

Les résultats des concentrations des principaux polluants en fonction du nombre de stations de mesure sont récapitulés dans le tableau 1 pour la zone d'étude considérée et l'année 2002.

Tableau 1. Concentration des polluants et caractéristiques des stations de mesure.

Polluant	Nombre de stations ¹	Moyenne annuelle ²	Maximum horaire ²	Nombre d'heures en excès ^{2,3}
SO ₂	17 (7, 6, 4)	2-13	142-436	0-4
NO ₂	11 (3, 7, 1)	42-77	141-389	3-41
O ₃	4 (3, 1, 0)	25-43	207-246	3-21
PM ₁₀	5 (2, 3, 0)	23-32	163-494	61-262
PM _{2,5}	1 (0, 1, 0)	32	199	ND
CO	4 (0, 4, 0)	882-1417	4627-11439	0

1: Nombre total de stations

() : Nombre de stations situées dans un environnement respectivement urbain, de trafic et industriel

2 : L'étendue des paramètres est donnée pour les stations mesurant la concentration du polluant

3 : Heures en excès en fonction des seuils réglementaires en cours pour l'année considérée

ND : Non disponible

De 1993 à 1999, les PM₁₀ ont été mesurées par 4 stations et, après 1999, par deux stations. Depuis 2001, les PM_{2,5} sont mesurées par 2 stations : une station urbaine et une station de trafic.

Les tendances des concentrations de chaque polluant au cours du temps peuvent être interprétées de la façon suivante :

- SO₂ : depuis 1993, ce polluant diminue constamment passant de 42 à 10 µg.m⁻³ en 2002.

- Le NO et le NO₂ sont restés presque au même niveau depuis 1993. Néanmoins, pour le NO₂, la part due au seul trafic a un peu diminué depuis 1997 passant de 70 à environ 60 µg.m⁻³.
- L'ozone ne montre aucune évolution dans ses concentrations,
- Les PM₁₀ sont restés inchangés depuis 1995, avec une moyenne annuelle d'environ 27 µg.m⁻³.
- Les mesures du monoxyde de carbone montrent des résultats encourageants avec une tendance à la baisse depuis 1993. Les concentrations sont passées de 3 000 à 1 000 µg.m⁻³ depuis l'année 2000.
- Les métaux lourds comme le plomb ou le cadmium ont diminué depuis 1995, passant de 0,25 à moins de 0,05 µg.m⁻³ en 2002.
- Le benzo(a)pyrène est mesuré depuis la fin 2001. La moyenne annuelle est actuellement autour de 0,8 ng.m⁻³, en dessous du futur seuil de 1 ng.m⁻³.

Les données d'exposition d'Apheis3 concernent les données de pollution atmosphérique recueillies en 2000. Les résultats descriptifs figurent dans le tableau 2.

Tableau 2. Concentration des PM₁₀ pour l'année 2000

	PM ₁₀
Année de mesure	2000
Moyenne (ET [†])	23,0 (11,7)
Percentiles : 5 - 95	10 - 45
Nombre de jours au-dessus de 20 µg.m ⁻³ (CT [†] - LT [‡])	175 - 196
Nombre de jours au-dessus de 50 µg.m ⁻³ (CT)	14
Nombre de jours au-dessus de 40 µg.m ⁻³ (LT)	46

écart-type
[†] court terme
[‡] long terme

Les trois figures suivantes montrent les distributions de PM₁₀ pendant l'année, l'été et l'hiver. La distribution des concentrations de PM₁₀ est plus étendue en hiver qu'en été à partir du 75^{ème} percentile (Figures 3a, 3b et 3c).

Figure 3a. Distribution des niveaux de PM₁₀ - année entière

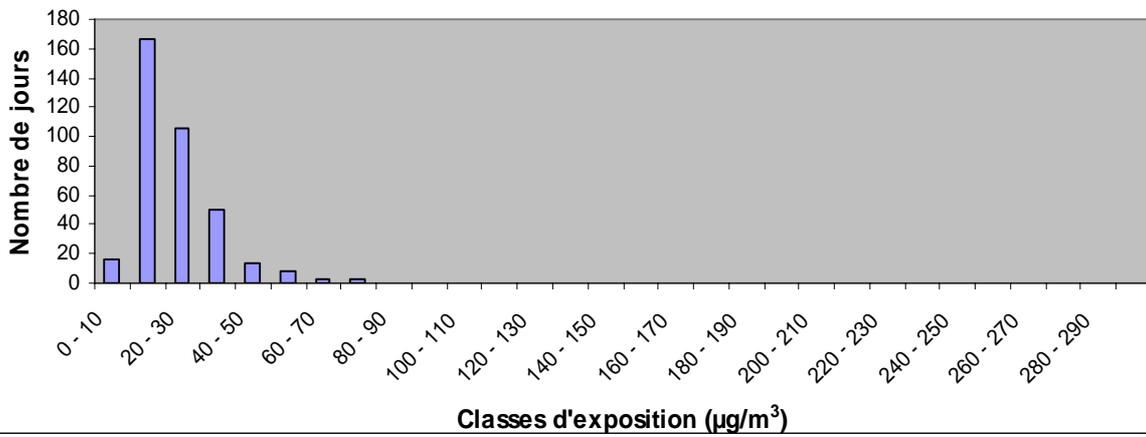


Figure 3b. Distribution des niveaux de PM₁₀ - été

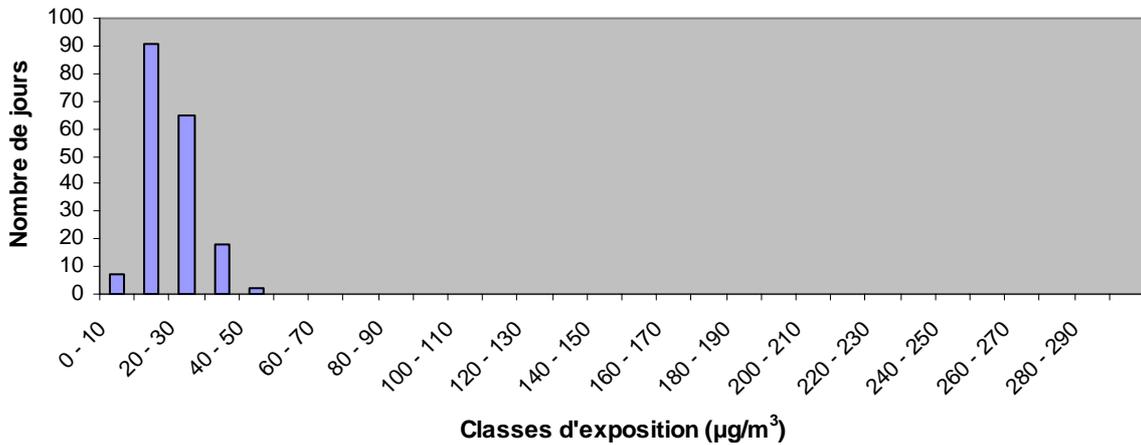
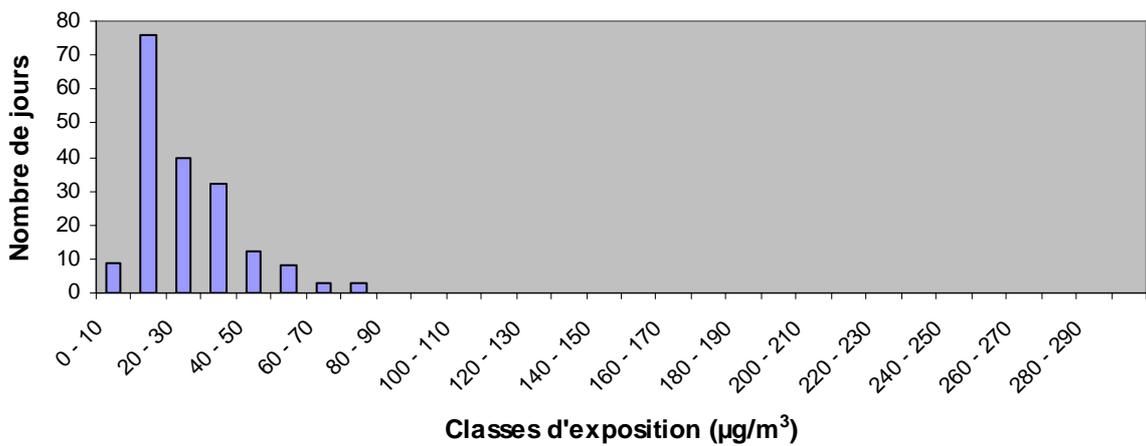


Figure 3c. Distribution des niveaux de PM₁₀ - hiver



Le PPA de Lyon a été lancé en 2003 par la constitution de trois groupes de travail : 1°) coordination, 2°) émissions, et 3°) qualité de l'air et impact sanitaire. Le premier groupe est concerné par la définition d'objectifs, la coordination du PPA avec le plan de déplacement urbain (PDU), la validation des simulations réalisées par les autres groupes de travail, et la communication.

Le second groupe décrit et analyse les émissions, rassemble les informations sur les mesures antérieures ou les projets visant à réduire la pollution de l'air ou à améliorer la qualité de l'air. Il proposera aussi des simulations pour atteindre les objectifs du groupe « coordination ».

Le troisième groupe donne l'information concernant la zone d'étude et la situation des stations de mesure dans cette zone, est informé de l'évolution de la qualité de l'air depuis le début de la surveillance et analyse le phénomène de la dispersion ou de la modification des polluants. Ce groupe utilise et teste les simulations proposées par le second groupe. Sa tâche concerne plus particulièrement l'évaluation de l'impact sanitaire.

Données sanitaires

L'ensemble des données sanitaires est résumé dans le tableau 3.

- Le centre épidémiologique des données de décès (CepiDc) de l'Institut National pour la Santé et la Recherche Médicale (Inserm) fournit les causes médicales de décès basées sur la neuvième classification internationale des maladies (CIM-9). Les données les plus récentes concernaient l'année 1999 au moment de l'étude. Un programme de contrôle de qualité des données est assuré. Aucune donnée manquante n'a été observée.
- Les données sur les admissions hospitalières concernent les hôpitaux publics et privés et sont extraites du programme de médicalisation des systèmes d'information (PMSI) géré par l'agence technique de l'information hospitalière (ATIH), pour l'année 2000. Un contrôle de qualité est réalisé avec une exhaustivité d'au moins 95%. Aucune donnée manquante pour les causes d'admission n'a été retrouvée.
- Le taux de mortalité standardisé sur l'âge (CIM-9 = [000-999]) est de 663,7 pour 100000 habitants, en utilisant comme population de référence la population européenne⁴.

⁴ Nations Unies. Département des affaires sociales et économiques, division population. Projections de la population mondiale : révision 2000.

Tableau 3. Nombre moyen quotidien et taux annuel pour 100000 : décès et admissions hospitalières

Indicateur sanitaire	CIM-9	CIM-10	Nombre moyen quotidien	Nombre de cas pour 100 000
EIS à court terme				
Mortalité toutes causes*	< 800	A00-Q99	15,39	1,97
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	5,23	0,67
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	1,21	0,15
Mortalité cardiaque	390-429	I00-I52	3,51	0,45
Admissions hospitalières pour pathologies cardiaques	390-429	I00-I52	14,85	1,90
Admissions hospitalières pour pathologies respiratoires	460-519	J00-J99	14,58	1,86
EIS à long terme				
Mortalité totale	0-999	A00-T98	16,59	2,12
Mortalité cardiopulmonaire	401-440 460-519	I10-I70 J00-J99	6,02	0,77
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	0,92	0,12

* pour les scénarios de réduction des PM₁₀ à court et long terme

Évaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios ont été utilisés pour évaluer l'impact à court et à long terme aux particules fines. A Lyon, ces scénarios ont été construits pour deux indicateurs de pollution : les PM₁₀ et les PM_{2,5} qui représentent une fraction des PM₁₀. Les estimations de ces impacts sanitaires peuvent se confondre, aussi est-il recommandé d'apporter une attention particulière à ces résultats ; en aucun cas il n'est possible de sommer ces indicateurs qui représentent qualitativement le même type de pollution.

Fonctions exposition-risque choisies

Différents outils et estimations sont utilisés pour faire l'évaluation à court et à long terme des effets sanitaires de la pollution particulaire (Tableau 4).

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	codes CIM-9	codes CIM-10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg.m⁻³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µg.m ⁻³ Réduction à 20 µg.m ⁻³ Réduction de 5 µg.m ⁻³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,006 (1,003, 1,009)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,01227 (1,0081 - 1,0164)		Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-429	I00-I52	Feuille de calcul Psas-9	1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM-9</i>	<i>codes CIM-10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance à 95%) pour une augmentation de 10 µg.m⁻³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)</i>	<i>Villes concernées</i>
<i>Nombres de cas attribuables</i>							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Etude trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µg.m ⁻³ Réduction à 20 µg.m ⁻³ Réduction de 5 µg.m ⁻³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,09 (1,03-1,16)	3 scénarios : Réduction à 20 µg.m ⁻³ Réduction à 15 µg.m ⁻³ Réduction de 3,5 µg.m ⁻³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) CA III Pope, 2002		
<i>Années de vie perdues</i>							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios : Réduction à 20 µg.m ⁻³ Réduction à 15 µg.m ⁻³ Réduction de 3,5 µg.m ⁻³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	AirQ	1,09 (1,03-1,16)		
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) CA III Pope, 2002		

Différentes approches ont été utilisées pour décrire les effets à court et long terme. Pour les PM_{10} , les résultats pour le court et le long terme sont exprimés en nombre de décès attribuables par année. Pour les $PM_{2,5}$, les résultats pour le long terme sont exprimés en nombre de décès attribuables par année et nombre d'années de vie perdues pour une année.

Scénarios à court terme

Les scénarios suivants ont été utilisés pour estimer les effets aigus de l'exposition à court terme pour les PM_{10} sur la mortalité et les admissions hospitalières annuelles.

EIS à court terme pour les PM_{10} sur 0-1 jour et cumulés sur 40 jours

Trois scénarios ont été utilisés pour estimer les effets aigus des PM_{10} sur 0-1 jour et les effets cumulés des PM_{10} sur 40 jours pour la mortalité toutes causes (sauf causes accidentelles), cardiovasculaire et respiratoire sur une année :

- Réduction des niveaux quotidiens de PM_{10} à la valeur de $50 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour tous les jours excédant cette valeur ;
- Réduction des niveaux quotidiens de PM_{10} à la valeur de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ pour tous les jours excédant cette valeur (intéresse les villes avec des niveaux faibles de PM_{10}) ;
- Réduction des niveaux quotidiens de PM_{10} de $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ (intéresse les villes avec des niveaux faibles de PM_{10}).

Scénarios à long terme

Scénarios d'EIS à long terme pour les PM_{10}

Trois scénarios ont été utilisés pour estimer les effets à long terme de l'exposition aux PM_{10} sur la mortalité toutes causes (sauf causes accidentelles) sur une année :

- Réduction de la valeur moyenne annuelle des PM_{10} à un niveau de $40 \mu\text{g.m}^{-3}$ (valeur limite réglementaire pour 2005) ;
- Réduction de la valeur moyenne annuelle des PM_{10} à un niveau de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$ (valeur limite réglementaire pour 2010) ;
- Réduction de la valeur moyenne annuelle des PM_{10} de $5 \mu\text{g.m}^{-3}$ (pour les villes avec des niveaux faibles de PM_{10}).

Scénarios d'EIS à long terme pour les $PM_{2,5}$

Les effets à long terme des $PM_{2,5}$ ont été évalués pour la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et pour la mortalité par cancer du poumon chez les sujets âgés de plus de 30 ans.

Les trois scénarios suivants ont été considérés :

- Réduction de la valeur moyenne annuelle des $PM_{2,5}$ à un niveau de $20 \mu\text{g.m}^{-3}$;

- Réduction de la valeur moyenne annuelle des $PM_{2,5}$ à un niveau de $15 \mu g.m^{-3}$;
- Réduction de la valeur moyenne annuelle des $PM_{2,5}$ de $3,5 \mu g.m^{-3}$ (pour les villes avec des niveaux faibles de $PM_{2,5}$).

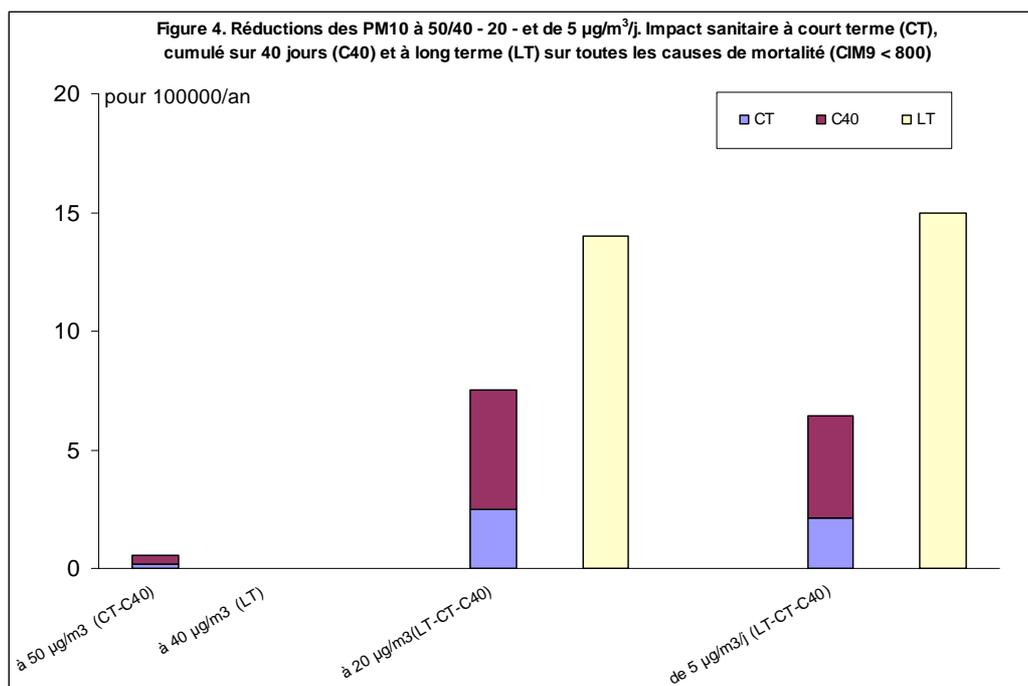
Évaluation de l'impact sanitaire : résultats

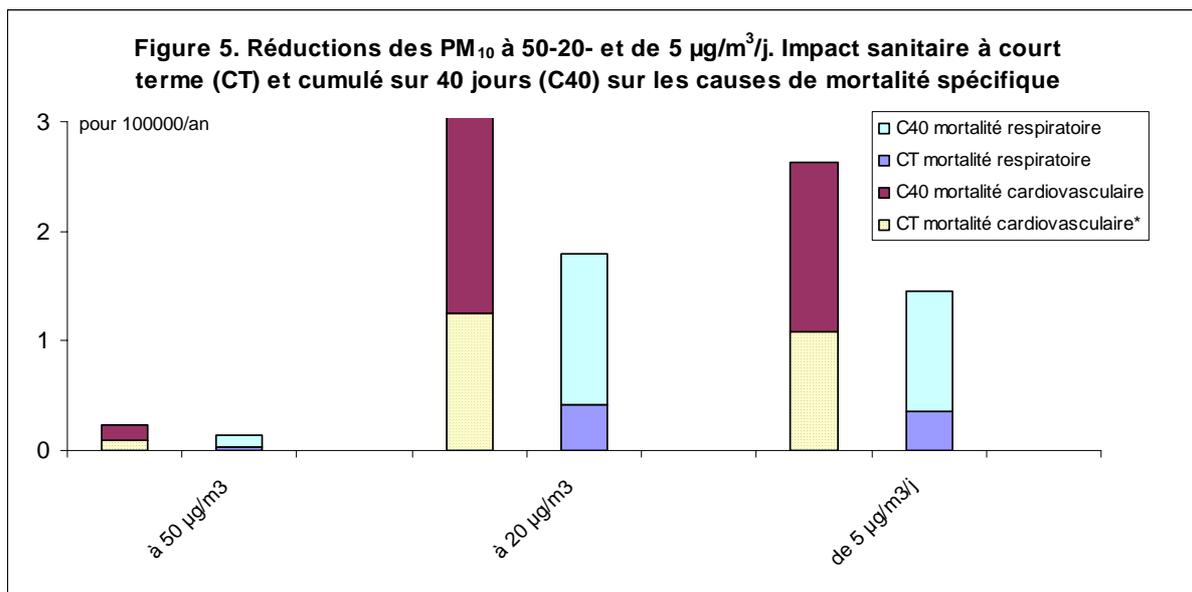
Résultats pour les PM_{10}

EIS à court terme des PM_{10} sur 0-1 jour, cumulés sur 40 jours, et à long terme

1. Résultats pour la mortalité

Les graphiques suivants montrent l'effet sanitaire des PM_{10} sur la mortalité pour différents décalages : à court terme (décalage = 0-1 jour), effet cumulé (sur 40 jours), et à long terme (années). Les données des PM_{10} et de la mortalité concernent respectivement l'année 2000 et l'année 1999.



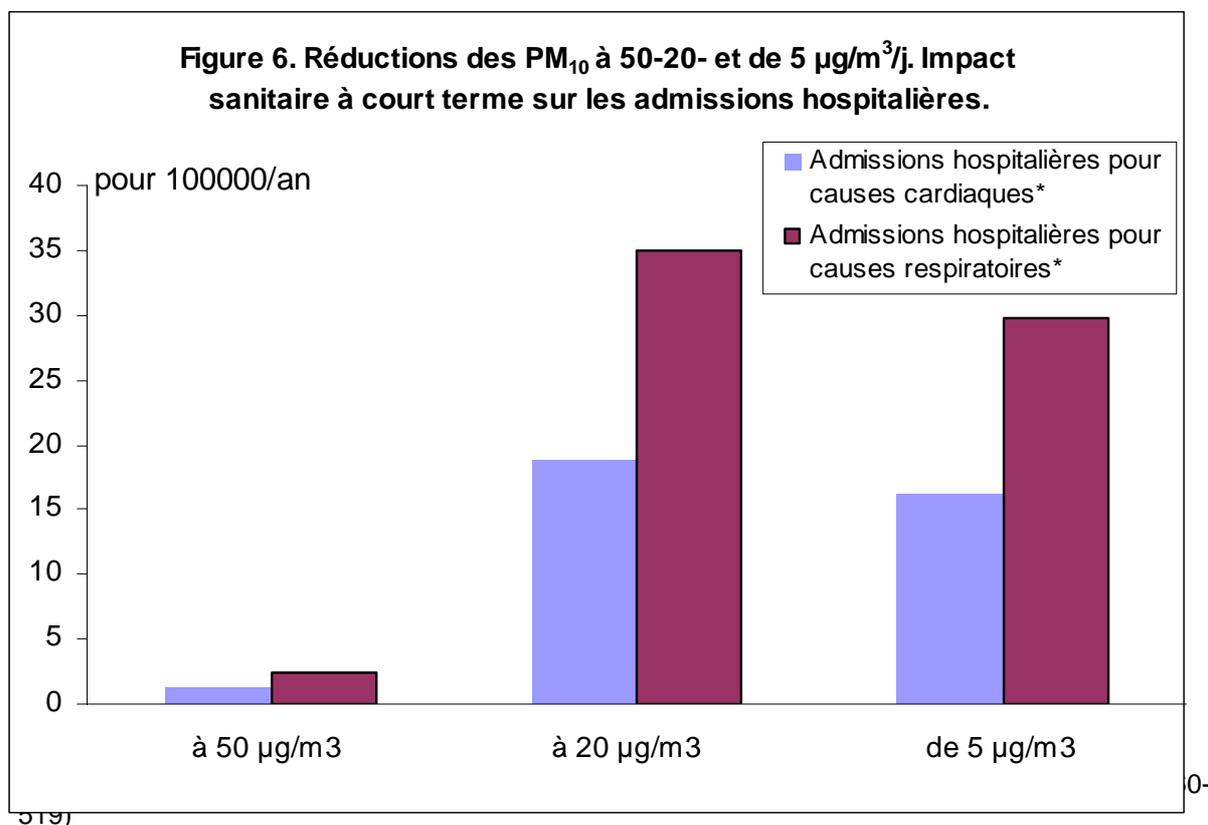


*Mortalité cardiovasculaire (CIM-9 390-459), mortalité respiratoire (CIM-9 460-519).

Si les niveaux de PM₁₀ étaient ramenés à 20 µg.m⁻³ tous les jours lorsqu'ils ont dépassé cette valeur, Lyon pourrait voir son nombre de décès anticipés diminuer de 19 dans l'année. Après 40 jours d'exposition, la mortalité évitable s'élève à 40 décès. Des résultats semblables sont attendus pour la mortalité spécifique : respectivement 10 et 15 décès pour les maladies cardiovasculaires et respectivement 3 et 11 décès pour les maladies respiratoires. Les bénéfices potentiels de réduction quotidienne des niveaux de PM₁₀ de 5 µg.m⁻³ sont proches de ceux d'une réduction des niveaux quotidiens à 20 µg.m⁻³. L'impact sanitaire est plus important lorsque la durée de l'exposition est plus longue et que l'on considère ses effets cumulés dans le temps.

2. Admissions hospitalières

Les effets de l'exposition à court terme aux PM_{10} sur les admissions hospitalières pour pathologies cardiaques et respiratoires ont été estimés sur une année. Les données de PM_{10} sont celles de l'année 2000, les données de mortalité de l'année 1999.



La diminution est la plus marquée pour les admissions pour pathologies cardiaques en ramenant quotidiennement les niveaux de PM_{10} à $20 \mu g \cdot m^{-3}$ ou en les réduisant de $5 \mu g \cdot m^{-3}$ chaque jour.

3. Prise en compte du risque local et du méta-risque pour estimer les effets sur la santé des PM_{10}

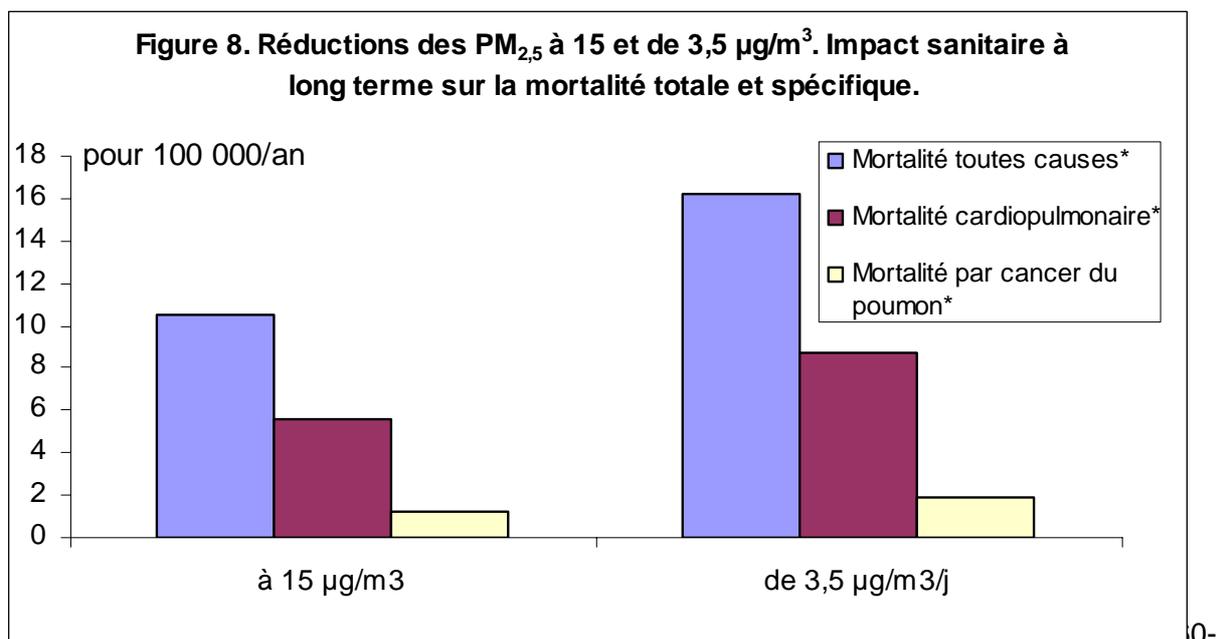
Les estimations combinées localement et d'après une méta-analyse (shrunken estimates-SE) ont été calculées pour les effets aigus des PM_{10} pour toutes les causes de décès (exceptées les causes externes) sur une année. Ces estimations n'ont pas été faites pour Lyon (Figure 7 non disponible).

Résultats pour les PM_{2,5}

1. Nombre de cas attribuables

Trois scénarios ont aussi été utilisés pour estimer les effets à long terme de l'exposition aux PM_{2,5} sur la mortalité pour une année.

La figure 8 montre le nombre de décès toutes causes, par maladies cardio-pulmonaires et par cancer du poumon, rapporté pour 100 000 habitants. Les données des PM_{2,5} et de mortalité concernent respectivement les années 2000 et 1999.



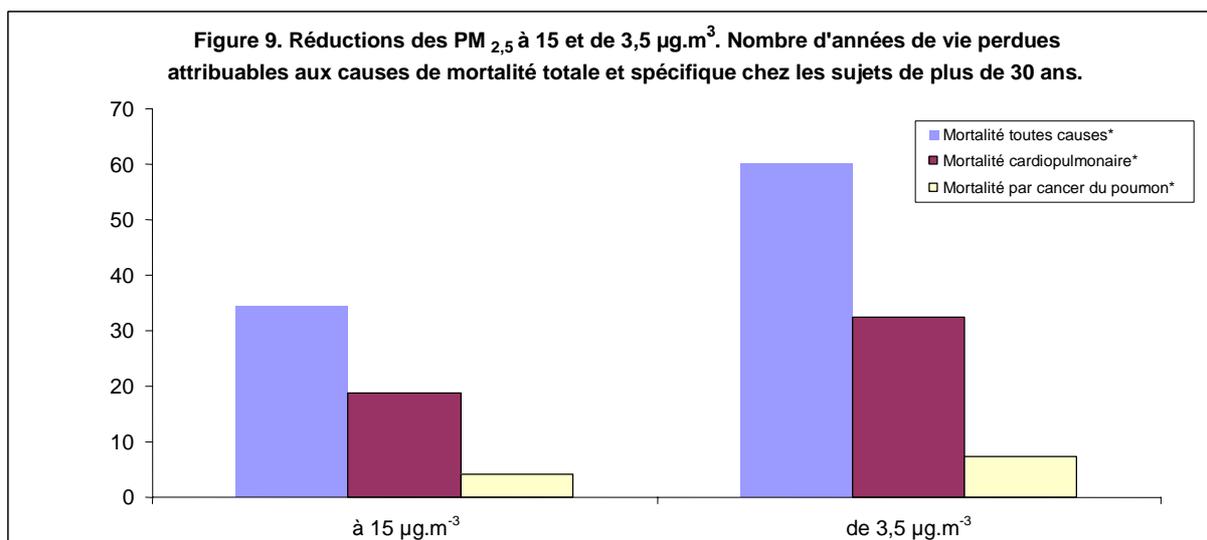
519) et mortalité par cancer du poumon (CIM-9 162).

Une réduction moyenne annuelle des PM_{2,5} de 3,5 µg.m⁻³ conduit au meilleur bénéfice en terme de décès toutes causes (126 décès évités) et pour les décès par maladies cardio-pulmonaires (68 décès évités). Pour un scénario similaire, pratiquement deux décès par cancer du poumon pour 100 000 habitants sont évités.

Le taux brut de mortalité par cancer du poumon en France chez les hommes et les femmes est respectivement de 79,4 et 14,9 pour 100 000 habitants et par an et peut être estimé à 42,9 pour 100 000 par an à Lyon.

2. Années de vie perdues

Le nombre d'années de vie perdues attribuable aux effets chroniques de la pollution atmosphérique a été estimé d'après les données de l'année 1999. La figure 9 montre le nombre d'années de vie perdues pour toutes les causes de décès, les décès pour maladies cardio-pulmonaires et par cancer du poumon chez les sujets âgés de 30 ans et plus dans la population lyonnaise. Les données des PM_{2,5} et de mortalité concernent respectivement les années 2000 et 1999.



* Mortalité toutes causes (CIM-9 0-999), mortalité cardiopulmonaire (CIM-9 401-440 et 460-519) et mortalité par cancer du poumon (CIM-9 162).

Pour toutes les causes de décès, toute chose égale par ailleurs, une réduction des PM_{2,5} de 3,5 µg.m³ en 2000 aurait pu sauver 60 années en terme d'espérance de vie chez les sujets de 30 ans et plus, à Lyon. Pour la mortalité cardio-pulmonaire, ce nombre dépasse 30 et pour le cancer du poumon, il est de 7 années.

Le tableau 5 montre les résultats en terme d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation potentielle si les niveaux de pollution atmosphérique annuels étaient réduits à 13,5 µg.m⁻³ à Lyon

Age (années)	Espérance de vie (années)	Gain en espérance de vie (années)		
		Estimation centrale	Limite inf.	Limite sup.
A la naissance	80,67	0,13	0,03	0,22
A 30 ans	51,45	0,13	0,03	0,22
A 65 ans	20,25	0,10	0,03	0,17

En terme d'espérance de vie, toutes choses égales par ailleurs, si les niveaux annuels moyens⁵ (17 µg.m⁻³) pouvaient être réduits à 13,5 µg.m⁻³, les 51,5 années d'espérance de vie d'une personne âgée de 30 ans et plus augmenterait de 0,13 année à Lyon du fait de la réduction du risque de décès toutes causes.

⁵ Calculés après avoir appliqué le facteur de conversion pour les PM_{2,5} à partir de l'ensemble des valeurs de PM₁₀ estivales et hivernales corrigées par le facteur de 1,221

Interprétation des résultats

Les méthodes de mesure des PM₁₀ ont utilisé la technique TEOM. Par conséquent, un facteur de correction de 1,221 a été utilisé pour prendre en compte les pertes de PM₁₀ par volatilisation en hiver. Les concentrations de polluants restent inchangées depuis 1993, sauf pour le SO₂ qui diminue de façon constante et pour le NO₂ qui montre une légère diminution depuis 1997.

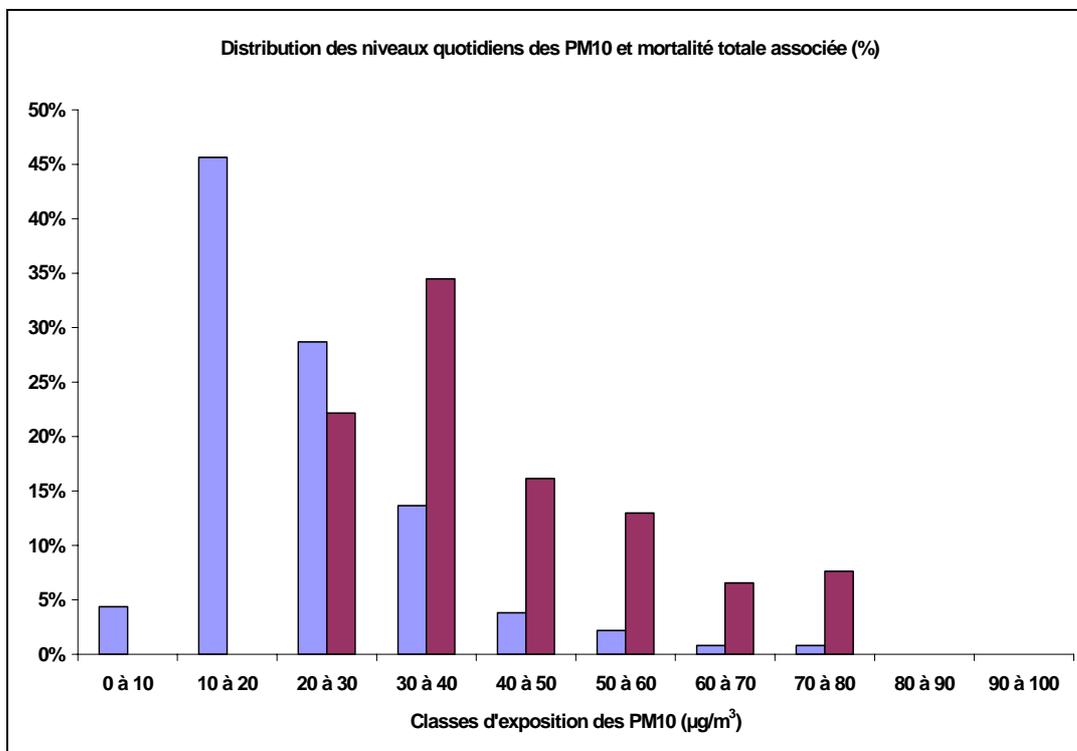
Le taux de mortalité standardisé sur l'âge (CIM-9 = [000-999]) était de 663,7 pour 100 000 habitants, plutôt bas comparé aux autres villes du programme qui ont des taux compris entre 579 et 1220. Pour l'EIS à court terme, la mortalité par maladies cardiovasculaires, cardiaques et respiratoires représentent respectivement 34,0%, 22,8% et 7,9% de la mortalité totale en 1999. Les admissions hospitalières pour causes cardiaques et respiratoires ont une moyenne quotidienne similaire. Pour l'EIS à long terme, la mortalité par maladies cardio-pulmonaires et cancer du poumon comptaient pour respectivement 36,3% et 5,5% de la mortalité totale en 1999.

Dans l'EIS court terme, la réduction quotidienne à 20 µg.m⁻³ des niveaux de polluants au-dessus de cette valeur représente la meilleure stratégie pour les PM₁₀. La limite pour 2010 semble la plus efficace pour obtenir un impact maximum sur la mortalité en réduisant la pollution atmosphérique.

Pour l'EIS long terme, une réduction de 5 et de 3,5 µg.m⁻³ de la valeur annuelle moyenne respectivement pour les PM₁₀ et les PM_{2,5} conduit à une meilleure réduction de la mortalité.

Une réduction annuelle de 3,5 µg.m⁻³ représenterait la stratégie la plus efficace : 60 vies seraient potentiellement sauvées et l'espérance de vie augmenterait de 0,13 année chez les sujets âgés de 30 ans et plus.

Par ailleurs, une amélioration quotidienne de la qualité de l'air semble plus efficace en terme d'impact sur la santé que la seule gestion des pics de pollution. La figure suivante confirme cette observation ; les niveaux de PM₁₀ compris entre 20 et 40 µg.m⁻³ sont à l'origine de plus de 50% de la mortalité totale.



Commentaires généraux

Avant la loi de 1996 sur la qualité de l'air et l'élaboration du plan régional de la qualité de l'air (PRQA) en 2001, la préfecture de la région Rhône-Alpes créait en 1990 le secrétariat pour la prévention de la pollution industrielle et des risques dans l'agglomération lyonnaise (Spiral). Il vise à réduire le risque industriel et celui dû aux polluants en définissant des actions prioritaires.

Plus récemment, l'élaboration du plan de protection de l'atmosphère (PPA) de la ville de Lyon a été lancée en 2003 et complète la planification régionale. Trois groupes de travail le composent : 1°) coordination, 2°) émissions, et 3°) qualité de l'air et impact sanitaire. Le troisième groupe concentrera ses efforts sur l'évaluation de l'impact sanitaire. Les plans de protection de l'atmosphère sont obligatoires pour toutes les agglomérations de plus de 250 000 habitants. Ils ont notamment pour objectif de ramener à l'intérieur de la zone du plan (102 communes pour le PPA de Lyon), la concentration en polluants dans l'atmosphère à un niveau inférieur aux normes européennes. Sont concernés des polluants comme SO₂, NO₂, PM₁₀, CO, Pb, HCl, O₃, C₆H₆, mais aussi à terme l'arsenic, le cadmium, les HAP, le mercure et le nickel (directives européennes en cours d'adoption).

Enfin, le plan national santé environnement, dont la déclinaison locale en plan régional santé environnement (PRSE), volet du plan régional de santé publique, est prévue pour fin 2005, contient un objectif de réduction des émissions industrielles (NO_x, et 6 substances cibles : benzène, chlorure de vinyle monomère, cadmium, plomb, mercure et dioxines), ainsi que d'un objectif de réduction des émissions polluantes du secteur résidentiel tertiaire. Un certain nombre d'actions de réduction des émissions seront à mettre en œuvre d'ici 5 ans dans le cadre de ce PRSE.

Une réelle prise de conscience du problème de la pollution atmosphérique est évidente. Néanmoins, des décisions en matière de santé publique n'ont pas encore suivi, excepté les procédures d'alerte initiées par la préfecture, l'élaboration du plan des déplacements urbains (PDU) et la journée annuelle sans voiture. L'information émanant du PRQA a entraîné une meilleure prise de conscience de la pollution atmosphérique chez les décideurs qui attendent aujourd'hui davantage des études sanitaires. Bien que le PRQA ait permis la création d'un comité permanent d'évaluation de l'impact de la pollution atmosphérique sur la santé, l'information diffuse encore peu au niveau des décideurs. De plus, le public ne reste que superficiellement, ponctuellement et pas toujours informé et sensibilisé de façon adéquate. Les résultats actuels de l'EIS pourraient représenter un outil d'aide à la décision pour les différents acteurs de la gestion de la pollution de l'air.

Conclusions

La ville de Lyon n'est pas encore complètement à « l'heure d'Apheis » bien que plusieurs initiatives aient été prises telles que la création du Spiral, l'élaboration du PRQA ainsi que celles, plus récentes, du PRSE et du PPA.

Un outil de communication développé par Apheis serait utile pour Lyon qui fait partie des grandes villes européennes. Cet outil pourrait être utilisé à l'occasion de la mise en place de l'atelier « communication » du PPA de Lyon.

Jusqu'à ce jour, l'EIS européenne a été développée dans Apheis pour un polluant : les particules. L'ozone devrait être inclus également en raison de ses effets sur la santé qui sont suffisamment bien connus et parce qu'il représente un polluant prédominant pendant l'été, associé aux vagues de chaleur qui pourraient survenir de plus en plus fréquemment. De nouveaux polluants comme le benzène dans l'optique d'une EIS à long terme et le NO₂, qui est relié au trafic, devraient aussi être envisagés.

Si la surveillance de la qualité de l'air est maintenant bien implantée et la prise de conscience de la pollution atmosphérique évidente, les mesures de santé restent encore limitées à la réduction des pics de pollution. Conformément à l'attente des décideurs, les résultats de cette EIS pourraient représenter un outil d'aide à la décision pour les différents acteurs impliqués dans la gestion de la pollution atmosphérique. Comment introduire ce type de résultats dans le circuit de la prise de décision et les présenter d'une façon pédagogique, compréhensible et pratique ? Cette question reste à résoudre et les réponses à apporter constituent un enjeu pour le Psas-9 et le programme Apheis.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Marseille

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Laurence Pascal

Juillet 2004

Marseille

Résumé des principaux résultats

Les moyennes annuelles sont de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les fumées noires et les $\text{PM}_{2,5}$ et de $27 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} . Depuis 1999, à Marseille, la moyenne annuelle des PM_{10} respecte les valeurs limites européennes prévues pour 2005.

Les sources d'émissions majoritaires sont liées au trafic routier. C'est le cas des PM_{10} , mais une part des particules mesurées est due à l'empoussièrement naturel.

Concernant les impacts à long terme, une réduction à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de particules $\text{PM}_{2,5}$ observés, éviterait potentiellement 170 décès par an pour l'agglomération de Marseille. Cette estimation peut se traduire par un gain potentiel de 72 années d'espérance de vie réparties sur l'ensemble de la population.

Concernant les impacts à court terme, une réduction de tous les niveaux journaliers des particules de PM_{10} au-dessous de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ permettrait d'éviter potentiellement 37 décès, 55 hospitalisations pour pathologie cardiaque et 79 hospitalisations pour pathologie respiratoire, pour l'année 2000.

Contexte

L'agglomération de Marseille est située au bord du littoral méditerranéen à une altitude moyenne de 12 mètres. Elle est entourée d'une ceinture montagneuse avec des reliefs pouvant atteindre 800 mètres. Le climat est de type méditerranéen, caractérisé par un fort ensoleillement et des températures moyennes agréables variant de 11°C à 20°C . Le régime des vents est caractérisé par deux vents forts dominants, le mistral et le vent de sud-est et deux vents modérés, les brises de mer et brises de terre.

Composée de cinq communes, la zone d'étude de Marseille s'étend sur une superficie de 355 km^2 et compte 856 156 habitants (recensement de 1999). Les personnes âgées de 65 ans et plus représentent 18,7% de la population.

A Marseille, comme dans les autres agglomérations françaises, les politiques en matière de pollution de l'air sont définies par la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) votée en décembre 1996. Le Plan régional de la qualité de l'air (PRQA), publié en 2000, fixe les orientations permettant de prévenir ou de réduire la pollution atmosphérique afin d'atteindre les objectifs de la qualité de l'air définis dans ce même plan. Il est complété par le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) pour la gestion de la qualité de l'air à l'échelle de l'agglomération, ce projet de plan étant en cours de validation.

Sources d'émissions

Dans la zone de Marseille, la pollution atmosphérique est liée principalement au trafic routier. Les niveaux de fumées noires sont dus pour une large part aux émissions des véhicules diesels. Le trafic routier représente la principale source de PM_{10} , mais une part provient de

l'empoussièrément naturel (le vent du sud transporte des particules venant du Sahara). Pour le département des Bouches du Rhône, 53 % des émissions de NOx sont liées aux transports routiers. (CITEPA 1997, données de 1994)

Depuis 1983, les niveaux de SO₂ ont diminué en raison de la désindustrialisation de la zone d'étude d'une part et de la limitation des émissions liées aux usines et aux chauffages d'autre part.

Depuis les dix dernières années, les niveaux de NO₂ ont diminué légèrement, plus particulièrement dans les zones les plus polluées. Les niveaux de PM₁₀ augmentent en lien avec l'augmentation du nombre de véhicules.

Dans la région du sud de la France, les niveaux d'ozone sont très élevés pendant l'été et de nombreux dépassements des normes européennes sont constatés. Au cours de la vague de chaleur de l'été 2003, le réseau de mesure de la qualité de l'air a enregistré des niveaux d'ozone exceptionnels par leur durée et leur intensité.

Données d'exposition

Réseau de mesure de la qualité de l'air

A Marseille, le réseau de mesure agréé de la qualité de l'air, Airmaraix, enregistre les niveaux de pollution atmosphérique depuis 1982. La zone d'étude marseillaise est couverte par 13 stations fixes mesurant 7 polluants différents.

Les fumées noires sont mesurées depuis 1982. Pour la période d'étude, 2 stations trafic et 2 stations urbaines (St Louis et Ste Marguerite) mesuraient ce polluant. Les capteurs de PM₁₀ ont été installés progressivement depuis 1998. Pour la période d'étude, 1 station trafic et 3 stations urbaines (St Louis, Cinq Avenues et Thiers/Noailles) mesuraient les PM₁₀. Les concentrations en PM_{2,5} ont été mesurées par 2 stations urbaines (St Louis et Cinq Avenues) installées progressivement depuis 2000.

Les fumées noires sont mesurées par méthode réflectométrique. Les PM₁₀ et les PM_{2,5} sont mesurés par méthode TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance). A Marseille, aucun facteur de correction n'est appliqué habituellement aux mesures de PM₁₀ et PM_{2,5} par le réseau de mesure de la qualité de l'air. Néanmoins, pour les calculs d'impact sanitaire à long terme, nous avons appliqué deux facteurs de correction à ces mesures afin d'être en cohérence, avec les recommandations européennes d'une part (méthode de mesure gravimétrique pour référence) et avec les méthodes de mesures rapportées dans la littérature pour ce type d'étude épidémiologique (méthode gravimétrique également). Ainsi, après consultation des professionnels de l'Ecole des Mines de Douai (laboratoire de référence), le facteur de correction appliqué aux mesures de PM₁₀ à Marseille était de 1,13 en hiver et de 1 en été.

Par ailleurs, un facteur local de conversion des PM₁₀ en PM_{2,5} a été calculé à partir de mesures réalisées en parallèle sur les mêmes stations. Ce facteur était de 0,65 pour Marseille.

Airmaraix mesure également d'autres polluants tels que les métaux lourds (cadmium, nickel, plomb et arsenic) et les composés organiques volatiles (COV).

Airmaraix a établi un cadastre des émissions pour la région Provence-Alpes-Côte-d'Azur (Paca) et développe une expertise dans le domaine de la prévision et des modèles de diffusion de la pollution de l'air.

Données d'exposition pour APHEIS3

Pour les mesures de fumées noires et de PM₁₀, la période d'étude correspond à l'année 2000. Pour les PM_{2,5}, les mesures de l'année 2002 ont été utilisées car celles des années antérieures étaient incomplètes pour une des stations sélectionnées.

Les distributions des indicateurs de pollution retenus pour l'évaluation d'impact sanitaire sont présentées dans le tableau 1. Les nombres de jours pour lesquels les valeurs limites sont dépassées sont présentés dans le tableau 2

Tableau 1. Niveaux moyens journaliers (ET) et Percentiles 5 et 95 pour les polluants

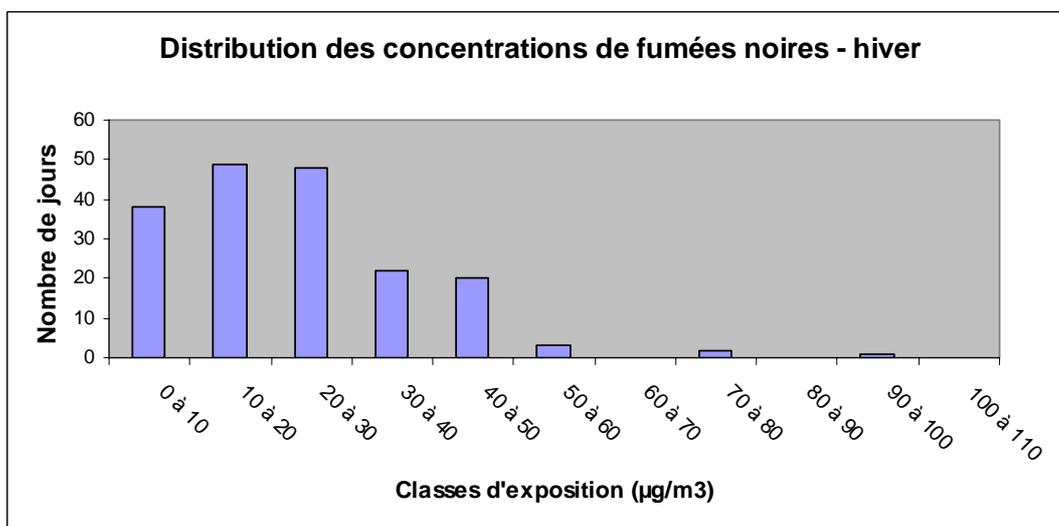
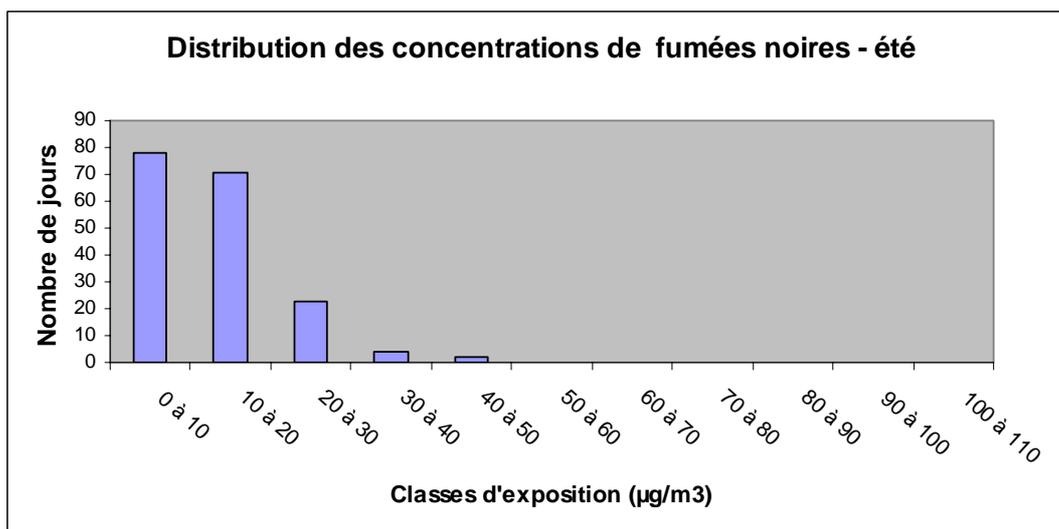
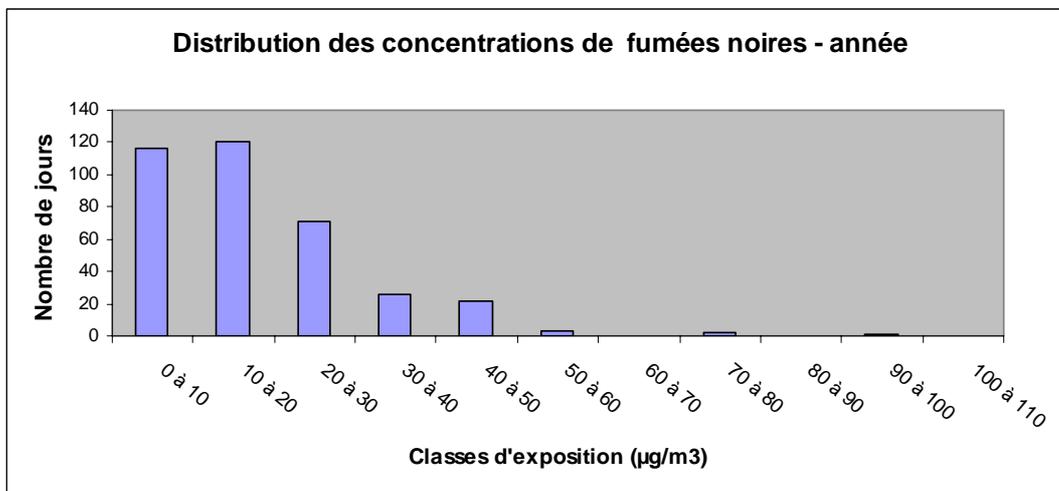
Polluant	Nombre de jours pour la période	Moyenne journalière (ET)	Percentile 5	Percentile 95
FN	366	18 (13) µg/m ³	5 µg/m ³	43 µg/m ³
PM ₁₀	366	27 (10) µg/m ³	13 µg/m ³	42 µg/m ³
PM _{2,5}	365	18 (8) µg/m ³	8 µg/m ³	33 µg/m ³

Tableau 2. Nombre de jours dépassant les valeurs limites européennes

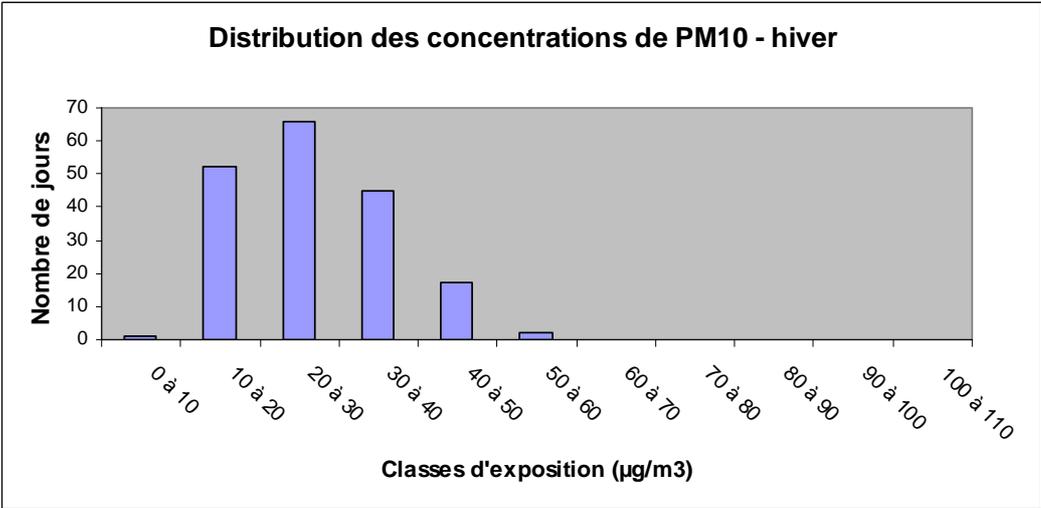
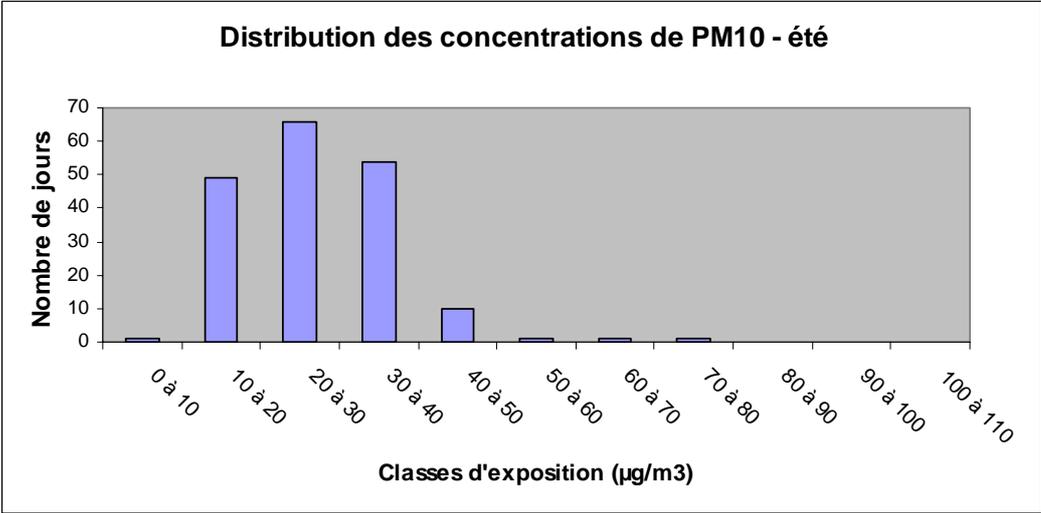
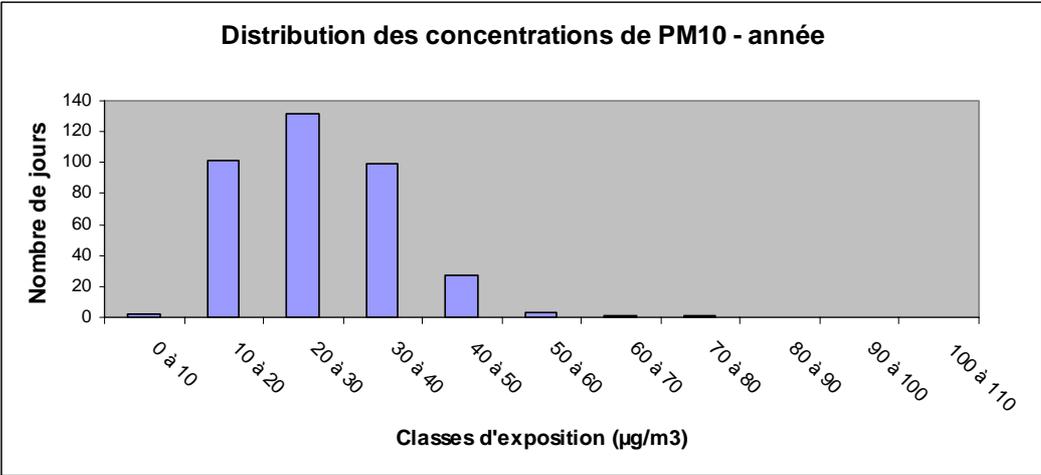
Polluant	Court terme		Long terme	
	PM ₁₀ / FN	PM _{2,5}	PM ₁₀	PM _{2,5}
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	20 µg/m ³	14 µg/m ³	20 µg/m ³	15 µg/m ³
	257 / 123	228	257	212
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	50 µg/m ³	35 µg/m ³	40 µg/m ³	20 µg/m ³
	5 / 6	11	26	131

Les figures suivantes présentent les distributions des niveaux de fumées noires, de PM₁₀ et de PM_{2,5} pour l'année entière, et par saison (été et hiver). Les niveaux de fumées noires sont plus dispersés que ceux des autres types de particules avec un maximum à 98 µg/m³. Les niveaux de PM₁₀ varient de 10 à 50 µg/m³. La distribution des PM_{2,5} est semblable à celle des PM₁₀ mais les niveaux sont plus faibles.

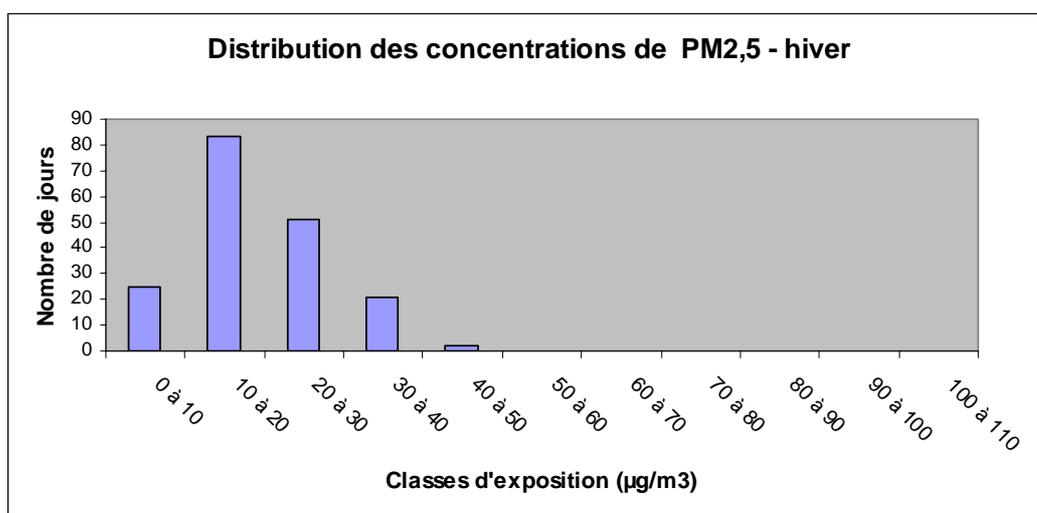
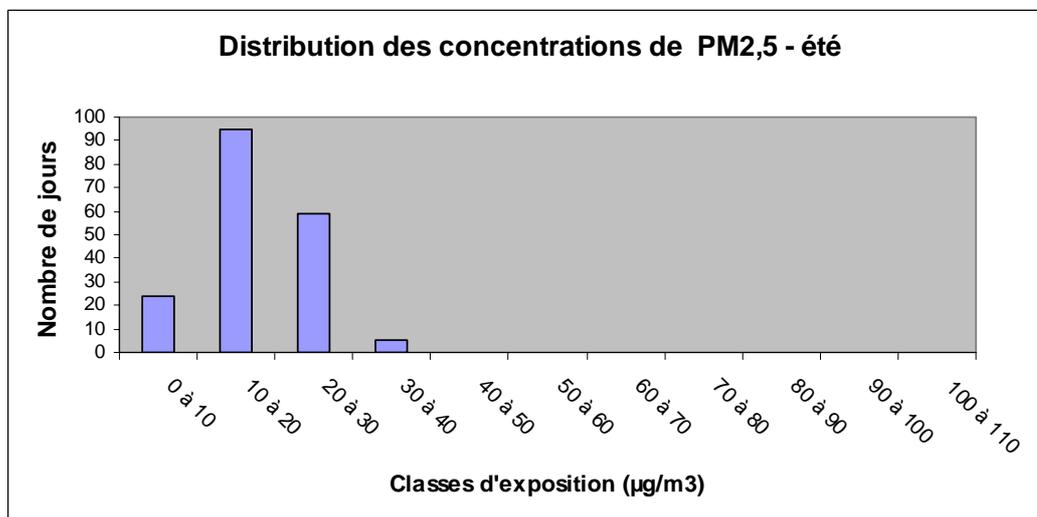
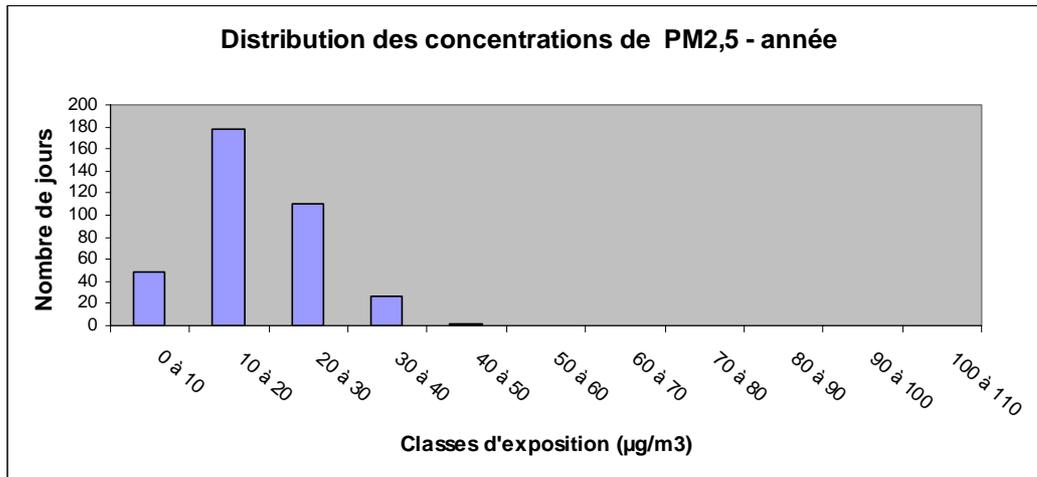
Distribution des fumées noires – année 2000



Distribution des PM₁₀ – année 2000



Distribution des PM_{2,5} – année 2002



Données sanitaires

Les données de mortalité ont été recueillies auprès du service CepiDC de l'Inserm qui enregistre l'ensemble des décès et leurs causes. Les données les plus récentes au moment de l'étude étaient les données de 1999. Les causes de décès étaient codées selon la Classification internationale des maladies – 9^{ème} révision (CIM-9).

Les données d'admissions hospitalières concernaient les établissements publics et privés. Elles ont été recueillies pour l'année 2001 (la plus récente au moment de l'étude) auprès de l'Agence technique de l'information hospitalière (ATIH). Les données d'hospitalisations étaient codées selon la Classification internationale des maladies – 10^{ème} révision (CIM-10)

Des contrôles réguliers de qualité sont effectués par ces services sur leurs données.

Le taux annuel de mortalité standardisé sur l'âge (mortalité toutes causes) était de 783 pour 100 000 habitants. La population européenne était la population de référence⁶ pour ce calcul

Le tableau 3 présente le nombre moyen journalier et les taux pour 100 000 habitants correspondants des indicateurs sanitaires.

Tableau 3. Nombre moyen journalier et taux annuel pour 100 000 des décès (1999) et des admissions hospitalières (2001).

Indicateur sanitaire	Codes CIM9	Codes CIM10	Moyenne journalière	Taux pour 100 000
Impact sanitaire à court terme				
Mortalité toutes causes (hors causes externes)*	< 800	A00-R99	21,63	922,50
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	7,24	308,60
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	1,96	83,75
Mortalité cardiaque	390-429	I00-I52	4,80	204,75
Hospitalisations cardiaques	390-429	I00-I52	33,69	1436,45
Hospitalisations respiratoires	460-519	J00-J99	24,42	1041,47
Impact sanitaire à long terme				
Mortalité toutes causes	0-999	A00-Y98	23,24	991,16
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440	I10-I70		
	460-519	J00-J99	8,52	363,13
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	1,21	51,51

* Pour les scénarios court terme et long terme

⁶ UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Évaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios théoriques d'exposition aux particules ont été construits pour illustrer leurs répercussions sur les impacts sanitaires à court et à long terme. A Marseille, ces scénarios ont été construits pour les trois indicateurs, fumées noires, PM₁₀ et PM_{2,5}. Concernant l'interprétation des résultats : en aucun cas les estimations du nombre de cas attribuables à ces différents polluants ne doivent être additionnées car elles représentent les effets d'une même pollution.

Différents outils de calculs et différentes relations exposition / risque (Risque Relatif – RR) ont été utilisés pour estimer les impacts sanitaires selon le polluant considéré, l'indicateur sanitaire étudié et la ville concernée (Tableau 4).

Tableau 4. Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)</i>	<i>Villes concernées</i>
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
PM_{2,5}	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	RR convertis à partir des RR PM ₁₀	3 scénarios : Réduction à 35 µ/m ³ Réduction à 14 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99				
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99				
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52				
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99				
fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-429	I00-I52		1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite. Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)</i>	<i>Villes concernées</i>
Nombres de cas attribuables							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Etude Trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,09 (1,03-1,16)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002		
Années de vie perdues							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	AirQ	1,09 (1,03-1,16)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002		

Par ailleurs, différentes approches ont été utilisées pour la présentation des résultats :

- Pour les fumées noires, les résultats des impacts à court terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les PM₁₀, les résultats des impacts à court et long terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les PM_{2,5}, les résultats des impacts à long terme ont été exprimés en termes de :
 - Nombre annuel de décès attribuables ;
 - Nombre d'années de vie perdues au début de la simulation.

Scénarios d'exposition pour les évaluations d'impact sanitaire

Scénarios pour les impacts à court terme

Les différents scénarios utilisés pour estimer les effets à court terme d'une exposition aux fumées noires/PM₁₀ sont les suivants :

Fumées noires

Nous avons estimé les effets à court terme d'une exposition aux fumées noires sur la mortalité toutes causes (hors mort violente), cardiovasculaire et respiratoire selon les 3 scénarios d'évolution de l'exposition suivants :

- réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 50 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur ;
- réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur ;
- réduction de 5 µg/m³ de toutes les valeurs journalières observées de fumées noires.

PM₁₀

Nous avons estimé les effets à court terme d'une exposition aux PM₁₀ sur les 3 indicateurs de mortalité : les expositions prises en compte étaient celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille d'une part, celle des 40 jours précédents d'autre part. Les 3 scénarios d'évolution de l'exposition étaient les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 50 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeur limite en 2005) ;
- réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeur limite en 2010) ;
- réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés).

Scénarios pour les impacts à long terme

PM₁₀

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM₁₀ sur la mortalité annuelle pour différents scénarios :

- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40 µg/m³ (valeur limite 2005 pour les PM₁₀) ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 20 µg/m³ (valeur limite 2010 pour les PM₁₀) ;
- réduction de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle observée (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés).

PM_{2,5}

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM_{2,5} sur la mortalité annuelle dans la population des 30 ans et plus pour différents scénarios:

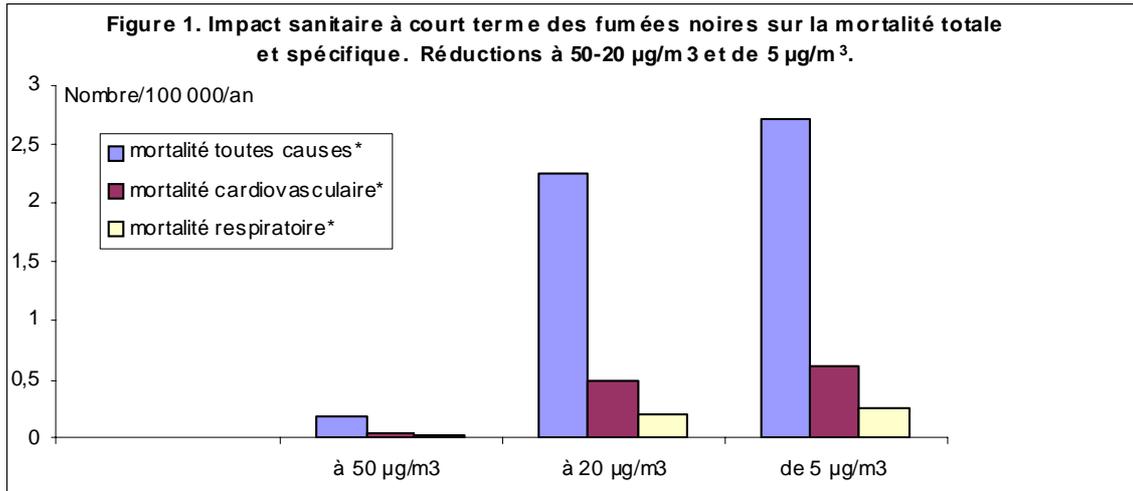
- réduction de la moyenne annuelle au niveau de 20 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle au niveau de 15 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle de 3,5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{2,5} déjà modérés).

Évaluation de l'impact sanitaire : résultats

Résultats pour l'exposition aux fumées noires

Mortalité

La figure 1 illustre l'impact annuel à court terme d'une exposition aux fumées noires sur la mortalité toutes causes et la mortalité spécifique (données de fumées noires année 2000, données de mortalité année 1999).

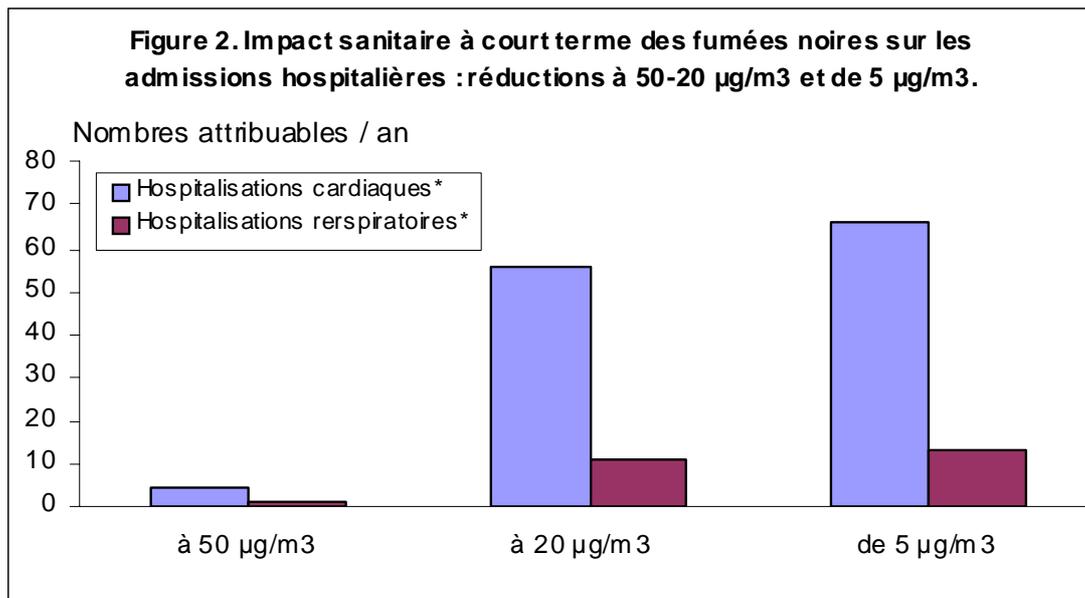


* mortalité toutes causes sauf accidentelle (CIM9 < 800), cardiovasculaire (CIM9 390-459) et respiratoire (CIM9 460-519).

Ces résultats montrent que l'impact d'une exposition à court terme aux fumées noires est faible pour le scénario 1, les niveaux supérieurs à 50 µg/m³ étant peu fréquents. Les gains sanitaires les plus importants sont obtenus pour une réduction de 5 µg/m³ des niveaux journaliers de fumées noires : 23,2 décès toutes causes, 5,2 décès pour cause cardiovasculaire et 2,1 décès pour cause respiratoire auraient potentiellement pu être évités pour l'année 2000.

Admissions hospitalières

La figure 2 illustre l'impact annuel à court terme d'une exposition aux fumées noires sur les admissions hospitalières pour causes cardiaques et respiratoires (données de fumées noires année 2000, données admissions hospitalières année 2001).



* admissions hospitalières pour causes cardiaques (CIM10 I00-I52) et respiratoires (CIM10 J00-J99)

Ici encore, les gains sanitaires les plus importants sont obtenus pour une réduction de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux journaliers de fumées noires : 66 hospitalisations pour cause cardiaque et 13 pour cause respiratoire auraient potentiellement pu être évitées pour l'année 2000.

Résultats pour l'exposition aux PM_{10}

Mortalité

Les graphes suivants (Figures 3 et 4) illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux PM_{10} sur la mortalité pour les différentes durées d'exposition considérées : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL) et une exposition chronique (LT). Les données de PM_{10} sont celles de l'année 2000, les données de mortalité sont celles de 1999.

* mortalité toutes causes sauf accidentelle (CIM9 < 800)

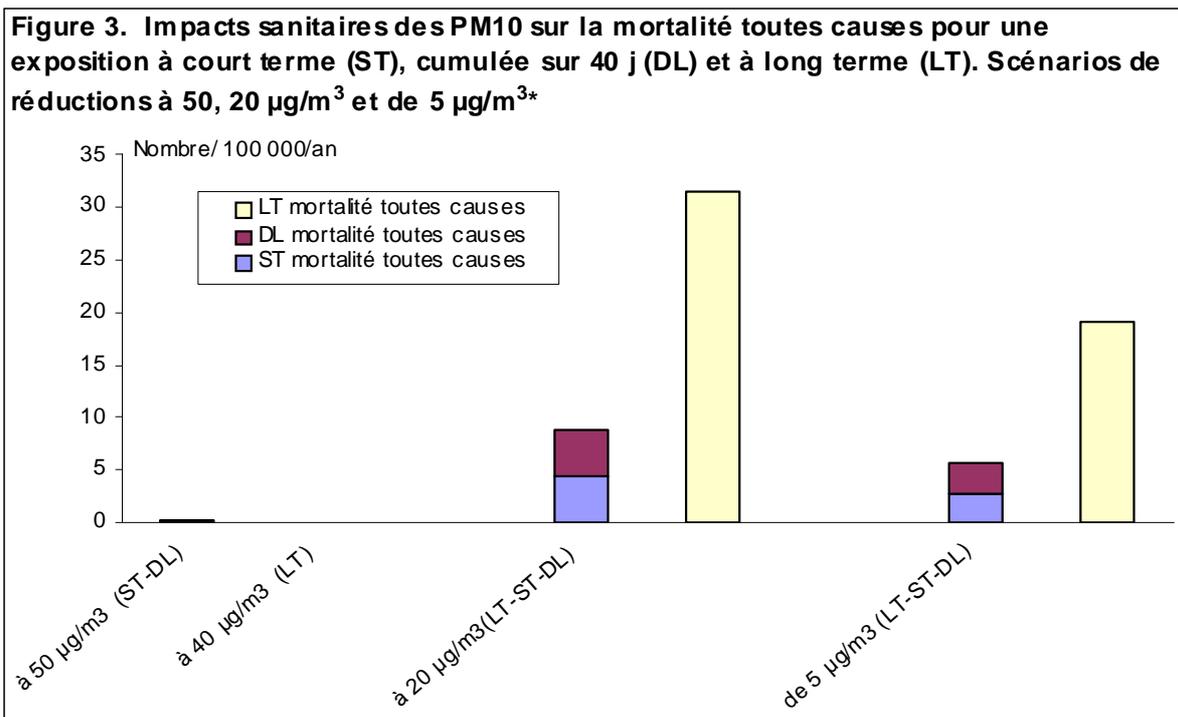
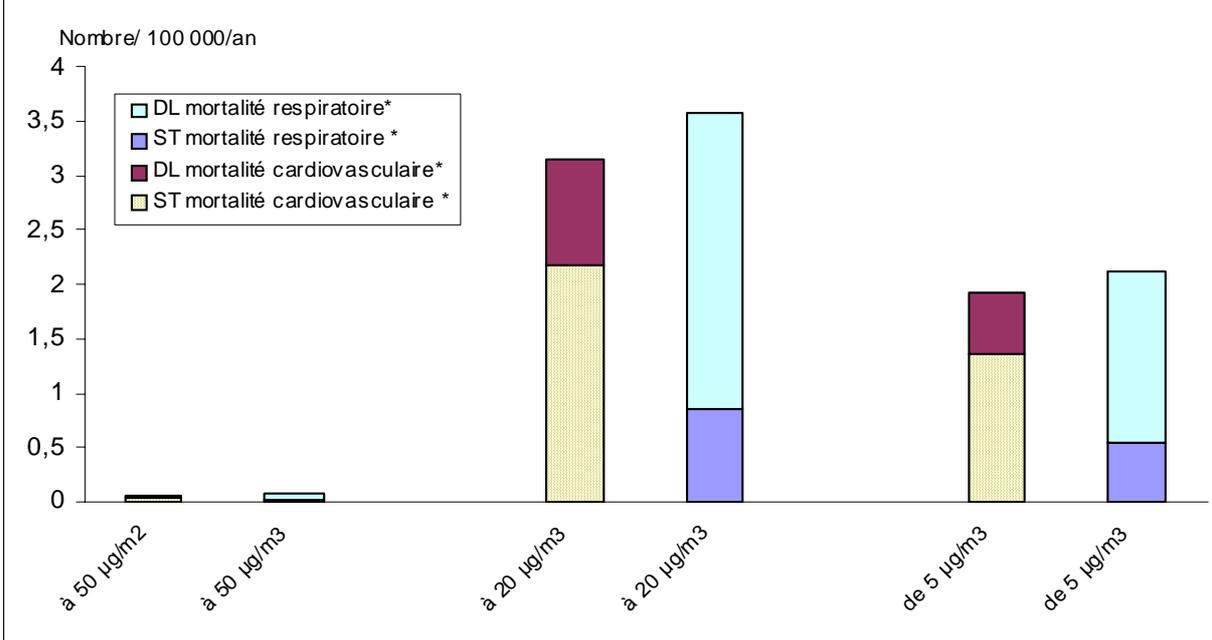


Figure 4. Impacts sanitaires des PM10 sur la mortalité spécifique pour une exposition à court terme (ST) et cumulée sur 40 j (DL). Scénarios de réductions à 50, 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$



*mortalité cardiovasculaire (CIM9 390-459), mortalité respiratoire (CIM9 460-519)

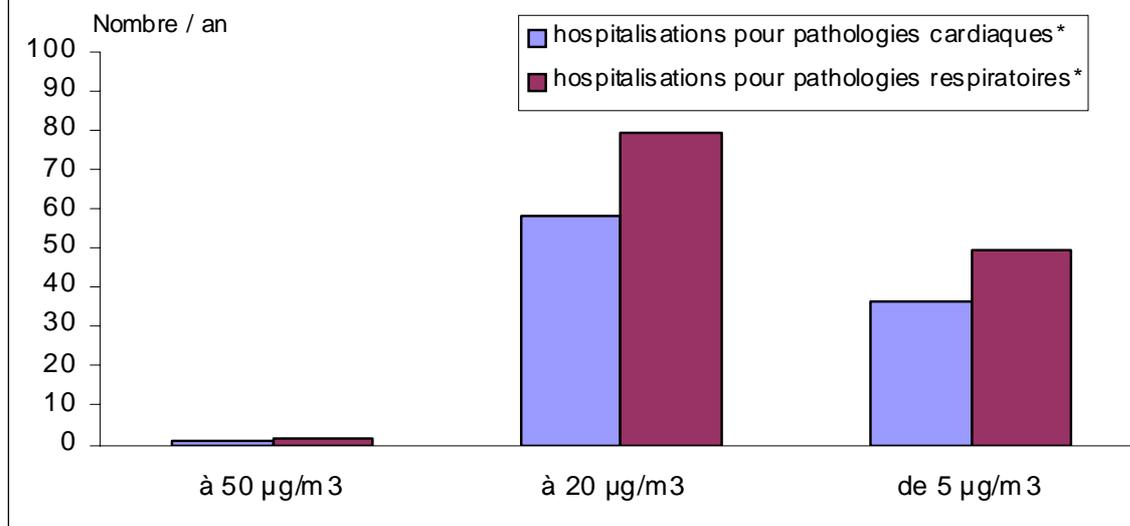
Le nombre de décès est pratiquement nul pour le premier scénario, les niveaux de PM_{10} étant presque toujours inférieurs à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Le scénario 2 est celui qui permet les gains sanitaires les plus élevés. Pour une réduction des niveaux journaliers de PM_{10} à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, le nombre annuel de décès toutes causes attribuables à la pollution est de 37 pour l'impact à court terme, de 76 pour un impact cumulé sur 40 jours et de 270 pour un impact à long terme.

Les résultats montrent que l'impact sanitaire d'une exposition chronique aux PM_{10} est environ 3,5 fois plus important que l'impact d'une exposition cumulée sur 40 jours qui est lui-même plus important que l'impact d'une exposition sur 0-1 jours. Ce qui signifie que plus la durée d'exposition est longue, plus l'impact sanitaire est important et que les effets sont cumulatifs dans le temps.

Admissions hospitalières

Nous avons estimé les impacts à court terme d'une exposition aux PM_{10} sur les admissions hospitalières pour causes cardiaques et respiratoires (Figure 5). Les données de PM_{10} sont celles de l'année 2000, les données d'admissions hospitalières sont celles de 2001.

Figure 5. Impact sanitaire à court terme des PM10 sur les hospitalisations cardiaques et respiratoires pour des réductions à 50, 20 et de 5 µg/m³.



* Admissions hospitalières cardiaques (CIM10 I00-I52) et respiratoires (CIM10 J00-J99)

L'impact sanitaire à court terme sur les admissions hospitalières est pratiquement nul pour le premier scénario, les niveaux de PM₁₀ étant presque toujours inférieurs à 50 µg/m³. Le scénario 2 est toujours celui qui permet les gains sanitaires les plus élevés. Pour une réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 20 µg/m³, le nombre annuel d'hospitalisations attribuables à la pollution est de 79 pour les pathologies cardiaques et de 58 pour les pathologies respiratoires.

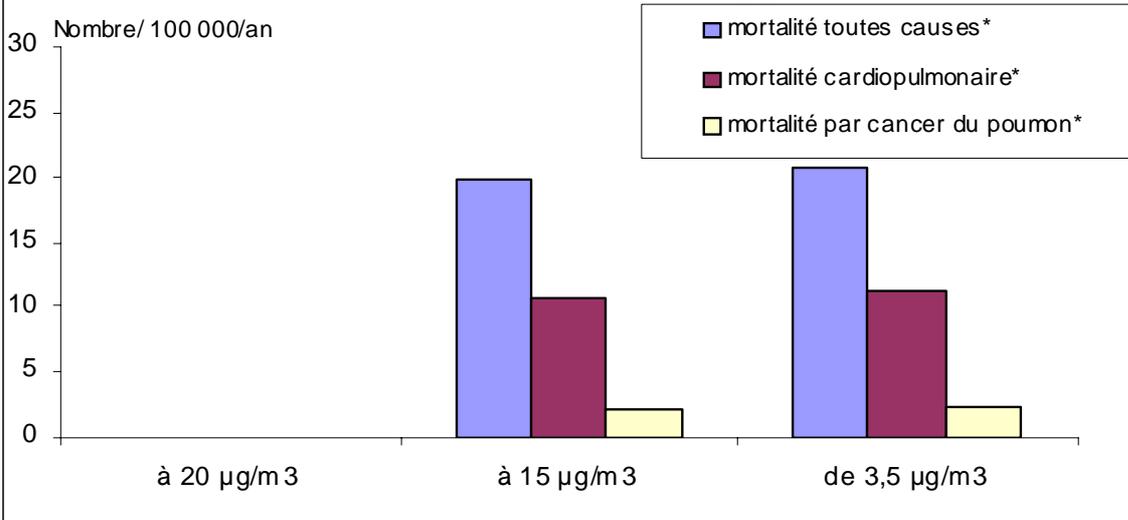
Résultats pour l'exposition aux PM_{2,5}

Impact sanitaire à long terme

Les figures suivantes présentent l'impact à long terme en terme de taux (pour 100 000 habitants) de décès toutes causes, cardio-pulmonaires et par cancer du poumon attribuables à une exposition chronique aux PM_{2,5}. Ces dernières, pour des raisons de cohérence entre les différentes villes européennes, ont été obtenues par conversion des données PM₁₀ de l'année 2000, elles-mêmes corrigées pour prendre en compte la technique de mesure (voir paragraphe « Données d'exposition »).

Le graphe suivant présente l'impact sanitaire à long terme d'une exposition chronique aux PM_{2,5} (Figure 6). Les données de PM_{2,5} sont celles de l'années 2000, les données de mortalité sont celles de 1999.

Figure 6. Impact à long terme des PM2.5 sur la mortalité pour des réductions de la moyenne annuelle à 20 et 15 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 3,5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



* Mortalité toutes causes (CIM9 0-999), mortalité cardiopulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), Mortalité par cancer du poumon (CIM9 162).

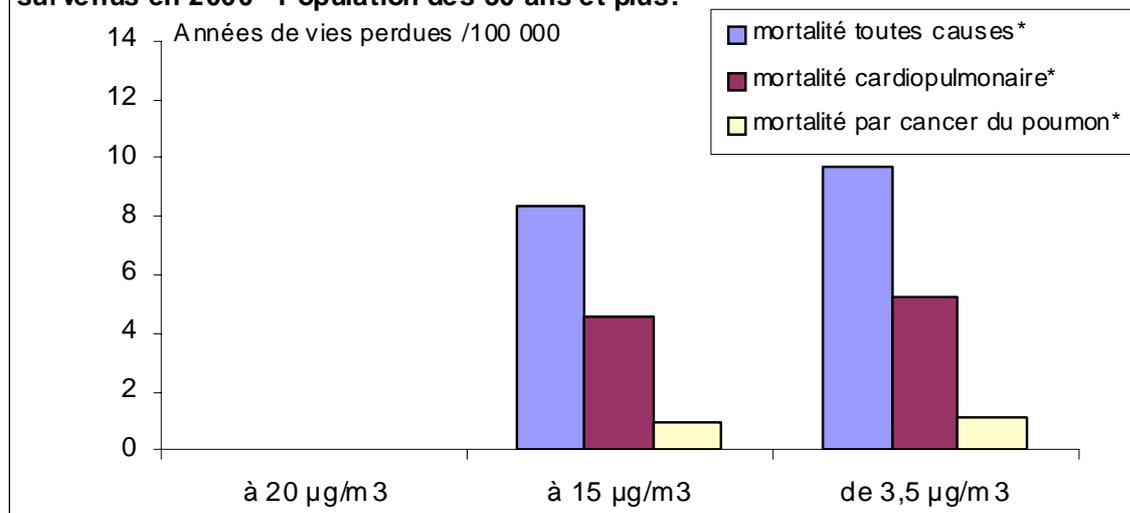
La moyenne annuelle en $\text{PM}_{2,5}$ (calculé) étant de $18 \mu\text{g}/\text{m}^3$, la diminution à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux d'exposition n'a aucun impact sanitaire. Les impacts sanitaires des deux autres scénarios (diminution à 15 et $14,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$) sont très proches. L'application du scénario 3 permettrait un gain sanitaire annuel potentiel de 177 décès toutes causes, 96 décès pour cause cardio-pulmonaire et 19 décès par cancer du poumon.

Années potentielles de vie perdues

Nous avons estimé les années potentielles de vie perdues attribuables à une exposition chronique aux $\text{PM}_{2,5}$ en utilisant les données de l'année 2000 obtenues par conversion des données de PM_{10} corrigées.

La figure 7 présente les années potentielles de vies perdues pour la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon pour la population âgée 30 ans et plus de la zone d'étude de Marseille. Les données de $\text{PM}_{2,5}$ sont de 2000, les données de mortalité de 1999.

Figure 7 : Scénarios de réductions à 20, 15 et de 3,5 µg/m³. - Années potentielles de vie perdues liées à une exposition chronique aux PM_{2.5} et dues aux décès survenus en 2000 - Population des 30 ans et plus.



* Mortalité toutes causes (CIM9 0-999), mortalité cardiopulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), Mortalité par cancer du poumon (CIM9 162).

Pour les décès toutes causes, et toutes choses étant égales par ailleurs, une réduction de 3,5 µg/m³ du niveau de PM_{2.5} en 2000 aurait pu éviter la perte de 84 années de vie pour la totalité des habitants de la zone d'étude de Marseille âgés de 30 ans et plus. Pour la mortalité cardio-pulmonaire, ce chiffre est d'environ 45 années tandis que pour la mortalité par cancer du poumon, il est de 9 années.

Le tableau 5 présente ces résultats en termes d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation potentielle pour une réduction du niveau des PM_{2.5} (moyenne annuelle) à 15 µg/m³ à Marseille.

Age	Espérance de vie	Gain potentiel d'espérance de vie (années)		
		Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
À la naissance	78,86	0,18	0,05	0,32
À 30 ans	49,90	0,19	0,05	0,32
À 65 ans	18,95	0,13	0,04	0,23

Ce tableau doit être interprété de la façon suivante : toutes choses égales par ailleurs, si la moyenne annuelle des concentrations en PM_{2.5} (18µg/m³) était réduite à 15 µg/m³, les 49,9 années d'espérance de vie d'une personne de 30 ans augmenterait de 0,2 année dans l'agglomération de Marseille.

Interprétation des résultats

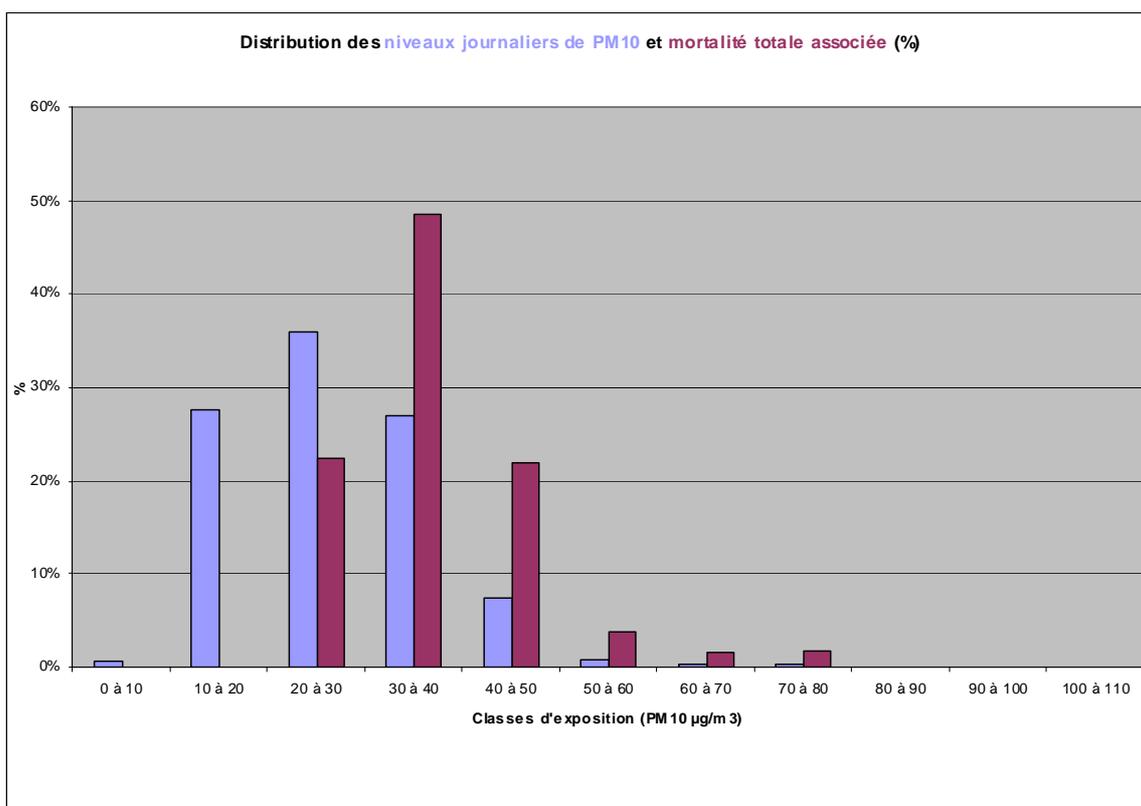
Ces résultats apportent un certain nombre d'enseignements. La réduction des niveaux de particules permet d'obtenir des bénéfices en terme de santé publique, l'impact sanitaire d'une exposition à court terme aux PM₁₀ étant légèrement plus élevé que pour les fumées noires.

Ils montrent que, à niveau de pollution égal, l'impact sanitaire d'une exposition cumulée de 40 jours est plus important que l'impact d'une exposition de 2 jours. Cette différence est plus marquée pour la mortalité respiratoire, l'effet des PM₁₀ étant probablement plus retardé pour les pathologies respiratoires et plus immédiat pour les pathologies cardiaques.

Les niveaux de pollution les plus élevés sont associés aux impacts sanitaires les plus importants mais sur une année cela représente peu de jours. Il est donc plus efficace au plan sanitaire de réduire les niveaux de pollution de fond, même de manière modeste, que de supprimer les pics ponctuels de pollution (figure 8).

Les résultats en terme d'espérance de vie peuvent sembler faibles mais à l'échelle de la population de Marseille, le nombre d'années de vies perdues n'est pas négligeable.

Figure 8. Distribution des niveaux de PM₁₀ et pourcentage de cas associés à court terme



Conclusions

Ces résultats confirment que des gains sanitaires peuvent être potentiellement obtenus par l'amélioration de la qualité de l'air même dans des villes où la pollution atmosphérique est d'ores et déjà modérée.

Au niveau local, les résultats d'Apheis complètent les résultats du programme Psas-9 concernant l'impact sanitaire d'une exposition aux particules. Ces programmes ont permis de développer des collaborations entre les différents acteurs dans les domaines de l'air et de la santé. En terme de communication, le message montrant que l'impact sanitaire de la pollution de fond est plus important que celui des pics de pollution commence à être relayé par les médias et les décideurs et perçu par la population.

Les effets d'une exposition à court terme étant maintenant bien connus, le grand public et les décideurs souhaitent être mieux informés sur l'impact à long terme d'une exposition à la pollution atmosphérique et sur l'impact en terme d'espérance de vie. En cela, les résultats du programme Apheis 3 permettent d'apporter une première réponse.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Paris et proche couronne

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Agnès LEFRANC, Benoît CHARDON

Juillet 2004

PARIS et proche couronne⁷

Résumé des principaux résultats

A Paris et en proche couronne, les niveaux de pollution atmosphérique montrent globalement une tendance à la stabilisation voire à la baisse au cours de ces dernières années.

La moyenne annuelle des niveaux de dioxyde d'azote en 2002 était de $44\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est légèrement supérieur à la valeur limite européenne pour 2010 ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$). Depuis 1997, la tendance est à la baisse (la moyenne annuelle était de $57\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 1997).

La moyenne annuelle des niveaux de fumées noires était de $17\mu\text{g}/\text{m}^3$ en 2002. Pendant des années, ces niveaux n'ont cessé de diminuer : la moyenne annuelle était de $150\mu\text{g}/\text{m}^3$ à la fin des années 50. Depuis 4 ans la tendance est à la stabilisation.

La moyenne annuelle des niveaux de particules fines (PM_{10}) en 2002 était de $22\mu\text{g}/\text{m}^3$, ce qui est légèrement supérieur à la valeur limite européenne pour 2010 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$), mais inférieur à celle pour 2005 ($40\mu\text{g}/\text{m}^3$). Sur les 5 dernières années, les niveaux de PM sont stables.

L'analyse a estimé que la réduction de l'exposition à long terme aux $\text{PM}_{2,5}$ à un niveau de $15\mu\text{g}/\text{m}^3$ en moyenne annuelle pourrait réduire la mortalité à Paris et en proche couronne. Sur un an, environ 850 décès anticipés seraient évitables, ce qui représente environ 410 années de vie. Par ailleurs, si les niveaux journaliers de PM_{10} étaient tous inférieurs à $20\mu\text{g}/\text{m}^3$, environ 100 décès et 140 hospitalisations pour causes cardiovasculaires auraient pu être évités en 2000.

La fermeture de nombreuses usines a entraîné la diminution des émissions industrielles. Aujourd'hui la plus grande part des émissions provient du trafic. C'est pourquoi la plupart des actions mises en place localement pour réduire la pollution atmosphérique concernent cette source.

Contexte

Dans le précédent rapport Apehis, des évaluations d'impact sanitaires similaires avaient été réalisées. Les indicateurs sanitaires et d'exposition proviennent des mêmes sources. Dans le rapport précédent, les données utilisées dataient de 1998. Les résultats montraient que le respect de la valeur limite prévue pour 2010 pour les particules fines pourrait entraîner un important bénéfice en terme de santé publique (diminution d'environ 800 décès anticipés par an en prenant en compte les effets à long terme).

Les résultats des études Erpurs, Psas-9 et Apehis sont utilisés par les décideurs locaux afin d'appuyer les mesures de réduction des émissions de polluants atmosphériques. Les résultats de l'étude Apehis3 devraient être utilisés dans ce contexte à Paris.

Même si à Paris les niveaux de pollution ne sont que très légèrement supérieurs aux valeurs limites fixées par l'Union Européenne pour 2010, la qualité de l'air reste un sujet qui préoccupe aussi bien le grand public que les décideurs.

⁷ Dans tout ce qui suit, et afin d'alléger le texte, « Paris » a été utilisé pour désigner la zone d'étude qui comprend Paris et les trois départements de proche couronne : Seine-Saint-Denis, Hauts-de-Seine et Val-de-Marne.

Dans ce rapport, les analyses ont été réalisées en utilisant les données d'exposition à la pollution atmosphérique pour l'année 2000, les données de mortalité et de population de 1999 et les données d'hospitalisation de 2001.

Sources d'émissions

Les principales sources de pollution atmosphérique ont été décrites dans le chapitre concernant Paris du précédent rapport Apheis (www.apheis.org). Ceci est une mise à jour réalisée à partir de l'inventaire le plus récent datant de 2003 et réalisé par Airparif pour le compte de la Drire dans le cadre de l'élaboration du Plan de protection de l'atmosphère (PPA) en Ile-de-France. Le tableau 1 présente quelques résultats de cet inventaire.

Tableau 1. Principales sources de la pollution de l'air à Paris et en proche couronne

Polluants	Route	Chauffage	Industries	Autres sources (transports autres que la route, usines d'incinération,...)
PM	36,9%	4,9%	46,3%	11,8%
NO ₂	49,4%	15,5%	20,6%	14,5%

Les transports sont la principale source de NOx : le transport routier contribue à lui seul à 49,4% des émissions de NOx, les autres transports représentant 10%. Concernant les PM, les sources d'émissions sont plus partagées : la route représente 36,9% des émissions, les 63,1% restant étant produits par la combustion des matières fossiles, les industries, les usines d'incinération d'ordures ménagères,...

Données d'exposition

Les données nécessaires à la construction des indicateurs d'exposition à la pollution atmosphérique sont fournis par Airparif, qui est l'association agréée de surveillance de la qualité de l'air chargée de la mesure des niveaux de pollution en Île-de-France.

Les stations de fond qui ne sont pas directement influencées par des sources de pollution ont été sélectionnées car elles sont représentatives de l'exposition moyenne de la population.

Les PM₁₀ sont mesurées depuis 1995, et en 2000, il y avait 7 stations de fond dans la zone d'étude qui comprend Paris et les trois départements de proche couronne. Les PM_{2,5} sont mesurées depuis 1998, et il n'y avait qu'une seule station de mesure dans la zone d'étude en 2000. Les PM sont mesurées par des capteurs TEOM. A Paris comme partout en France, aucun facteur de correction n'est appliqué à ces mesures lors du contrôle de la qualité de l'air. Cependant, pour les EIS à long terme, et afin d'être homogène avec ce qui a été fait dans les autres villes participant à Apheis, un facteur correctif de 1,37 a été appliqué aux mesures hivernales de PM₁₀.

Concernant les fumées noires, le réseau est très ancien, 10 stations de mesures étaient présentes dans la zone d'étude en 2000.

Pour 2000,

- La moyenne journalière (écart-type) mesurée des **PM₁₀** était de 22µg/m³ (9,3) ;
- Le niveau des PM₁₀ atteint au cours des 18 jours les moins pollués (5^{ième} percentile) était de 12µg/m³ et celui des 18 jours les plus pollués (95^{ième} percentile) de 37µg/m³.

- La moyenne journalière (écart-type) mesurée des **PM_{2,5}** était de 14µg/m³ (6,9) ;
- Le niveau des PM_{2,5} atteint au cours des 18 jours les moins pollués (5^{ième} percentile) était de 7µg/m³ et celui des 18 jours les plus pollués (95^{ième} percentile) de 26µg/m³.

- La moyenne journalière (écart-type) des **fumées noires** était de 16µg/m³ (10,6) ;
- Le niveau des fumées noires atteint au cours des 18 jours les moins pollués (5^{ième} percentile) était de 6µg/m³ et celui des 18 jours les plus pollués (95^{ième} percentile) de 34µg/m³.

Tableau 2. Nombre de jours pour lesquelles les valeurs limites de niveaux de pollution ont été dépassées

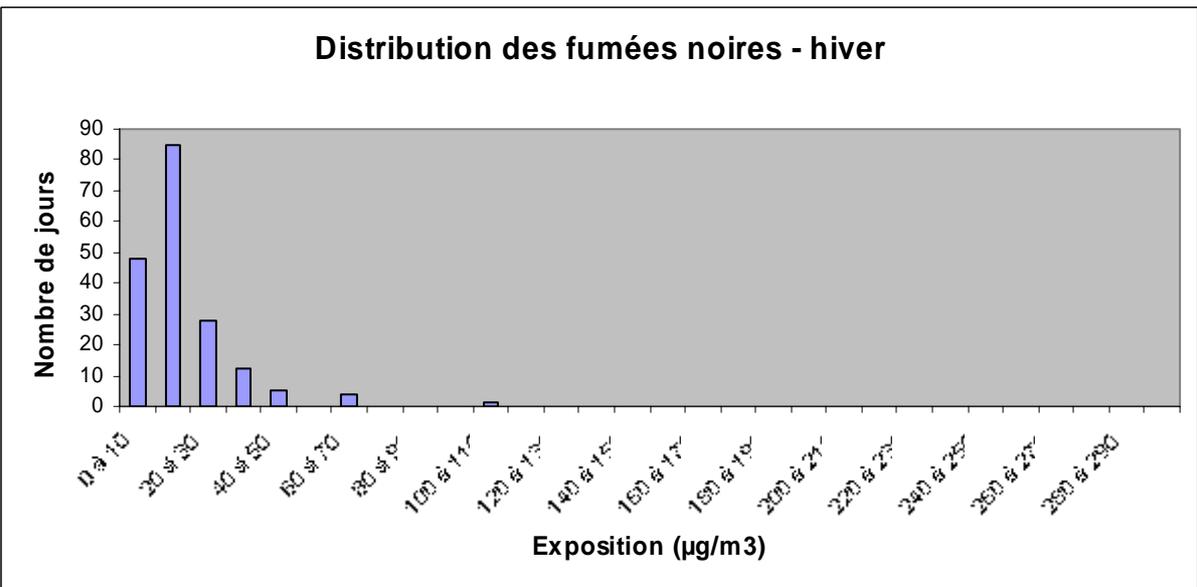
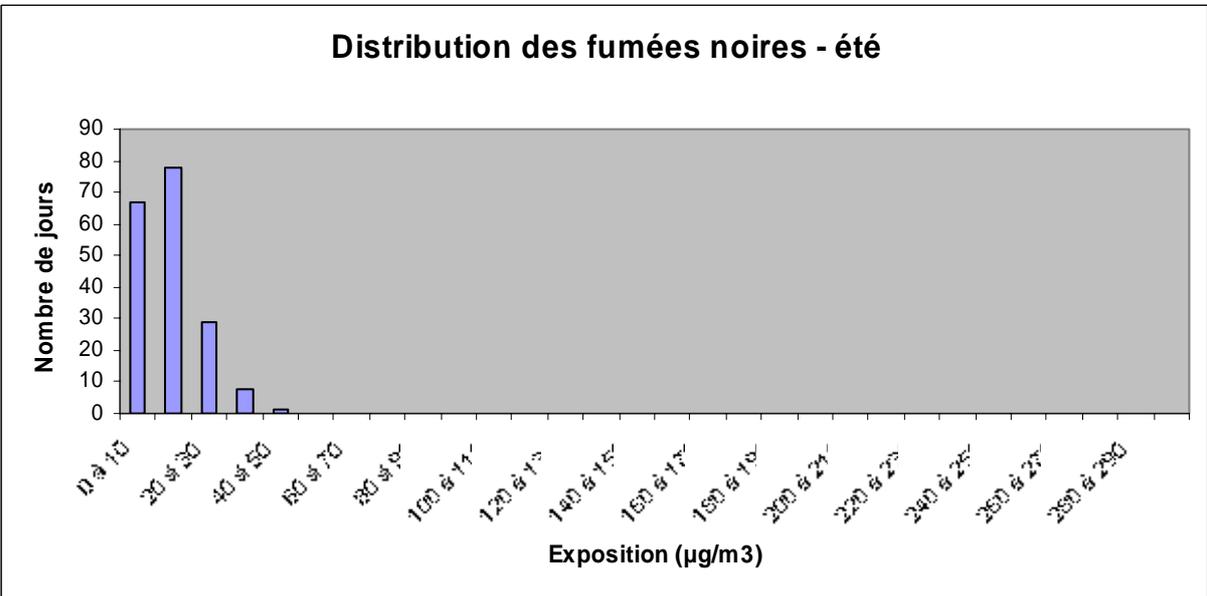
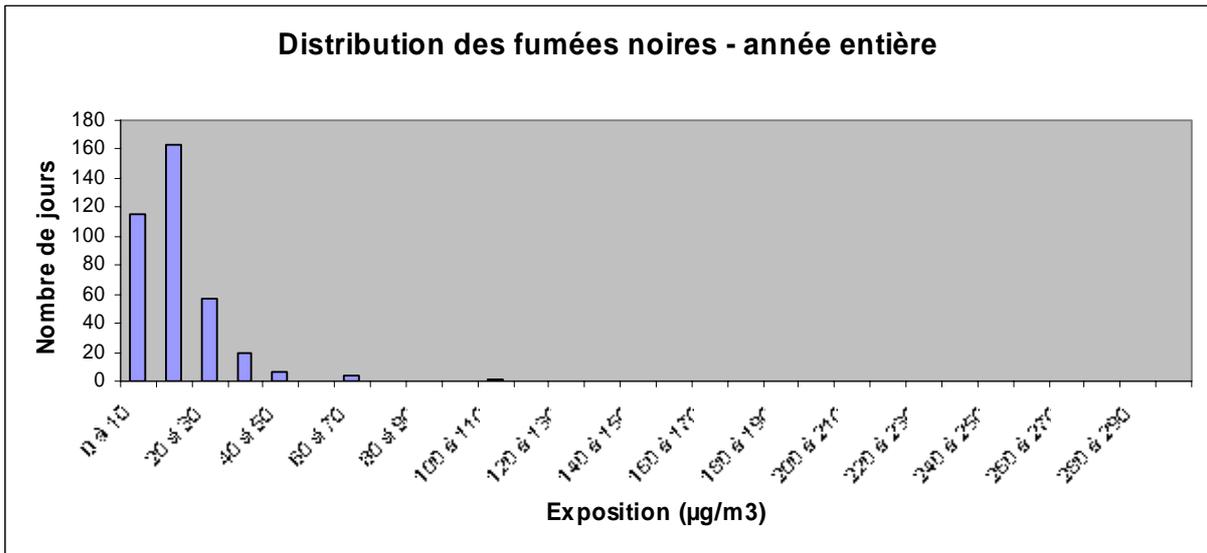
Polluants	Court terme		
	Fumées noires	PM ₁₀	PM _{2,5}
Nombre de jours au-dessus de	20 µg/m ³	20 µg/m ³	14 µg/m ³
	87	196	152
Nombre de jours au-dessus de	50 µg/m ³	50 µg/m ³	35 µg/m ³
	5	5	3

Les 9 graphes suivants présentent les distributions des trois polluants particuliers sur l'année entière, l'été et l'hiver.

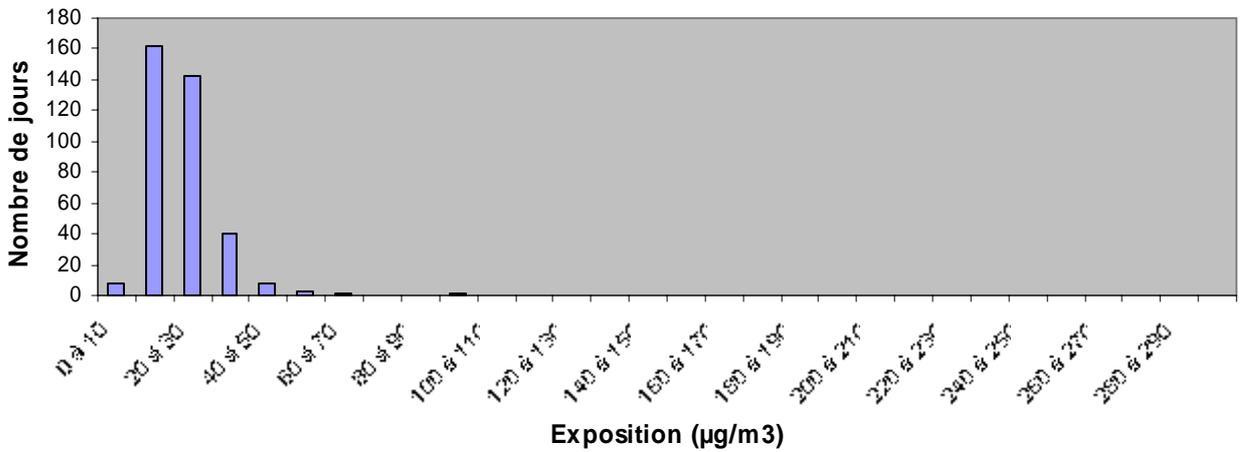
La plupart du temps, les niveaux de fumées noires sont très faibles à Paris. Le niveau journalier n'a été supérieur à 100µg/m³ qu'une seule fois en 2000 (au cours de l'hiver), les 2/3 de l'année les niveaux sont inférieurs à 20µg/m³.

Concernant les PM₁₀, plus de 300 jours sur l'année correspondent à des niveaux compris entre 10 et 30µg/m³. Les concentrations les plus élevées sont observées en hiver (2 jours ont été concernés par des concentrations supérieures à 60µg/m³). L'été, les concentrations observées sont toujours inférieures à 50µg/m³.

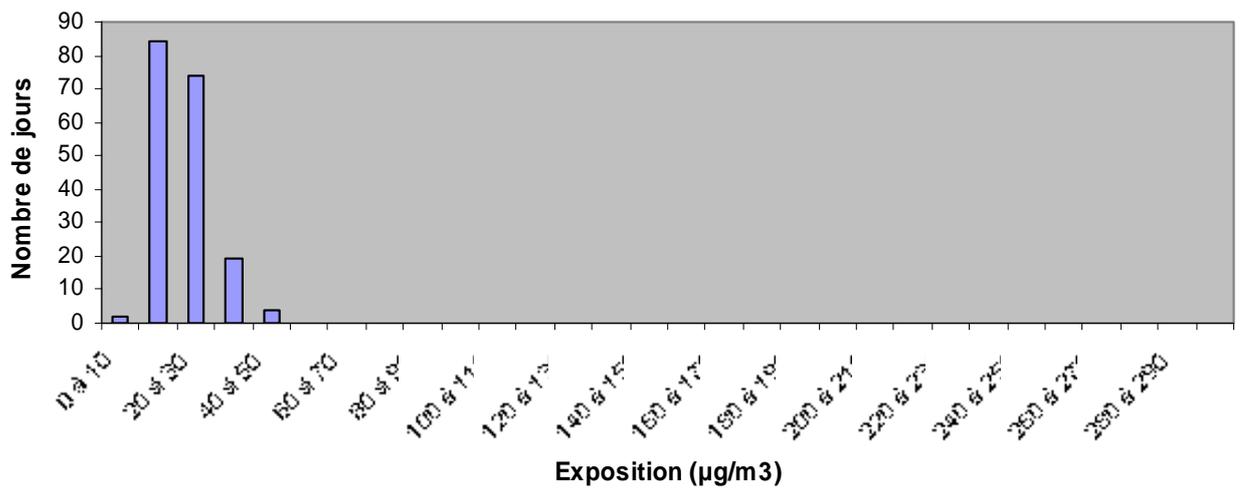
Concernant les PM_{2,5}, plus de 300 jours sur l'année correspondent à des concentrations inférieures à 20µg/m³. Là encore, les niveaux élevés sont observés en hiver (3 jours avec des concentrations supérieures à 40µg/m³), alors que les concentrations ne dépassent pas 40µg/m³ l'été.



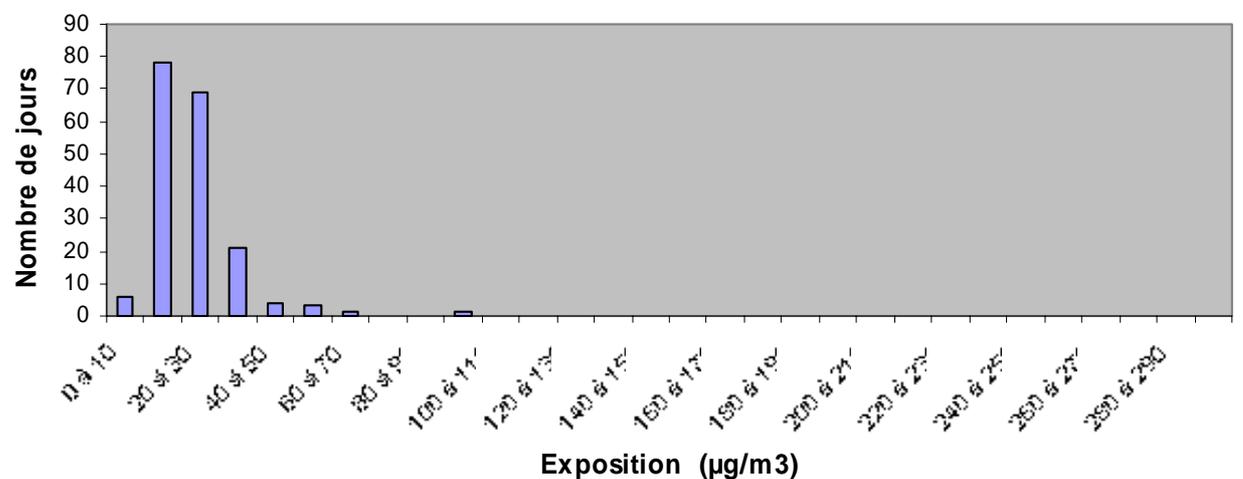
Distribution des PM10 - année entière



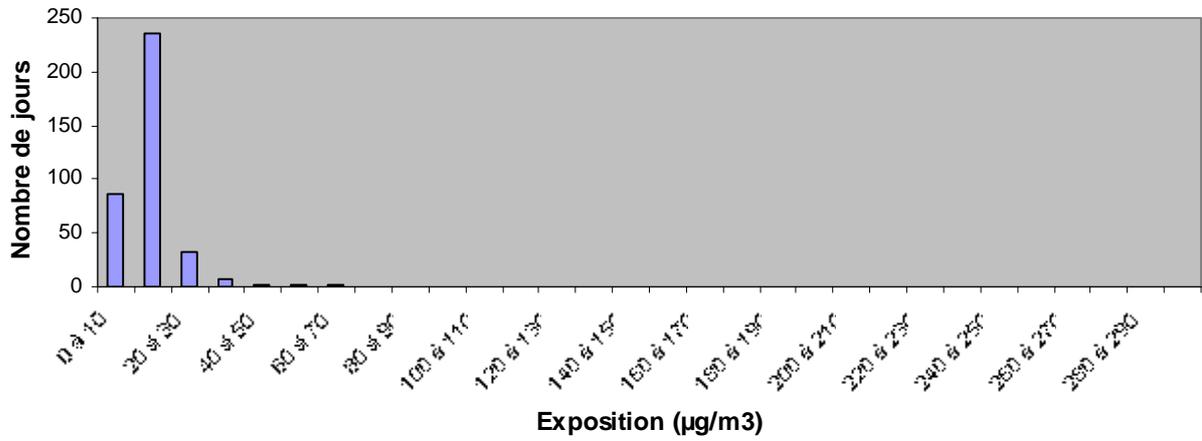
Distribution des PM10 - été



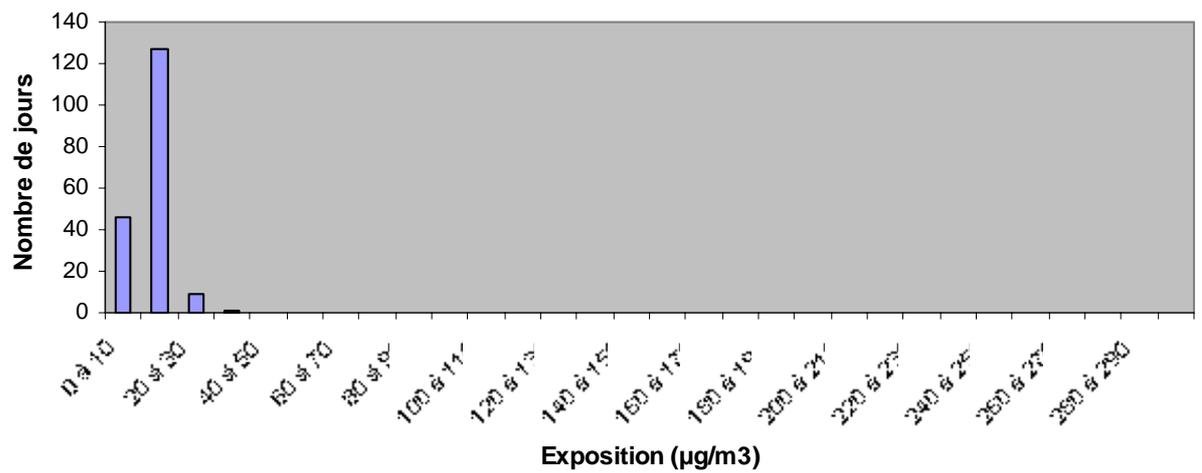
Distribution des PM10 - hiver



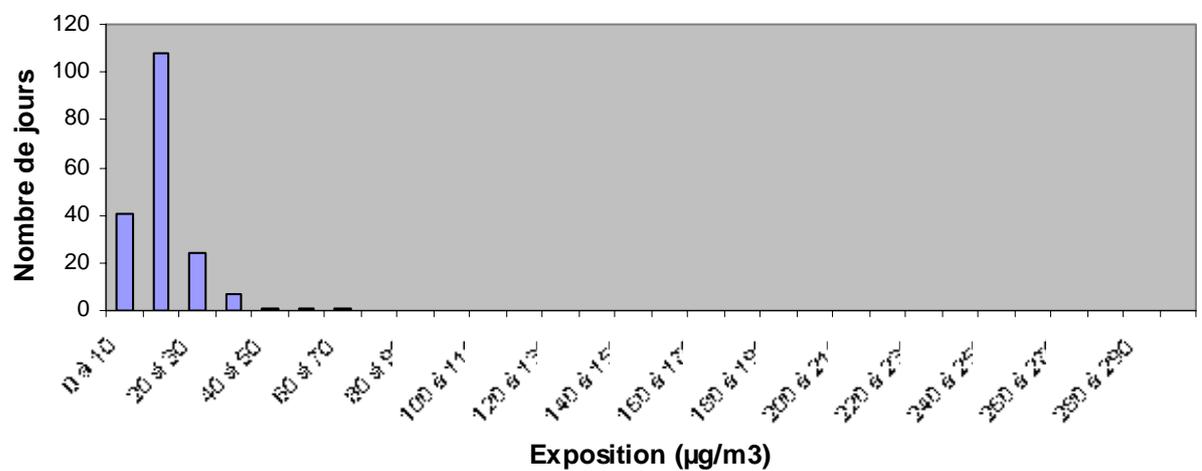
Distribution des PM2,5 - année entière



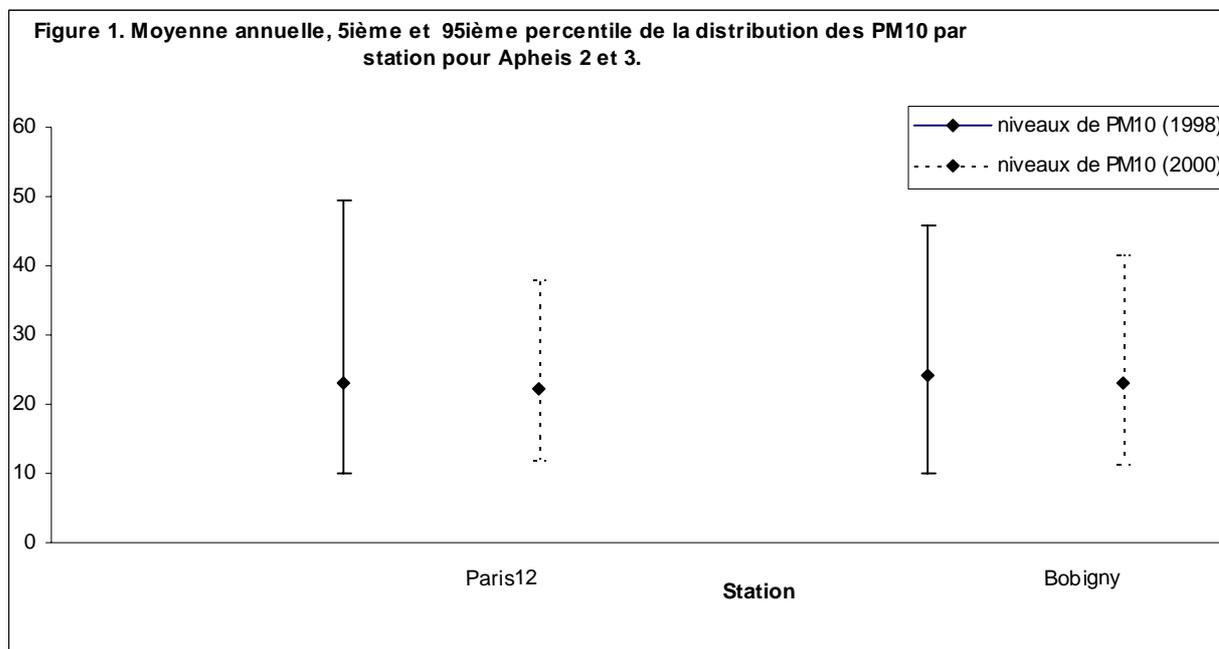
Distribution des PM2,5 - été



Distribution des PM2,5 - hiver



Le graphique suivant représente les moyennes annuelles et les percentiles de la distribution des PM₁₀ pour deux stations de mesures qui étaient utilisées pour la construction de l'indicateur d'exposition à la fois dans Apehis 2 et Apehis 3. Pour Apehis 3, 5 autres stations de mesure ont été utilisées pour la construction de l'indicateur.



Pour ces deux stations, la moyenne annuelle ne diffère pas beaucoup entre 1998 et 2000. La variabilité des niveaux journaliers semble avoir diminué entre 1998 et 2000.

Données sanitaires

Les données de mortalité proviennent du CépiDC de l'Inserm. Les causes de décès ont été codées selon la Classification internationale des maladies (CIM9). Les données disponibles les plus récentes au moment de la réalisation des EIS dataient de 1999.

Le taux de mortalité standardisé pour l'âge était de 702 pour 100 000 habitants (population de référence : population européenne en 2000⁸).

Les données concernant les hospitalisations pour maladies respiratoires et cardiaques sont issues du Programme de médicalisation du système d'information (PMSI). Ces données datent de 2001.

⁸ UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Table 3. Nombre moyen journalier et taux annuel pour 100 000 habitants de décès et d'hospitalisations

Indicateur sanitaire	CIM9	CIM10	Nombre moyen journalier	Nombre de cas pour 100 000
EIS court terme				
Mortalité toutes causes*	< 800	A00-Q99	114	674
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	33	195
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	9	53
Mortalité cardiaque	390-429	I00-I52	23	134
Hospitalisations cardiaque	390-429	I00-I52	153	909
Hospitalisations respiratoire	460-519	J00-J99	180	1070
EIS long terme				
Mortalité totale	0-999	A00-T98	121	718
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440	I10-I70		
	460-519	J00-J99	39	232
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	7	39

* Pour les scénarios court et long terme

Evaluation d'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios ont été utilisés pour évaluer l'impact sanitaire de l'exposition à court terme et à long terme à la pollution particulaire. Pour la zone d'étude de Paris, ces scénarios ont été construits pour trois indicateurs : les fumées noires, les PM₁₀ et les PM_{2,5}. Il est possible que les impacts sanitaires estimés pour chacun de ces 3 indicateurs se recoupent car ces derniers représentent le même type de pollution. Il n'est donc absolument pas pertinent de sommer les résultats obtenus pour chaque indicateur.

Différents outils de calcul et différentes estimations ont été utilisés pour évaluer l'impact sanitaire à court terme et à long terme de la pollution particulaire. (Tableau 4).

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

Polluant	Indicateur sanitaire	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
	460-519						
PM_{2,5}	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		RR convertis à partir des RR PM ₁₀	3 scénarios : Réduction à 35 µ/m ³ Réduction à 14 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99				
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99	Feuille de calcul Psas-9			
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52				
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99				
	460-519						
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
	460-519						
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiaque tous âges	390-429	I00-I52	Feuille de calcul Psas-9	1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

Polluant	Indicateur sanitaire	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m ³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)	Villes concernées
Nombres de cas attribuables							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061)	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
					Trilateral Apehis 2		
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98	Feuille de calcul Psas-9	1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99		1,09 (1,03-1,16)		
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23)		
				Average Pope, 2002			
Années de vie perdues							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98	AirQ	1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99		1,09 (1,03-1,16)		
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23)		
				Average Pope, 2002			

Par ailleurs, les impacts sanitaires ont été présentés de différentes manières :

Pour les fumées noires, les résultats à court terme sont exprimés en nombre de décès attribuables par an.

Pour les PM₁₀, les résultats à court et long terme sont exprimés en terme de nombre de décès attribuables par an.

Pour les PM_{2,5}, les résultats pour le long terme sont présentés de deux manières :

- Nombre de décès attribuables par an ;
- Nombre d'années de vie perdues correspondantes.

Scénarios pour le court terme

Pour estimer l'effet à court terme de l'exposition aux fumées noires/PM₁₀ sur la mortalité et la morbidité hospitalière, les scénarios suivant ont été sélectionnés :

Scénarios de l'EIS à court terme des fumées noires

Trois scénarios ont permis de mesurer l'impact sanitaire des fumées noires sur la mortalité totale (sauf causes accidentelles), et les mortalités pour causes cardiovasculaires et respiratoires :

- tous les niveaux journaliers supérieurs à 50 µg/m³ sont ramenés à 50 µg/m³ ;
- tous les niveaux journaliers supérieurs à 20 µg/m³ sont ramenés à 20 µg/m³ ;
- le niveau journalier est chaque jour inférieur de 5 µg/m³ à ce qu'il était.

Scénarios de l'EIS à court terme des PM₁₀

EIS à très court terme (0-1 jour) des PM₁₀ et EIS cumulée sur 40 jours des PM₁₀

Trois scénarios ont été utilisés pour estimer l'effet sanitaire des PM₁₀ à 0-1 jour et cumulé sur 40 jours. Ces scénarios concernent la mortalité totale (sauf causes accidentelles) et les mortalités pour causes respiratoires et cardiovasculaires :

- tous les niveaux journaliers supérieurs à 50 µg/m³ sont ramenés à 50 µg/m³ (valeur limite des PM₁₀ fixée pour 2005 et 2010) ;
- tous les niveaux journaliers supérieurs à 20 µg/m³ sont ramenés à 20 µg/m³ (pour les villes dont les niveaux en PM₁₀ sont faibles) ;
- le niveau journalier est chaque jour inférieur de 5 µg/m³ à ce qu'il était.

Combinaison du risque local et du meta-risque pour l'EIS à court terme des PM10

Les mêmes scénarios que précédemment ont été utilisés. Le risque local a été combiné au méta-risque pour calculer l'effet des niveaux de PM₁₀ sur la mortalité totale (sauf causes accidentelles) sur un an. Cette analyse de sensibilité a été réalisée dans le but d'étudier l'intérêt d'inclure le poids de l'estimation locale dans l'estimation combinée.

Scénarios pour le long terme

Scénarios de l'EIS à long terme des PM₁₀

Trois scénarios ont été utilisés pour mesurer les effets chroniques de l'exposition à long terme aux PM₁₀ sur la mortalité totale (sauf causes accidentelles) :

- réduction de la moyenne annuelle à 40 µg/m³ (valeur limite des PM₁₀ pour 2005) ;
- réduction de la moyenne annuelle à 20 µg/m³ (valeur limite des PM₁₀ pour 2010) ;
- réduction de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle.

Scénarios de l'EIS à long terme des PM_{2,5}

Les effets chroniques des PM_{2,5} ont été estimés sur les mortalités pour causes cardio-pulmonaires, respiratoires et toutes causes chez les plus de 30 ans.

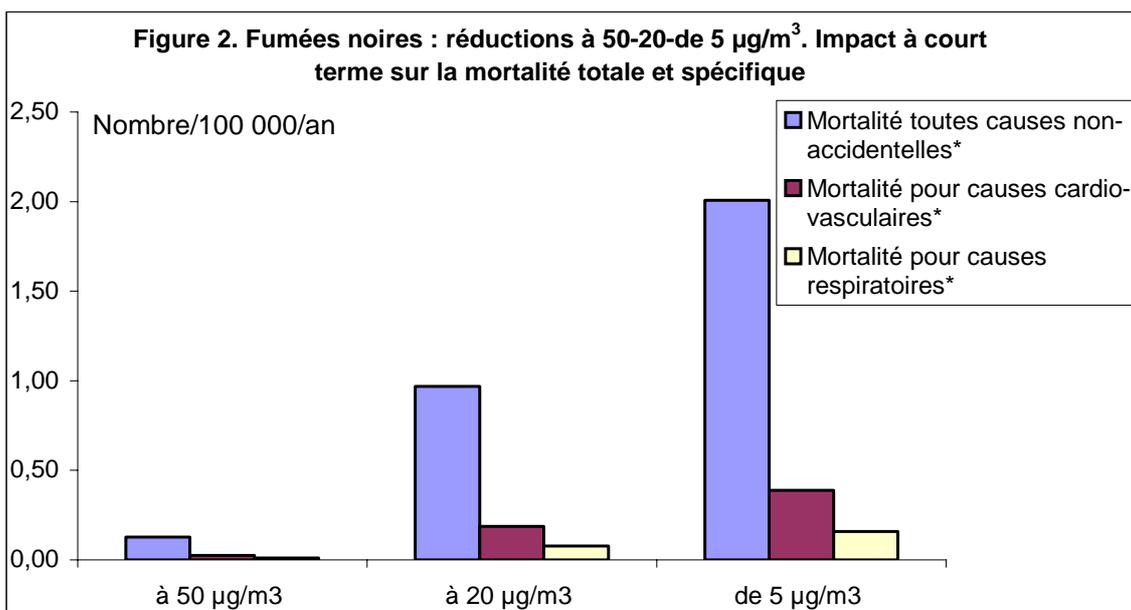
Trois scénarios ont été considérés :

- réduction de la moyenne annuelle à 20 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle à 15 µg/m³ ;
- réduction de 3,5 µg/m³ de la moyenne annuelle.

Évaluation de l'impact sur la santé : résultats

Résultats pour les fumées noires

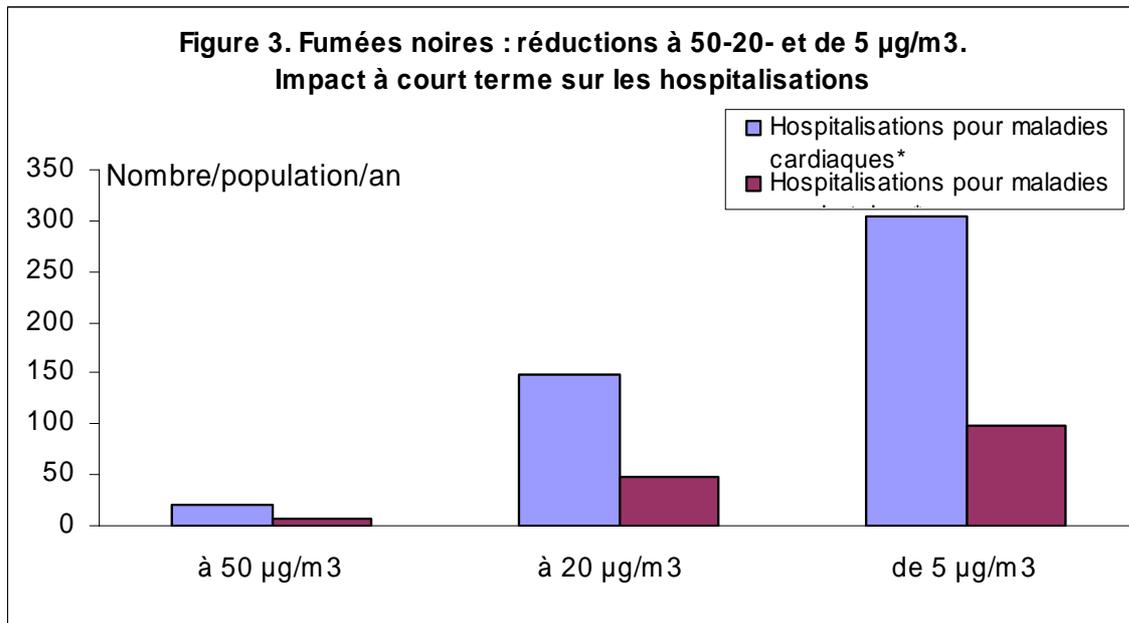
Le graphique ci-dessous montre l'impact sanitaire des fumées noires sur la mortalité toutes causes (sauf causes accidentelles) ainsi que sur la mortalité pour causes cardiovasculaires et respiratoires. Les données de fumées noires étaient de 2000, celles de mortalité étaient de 1999.



* Mortalité toutes causes sauf accidentelles (CIM9 < 800), mortalité cardiovasculaire (CIM9 390-459), mortalité respiratoire (CIM9 460-519)

Les fumées noires ont un impact sanitaire plus important sur la mortalité pour causes cardiovasculaires que sur la mortalité pour causes respiratoires. Or, le risque relatif associé à la mortalité pour causes cardiovasculaires est inférieur à celui associé à la mortalité pour causes respiratoires. Il semble donc que le nombre de cas attribuables estimé pour la mortalité cardiovasculaire soit dû avant tout au nombre important de décès observé pour cette même cause à Paris (195 / 100 000 habitants en 1999 contre 53 / 100 000 habitants pour la mortalité pour causes respiratoires).

Le graphique ci-dessous montre l'impact des fumées noires sur les hospitalisations pour causes cardiaques et respiratoires. Les données de fumées noires sont de 2000, celles des hospitalisations sont de 2001.



* Hospitalisations cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

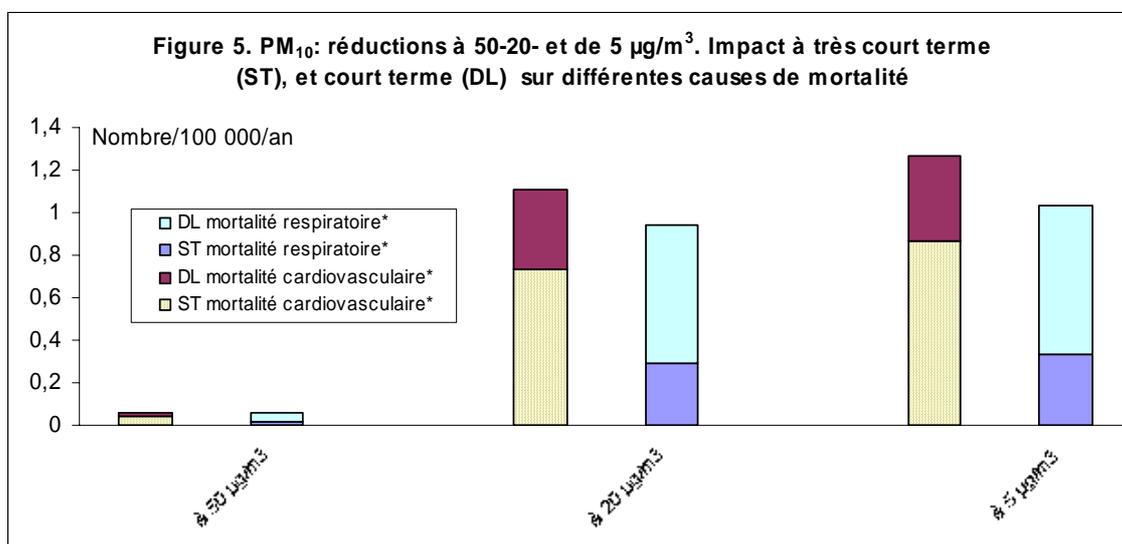
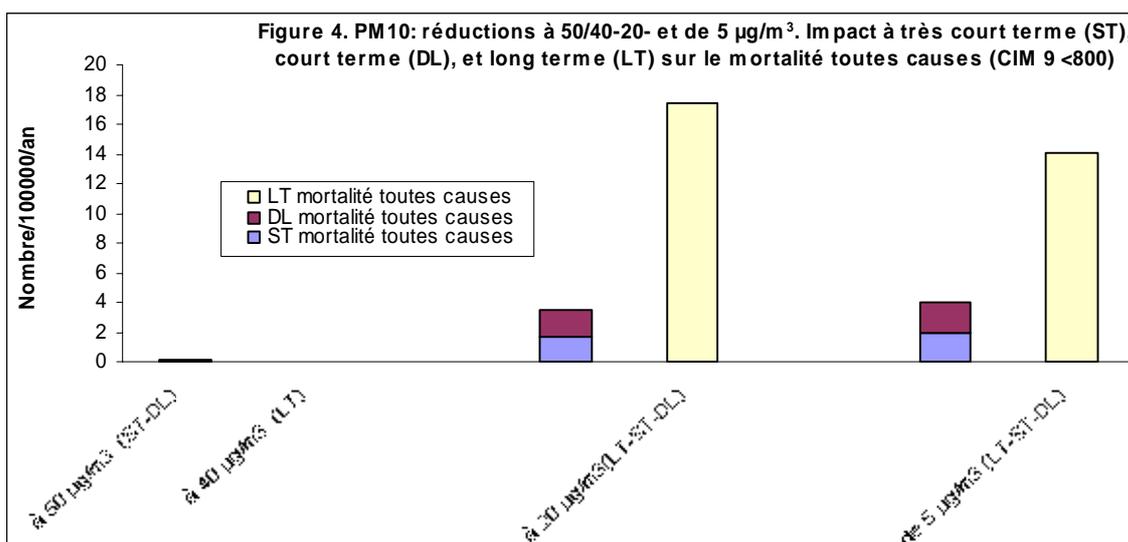
De façon similaire aux résultats obtenus pour la mortalité, le nombre de cas attribuable est plus important pour les hospitalisations cardiaques.

Résultats pour les PM₁₀

EIS à très court terme (0-1 jour), cumulée sur 40 jours et à long terme des PM₁₀

Résultats pour la mortalité

Les graphiques ci-après montrent l'impact des PM₁₀ sur la mortalité pour différents retards : très court terme-ST (0-1 jour), court terme-DL (sur 40 jours) et long terme-LT (sur plusieurs années). Les données de PM₁₀ sont de 2000, les données de mortalité sont de 1999.



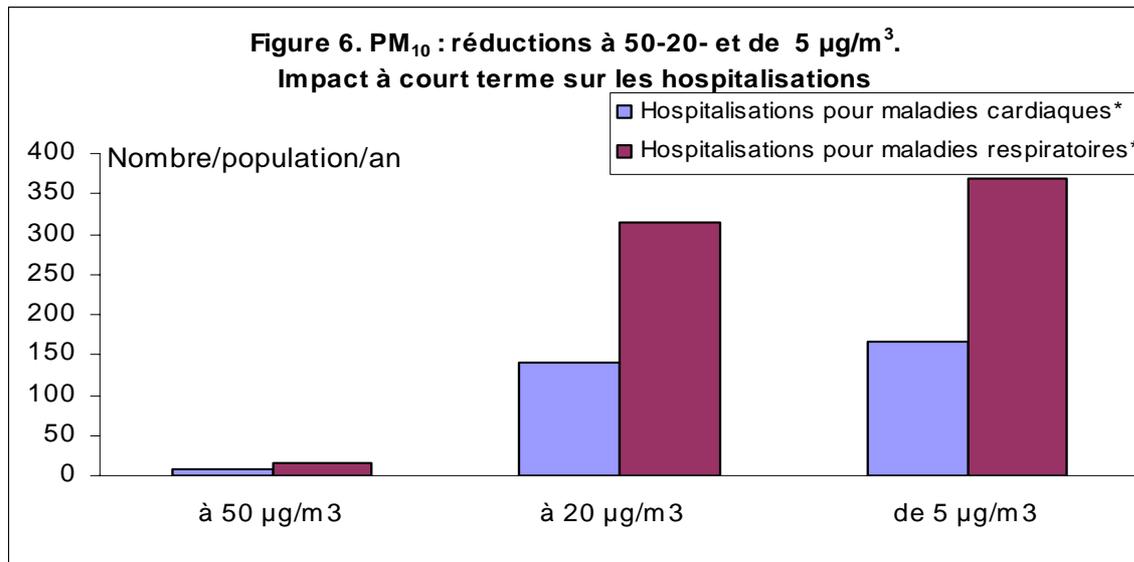
* Mortalité cardiaque (CIM9 390-429) et respiratoire (CIM9 460-519)

L'impact des PM₁₀ sur la mortalité à court terme et à long terme est plus important que celui estimé à très court terme. L'impact à très court terme prend en compte uniquement les niveaux de pollution du jour et de la veille alors que l'impact à court terme ou à long terme prend en compte les effets de la pollution pour une durée d'exposition supérieure à deux jours. La différence d'impact sanitaire entre l'exposition à très court terme et l'exposition à court terme est plus importante pour la mortalité respiratoire que pour la mortalité cardiovasculaire. Il semble donc que les décès pour causes cardiovasculaires attribuables à la pollution atmosphérique soient principalement observés dans les deux jours suivant

l'exposition alors que les effets sur la mortalité pour causes respiratoires apparaissent après un délai plus long.

Résultats concernant les hospitalisations

Les effets à très court terme de l'exposition aux PM₁₀ ont été estimés sur les hospitalisations cardiaques et respiratoires. Ces effets sont représentés sur le graphique ci-dessous pour les différents scénarios. Les données de PM₁₀ sont de 2000, les données d'hospitalisations sont de 2001.



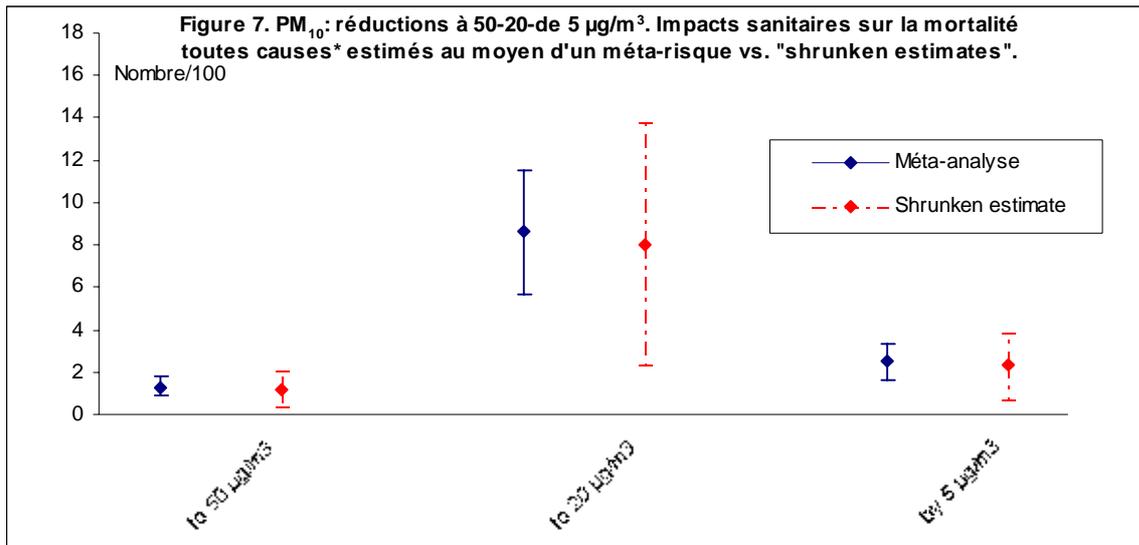
* Hospitalisations cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

Le nombre de cas attribuables à l'exposition aux PM₁₀ est plus important pour les hospitalisations pour causes respiratoires.

Prise en compte du risque local et du méta-risque pour estimer les effets sur la santé des PM₁₀

La combinaison du risque local et du méta-risque (shrunken estimates-SE) a été utilisée pour estimer les effets des PM₁₀ sur la mortalité toutes causes (sauf causes accidentelles) sur un an.

La figure ci-dessous compare les EIS des PM₁₀ à très court terme (0-1 jours) obtenues à partir du méta-risque et du risque combiné (SE). Les données de PM₁₀ sont de 2000, les données de mortalité sont de 1999.



* Mortalité toutes causes sauf accidentelles (CIM9 < 800)

Le nombre de cas attribuables à l'exposition aux PM₁₀ obtenu avec le méta-risque est légèrement plus élevé que celui obtenu avec la combinaison du méta-risque et du risque local (SE).

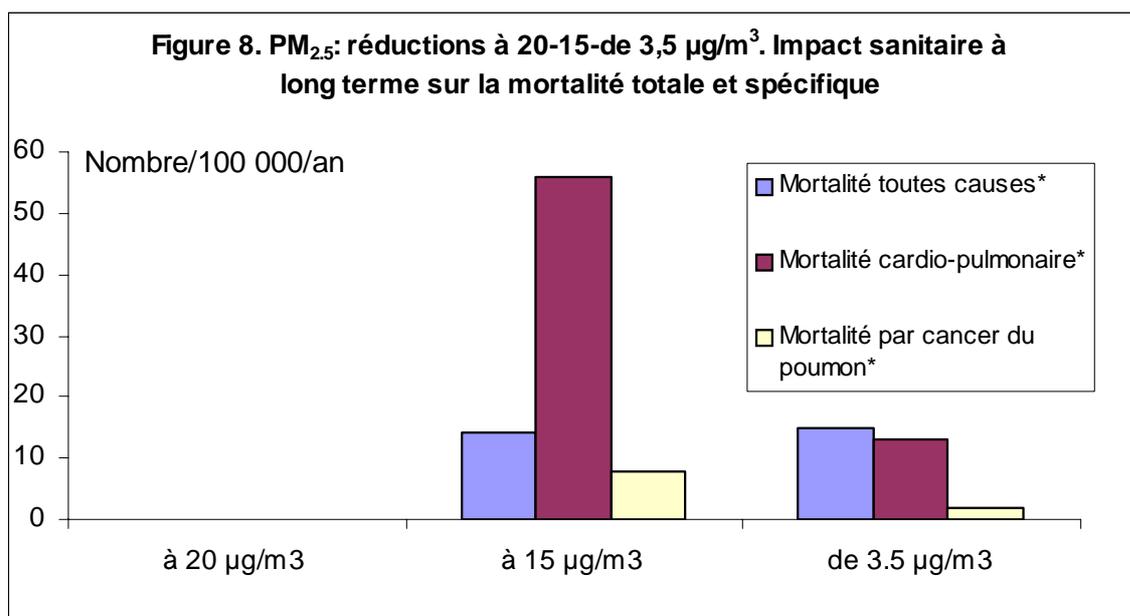
Résultats pour les PM_{2,5}

La moyenne annuelle des niveaux de PM_{2,5} mesurés par méthode TEOM était de 14µg/m³ en 2000 à Paris. Cependant pour une question d'homogénéité avec les autres villes participant à Apehis, la moyenne annuelle utilisée pour le calcul d'impact sanitaire a été obtenue par application d'un facteur de conversion aux niveaux de PM₁₀. Ces derniers ont eux même été obtenus après l'application d'un facteur de correction permettant de prendre en compte l'éventuelle sous-estimation dûe à l'utilisation de la méthode TEOM par rapport à la méthode gravimétrique. La moyenne annuelle de PM_{2,5} ainsi obtenue après correction et conversion était de 18µg/m³.

Nombre de cas attribuables

Trois scénarios ont été utilisés pour estimer l'effet à long terme de l'exposition chronique aux PM_{2,5} sur la mortalité.

Le graphique ci-dessous présente le nombre de décès pour 100 000 habitants attribuables à l'exposition à long terme aux PM_{2,5}. Les données de PM_{2,5} sont de 2000, les données de mortalité sont de 1999.



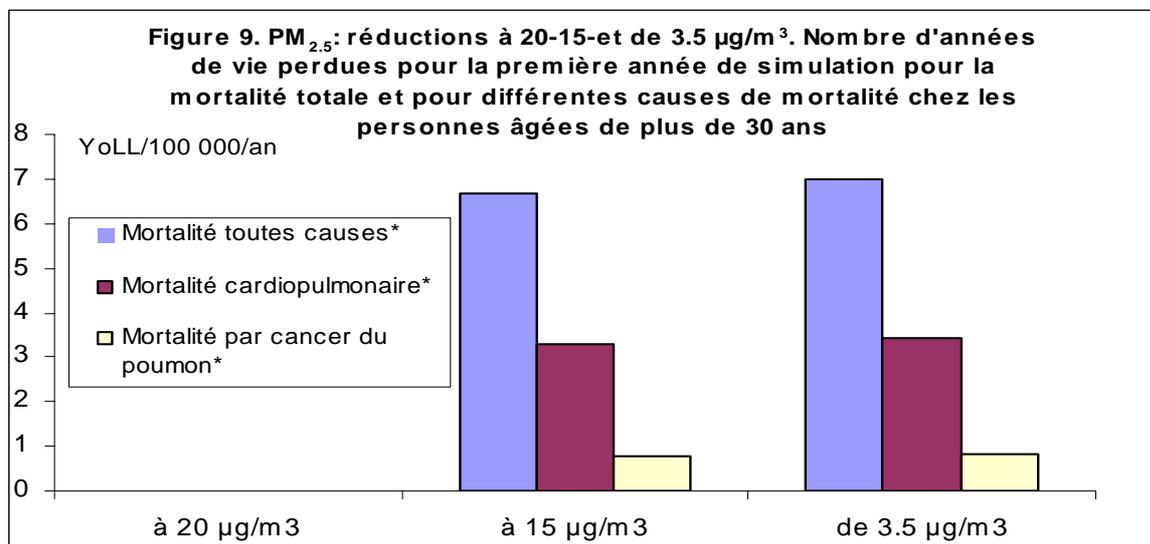
* Mortalité toutes causes (CIM9 0-999), mortalité cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), mortalité par cancer du poumon (CIM9 162)

A Paris, la moyenne annuelle des niveaux de PM_{2,5} étant inférieure à 20µg/m³, il n'y a pas de décès attribuables pour le premier scénario. Par ailleurs, réduire la moyenne annuelle à 15µg/m³ ou la réduire de 3,5µg/m³ correspond approximativement au même scénario à Paris puisque la moyenne annuelle est de 18µg/m³. Les résultats en terme d'impact sanitaire pour ces deux scénarios sont donc très proches : environ 15 décès évitables pour 100 000 habitants pour la mortalité toutes causes, 7 pour la mortalité cardiovasculaire et 2 pour le cancer du poumon.

Années de vies perdues

Le nombre d'années de vie perdues attribuable à l'exposition chronique aux PM_{2,5} a pu être estimé.

La figure 9 présente les résultats obtenus pour les décès toutes causes, les décès pour causes cardiovasculaires et les décès pour cancer du poumon chez les personnes âgées de 30 ans et plus à Paris. Les données de PM_{2,5} sont de 2000, les données de mortalité sont de 1999.



* Mortalité toutes causes (CIM9 0-999), mortalité cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), mortalité par cancer du poumon (CIM9 162)

Pour les décès toutes causes, toutes choses étant égales par ailleurs, une réduction de 3,5 µg/m³ des niveaux de PM_{2,5} en 2000 aurait entraîné un gain de 7 années de vies pour 100 000 habitants chez les 30 ans ou plus. Pour la mortalité cardiovasculaire, ce nombre serait d'environ de 3 et pour le cancer de poumon d'environ 1.

Le tableau 5 présente les résultats en terme de gain en espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et gain potentiel après réduction des niveaux de pollution à 15 µg/m³ à Paris

Age	Espérance de vie	Gain potentiel en espérance de vie		
		Estimation centrale	Borne inférieure	Borne supérieure
A la naissance	79,9	0,20	0,05	0,36
30 ans	50,9	0,21	0,06	0,36
65 ans	19,9	0,15	0,04	0,26

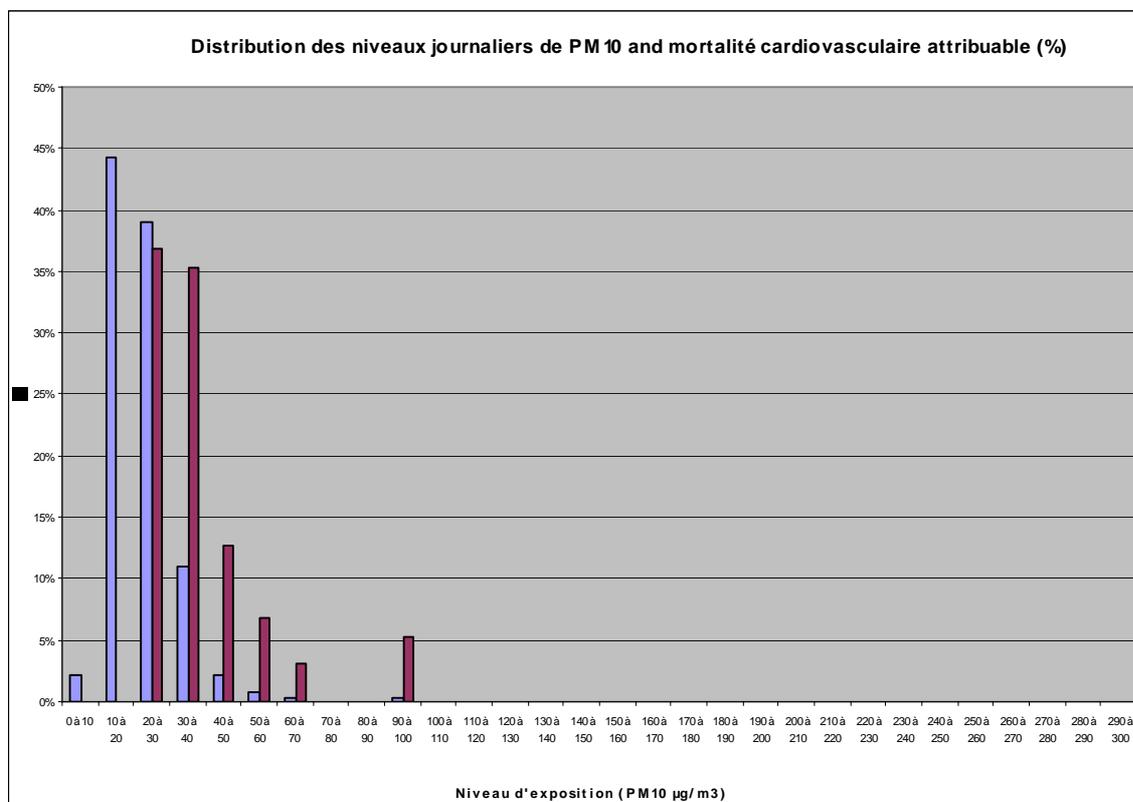
En terme d'espérance de vie, toutes choses étant égales par ailleurs, si la moyenne annuelle de PM_{2,5} était ramenée à 15 µg/m³, l'espérance de vie d'une personne âgée de 30 ans (50,9 ans) serait augmentée de 0,2 années.

Interprétation des résultats

A Paris, les mesures des niveaux de particules en suspension (PM₁₀ et PM_{2,5}) sont réalisées par TEOM. Dans le but d'être homogène avec les autres villes participant au programme Apehis, un facteur de correction a été appliqué aux mesures de PM₁₀ pour les évaluations d'impact sanitaire à long terme. Ce facteur diffère selon la saison. Néanmoins, l'utilisation de ce facteur ajoute une incertitude sur l'évaluation de l'exposition à long terme aux PM₁₀ et aux PM_{2,5} (dont les niveaux sont eux même obtenus par conversion des PM₁₀) et donc sur les résultats de l'EIS.

En ce qui concerne les données sanitaires, la principale incertitude qui leur est liée est due au résidu que l'ensemble des admissions ont été prises en compte pour les analyses, et non uniquement les admissions en urgence, le PMSI ne permettant pas de les différencier. Ainsi, des admissions programmées, qui ne sont pas liées à l'exposition à la pollution atmosphérique, ont pu être prises en compte, entraînant sans doute une surestimation de l'impact sanitaire sur les hospitalisations. Par contre, les admissions hospitalières dans certains établissements privés n'ont pas pu être prises en compte, sous-estimant dans ce cas l'impact de la pollution de l'air.

A Paris, comme le montre le graphique qui suit, le plus grand nombre de cas attribuables (plus de 70%) correspond aux jours pour lesquels la concentration en polluant ne dépasse pas 40µg/m³ (la valeur limite européenne pour 2005). Cependant, un seul jour à forte pollution particulaire représente plus de 5% du nombre total de décès pour causes cardiovasculaires attribuables aux particules en suspension.



Ces résultats concernant l'exposition à court terme montrent que ce sont les niveaux de pollution rencontrés quotidiennement qui sont responsables de la majeure partie des effets sanitaires. Ces résultats sont similaires quel que soit l'indicateur sanitaire (mortalité/morbidité

cardiovasculaire ou respiratoire) et l'indicateur d'exposition considérés (fumées noires ou $PM_{2,5}$).

Commentaires

L'ensemble des EIS réalisées montre qu'un nombre non négligeable de décès (environ 900 attribuables à l'exposition à long terme) et d'hospitalisations (environ 300 pour causes respiratoires) pourraient être évités à Paris si les valeurs limites européennes fixées pour 2010 ($20\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10}) étaient respectées. Ramener à $50\mu\text{g}/\text{m}^3$ tous les niveaux journaliers de PM_{10} supérieurs à cette valeur aurait un impact sanitaire bien moindre : 5 décès évitables à court terme, 11 pour les effets cumulés sur 40 jours.

Même si des incertitudes existent autour de ces nombres, ces derniers indiquent :

- qu'il existe des effets sanitaires de la pollution aux niveaux rencontrés actuellement sur Paris ;
- que la réduction de ces niveaux de pollution pourrait entraîner des bénéfices sanitaires.

La pollution est un problème qui concerne Paris depuis longtemps. Un réseau de mesure est en place depuis les années 60, d'abord géré par le Laboratoire central de la Préfecture de Police et du Laboratoire d'hygiène de la Ville de Paris. Grâce à la création de l'association Airparif en 1979, ce réseau a été étendu à l'ensemble de la région. Depuis les années 90, la pollution atmosphérique est devenue un enjeu politique, avec notamment un fort engagement du Conseil Régional, renforcé par la nouvelle loi de décentralisation.

Le Préfet et le Président du Conseil Régional ont montré un réel intérêt pour les effets de la pollution sur la santé et ont permis la mise en place du programme Erpurs en 1990. Ce programme a fait suite à l'épisode important de pollution de 1989 à Paris au cours duquel le manque de connaissance scientifique sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique dans la région parisienne a été souligné.

Depuis, l'intérêt pour les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique s'est maintenu. Lors de la mise en place du PRQA, un groupe « air et santé » a été constitué. Depuis, la participation de l'ORS à différents groupes de travail (PPA, charte de l'environnement, communication post-PRQA) a été requise afin d'apporter aux participants des informations sur les effets sanitaires de la pollution atmosphérique.

De manière plus générale, les résultats des EIS devraient permettre à la population de prendre conscience des dangers de la pollution et de la nécessité d'améliorer la qualité de l'air dans l'agglomération parisienne. En effet, aujourd'hui, la principale source de pollution atmosphérique à Paris est le trafic. La réduction des émissions liées au trafic nécessite une modification des comportements. C'est pourquoi il est important d'informer la population des effets sanitaires de la pollution.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Rouen

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Myriam Blanchard

Juillet 2004

Résumé des principaux résultats

Les deux principales sources de pollution atmosphérique dans l'agglomération de Rouen sont l'industrie et le transport. Les moyennes journalières et annuelles de PM_{10} sont en dessous des valeurs limites européennes prévues pour 2005 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne devant pas être dépassé plus de 35 jours par an) et légèrement au dessus de celles prévues pour 2010 ($50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ ne devant pas être dépassé plus de 7 jours par an et $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ en la moyenne annuelle).

Les analyses ont permis d'estimer que 37 décès par an étaient potentiellement évitables dans la zone d'étude de Rouen pour une réduction à long terme de la pollution en particules fines $PM_{2,5}$ à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Cette estimation peut se traduire par un gain potentiel de 20 années d'espérance de vie réparties sur l'ensemble de la population en 2001.

Concernant les impacts à court terme, si les moyennes journalières de PM_{10} restaient inférieures à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$, 8 décès et 32 hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires aurait pu être évitées en 2001.

Contexte

L'agglomération de Rouen est située à 120 km au nord-ouest de Paris et couvre une superficie de 320 km². La zone d'étude comprend 38 communes, soit approximativement 435 000 habitants dont 15% âgés de 65 ans et plus (Recensement Insee 1999). Rouen est situé dans un bassin entouré de collines et falaises, ce qui, associé à des vents faibles et à des phénomènes d'inversions thermiques, limite la dispersion des polluants atmosphériques. Les vents de sud-ouest sont dominants et poussent la pollution industrielle vers le centre ville. Les brouillards matinaux sont relativement fréquents. Les températures moyennes annuelles minimales et maximales sont respectivement de 6,2°C et 14,4°C.

Il existe deux plans de gestion de la qualité de l'air de l'agglomération de Rouen mis en place dans le cadre de la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (Laure) : le Plan régional de la qualité de l'air dont la première version a été approuvée en décembre 2001 et le Plan de protection de l'atmosphère (PPA) qui est en court de rédaction. Le PPA a pour but la mise en place des mesures nécessaires pour le respect des valeurs réglementaires européennes en matière de concentrations atmosphériques des polluants tels que SO₂, NO₂, PM_{2,5}, O₃.

Résumé des données et des résultats de la seconde année d'Apheis

Pour Apheis 2, seules les fumées noires étaient mesurées en 1998 et leur concentration moyenne journalière était de 9,8 µg/m³. L'évaluation de l'impact sanitaire n'avait été réalisée que pour les effets à court terme en terme de mortalité et d'hospitalisations pour pathologies respiratoires. Aucun résultat n'était disponible pour les admissions pour pathologies cardiaques.

Les principaux résultats sont présentés dans le tableau suivant :

Gain potentiel pour une réduction des concentrations en fumées noires	Nombre de cas attribuable par an	Taux pour 100 000 habitants
mortalité		
réduction des concentrations > à 50 à 50 µg/m ³	1,4 (0,7-1,9)	0,3 (0,2-0,4)
réduction des concentrations > à 20 à 20 µg/m ³	5,1 (2,5-6,8)	1,2 (0,6-1,6)
réduction de 5 µg/m ³	10,5 (6,1-14,8)	2,4 (1,4-3,4)
hospitalisation pour causes respiratoires		
réduction des concentrations > à 50 à 50 µg/m ³	0,1 (0,0-0,8)	
réduction des concentrations > à 20 à 20 µg/m ³	0,3 (0,0-2,9)	

Les objectifs d'Apheis 3

Les objectifs d'Apheis 3 complètent ceux du programme Psas-9 (Programme de surveillance Air & Santé sur 9 villes françaises) et d'Apheis 2 en ce qui concerne les impacts sanitaires de la pollution par les particules. Outre l'impact à court terme des fumées noires sur la mortalité et sur les admissions hospitalières qui sera de nouveau estimé, Apheis 3 permettra d'évaluer l'impact à court et long terme de l'exposition à de nouveaux indicateurs de pollution particulaire qui sont les PM₁₀ et les PM_{2,5}. Enfin, l'impact à long terme sera aussi estimé à travers le calcul des années de vie perdues.

Sources d'émission

Les principales sources de pollution atmosphérique ont été décrites dans le précédent rapport d'Apheis (www.apheis.org). Le tableau suivant reprend leurs parts relatives.

Tableau 1. Principales sources d'émission

Source	Transport (%)	Combustion (%)	Industrie (%)
SO ₂	3,3%	3,2%	93,5%
NO _x	45,5%	7,2%	46,5%
COVNM	31,8%	13%	53,8%

La part de l'agglomération de Rouen dans les émissions régionales est estimée à 16 % pour le dioxyde de soufre (SO₂) et 11 % pour le dioxyde d'azote (NO₂). 93 % des émissions de SO₂ sont liées à l'industrie. Le transport et l'industrie sont les principaux responsables des émissions de NO_x (CITEPA 1994).

Données d'exposition

L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air sur l'agglomération de Rouen, Air-Normand, a fourni les données de pollution de l'air. L'agglomération est équipée de 14 stations fixes dont 4 urbaines. Pour les PM_{2,5} les 2 stations de mesure ont été mises en place courant 2001, et en Avril 2000 pour les PM₁₀. Les sites de mesure de fumées noires ont été modifiés depuis l'étude Apheis 2.

Les concentrations en fumées noires sont mesurées par réflectométrie. Les PM₁₀ et les PM_{2,5} sont mesurées par la méthode TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance).

Les indicateurs de pollution ont été construits en calculant la moyenne des concentrations journalières mesurées par les stations sélectionnées. Cette sélection s'appuie sur les critères suivants : une bonne corrélation des mesures entre les stations (corrélation $\geq 0,70$) et des

concentrations moyennes relativement proches. Pour les fumées noires, 3 stations urbaines ont été sélectionnées. Pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$, 2 stations ont été retenues.

Pour les calculs d'impact sanitaire à long terme des PM_{10} et des $PM_{2,5}$, des facteurs de correction ont été appliqués aux mesures afin d'être en cohérence, avec les recommandations européennes d'une part (méthode de mesure gravimétrique pour référence) et avec les méthodes de mesures rapportées dans la littérature pour ce type d'étude épidémiologique d'autre part (méthode gravimétrique également).

Ainsi, après consultation des professionnels de l'Ecole des Mines de Douai (laboratoire de référence), un facteur de correction, différent selon la saison, a été appliqué aux mesures de PM_{10} réalisé par le TEOM. Pour Rouen, ces facteurs étaient les suivants :

- En hiver (niveaux de particules élevés) : 1,22
- En été (niveaux de particules modérés) : 1

L'estimation de ces facteurs était basée sur des campagnes locales de mesures comparatives entre la méthode gravimétrique et la méthode du TEOM.

Certaines villes participant à Aphis ne disposent pas de mesures directes de $PM_{2,5}$ et doivent estimer les niveaux de ce polluant par conversion des niveaux de PM_{10} . Aussi, dans un souci de cohérence des méthodes au sein du programme, les niveaux de $PM_{2,5}$ utilisés à Rouen pour l'EIS ont également été obtenus en appliquant un facteur de conversion aux niveaux de PM_{10} précédemment corrigés : ce facteur, fixé au niveau européen, est de 0,7.

Les données d'exposition avaient les caractéristiques suivantes :

- o Les mesures utilisées étaient celles de l'année : 2001 pour les fumées noires et les PM_{10} ;
2002 pour les $PM_{2,5}$ mesurées.
- o Les concentrations moyennes journalières (écart-type) étaient de :
 - 21 (9) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} ;
 - 8 (7) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les fumées noires ;
 - 15 (8) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ $PM_{2,5}$ (mesures directes).

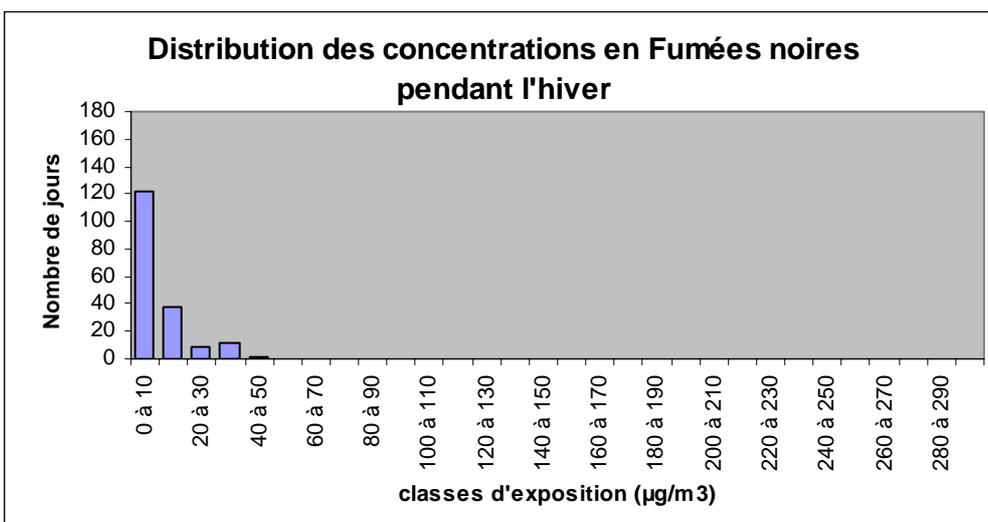
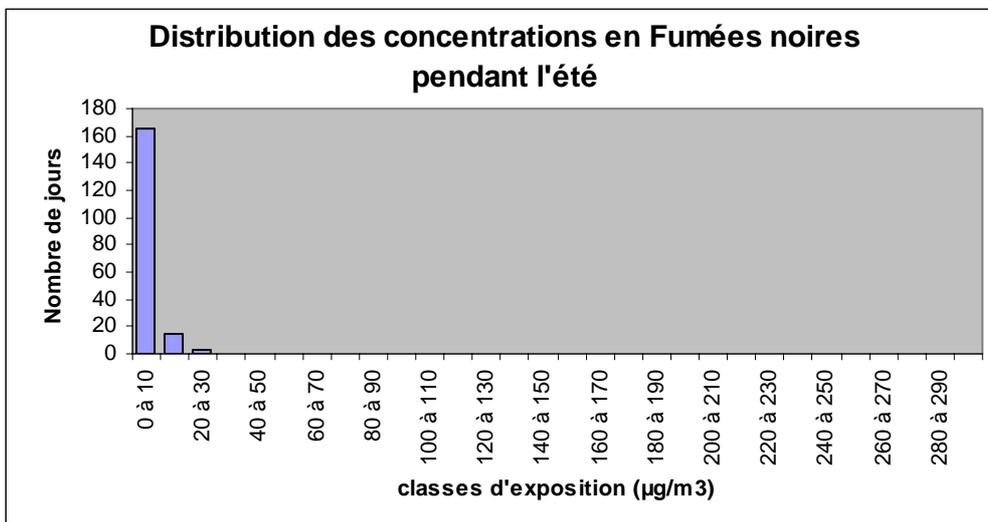
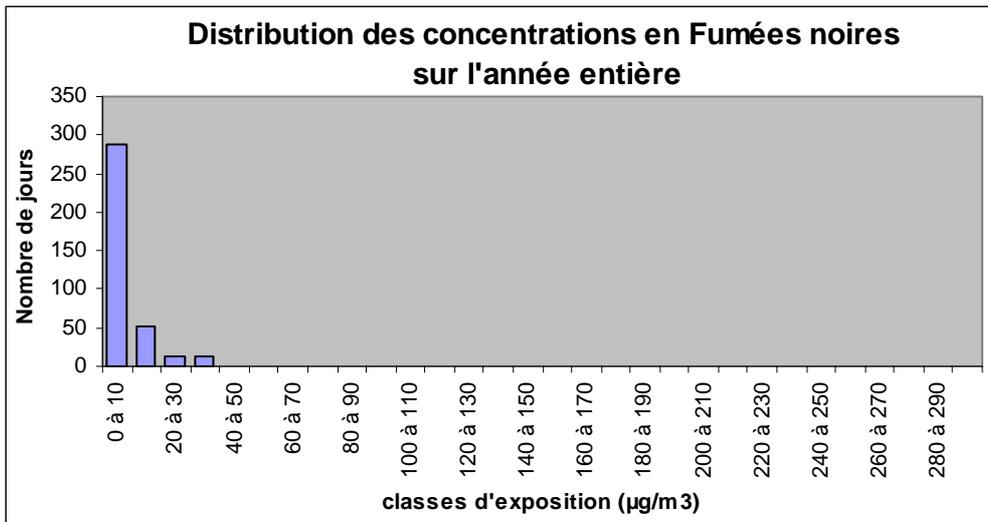
- Percentile 5 et percentile 95 :
Les niveaux de PM_{10} atteints les 18 jours de l'année les moins pollués (P5) et les plus pollués (P95) étaient respectivement de $12 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $38 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les fumées noires, ces niveaux étaient respectivement de $3 \mu\text{g}/\text{m}^3$ et $24 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les $PM_{2,5}$, ces niveaux étaient respectivement de 7 et $29 \mu\text{g}/\text{m}^3$.
- Les nombres de jour dépassant les valeurs limites réglementaires sont présentés dans le tableau 2.

Tableau 2. Nombre de jours durant lesquels les concentrations ont dépassé les valeurs limites réglementaires

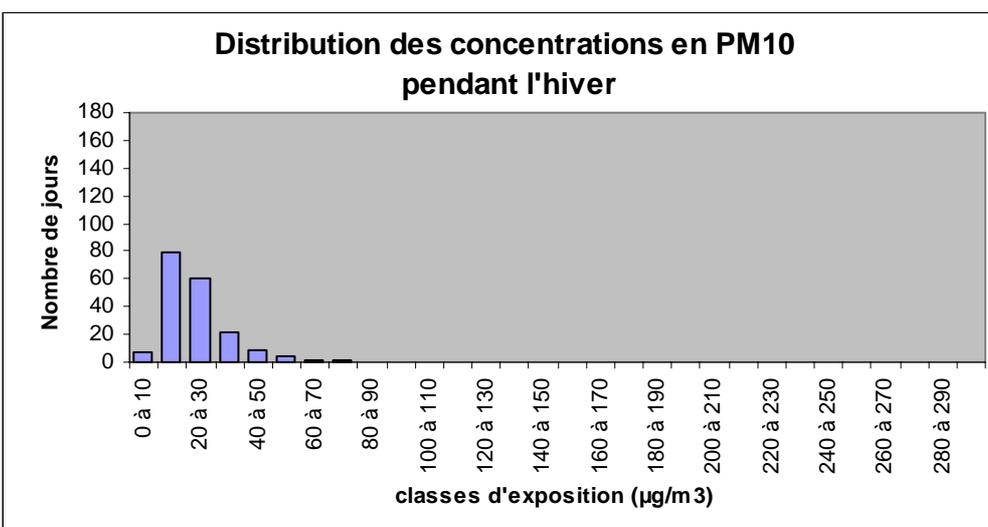
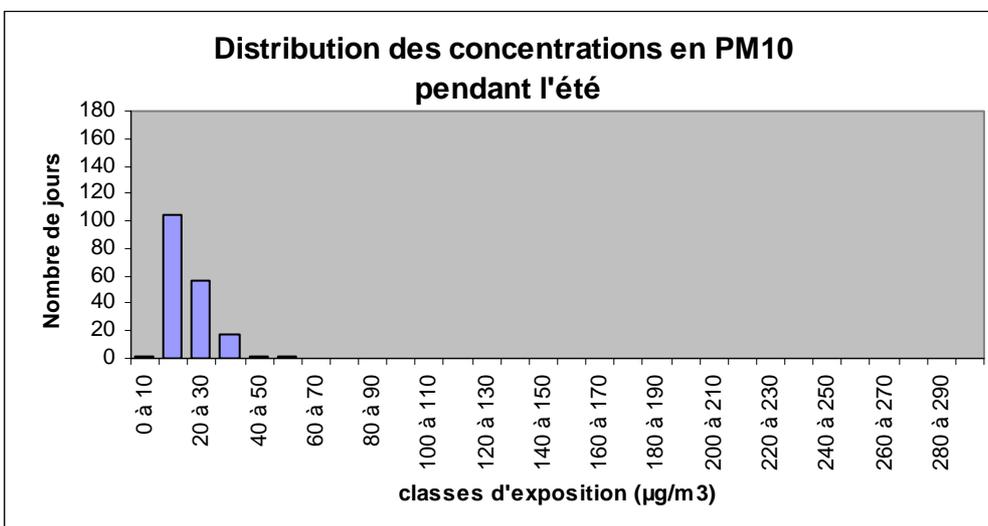
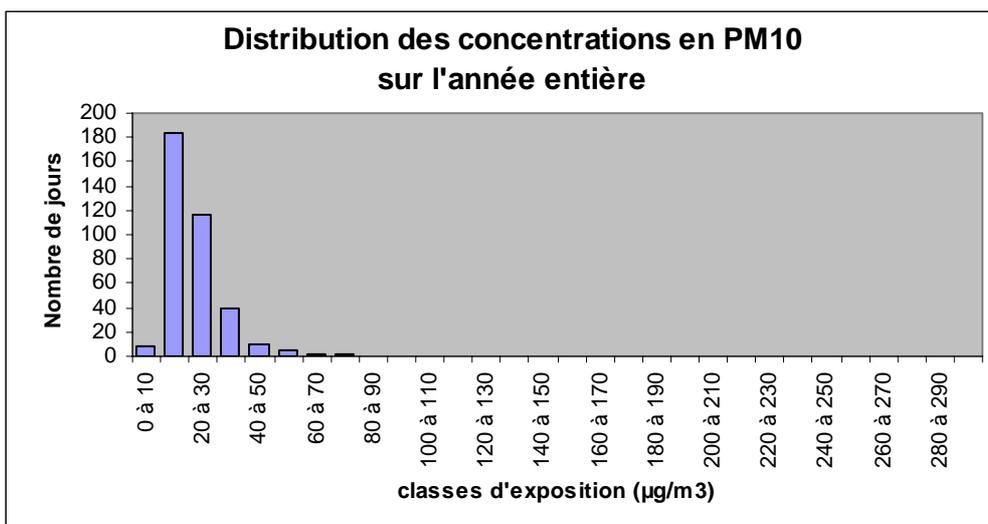
<i>Polluant</i>	<i>PM₁₀</i>	<i>Fumées noires</i>	<i>PM_{2,5} mesurés</i>
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$	173	20	152
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$	17	1	7

Les 9 figures suivantes présentent les distributions des niveaux de PM_{10} , fumées noires et $PM_{2,5}$ (mesurées) sur l'année entière, l'été et l'hiver. Les profils des distributions ne sont pas très différents entre l'été et l'hiver mais les niveaux les plus élevés sont mesurés en hiver.

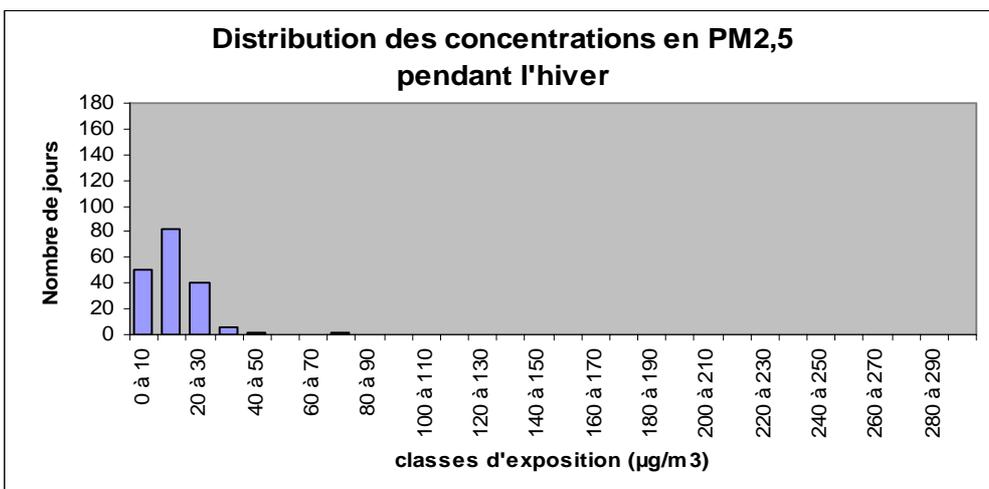
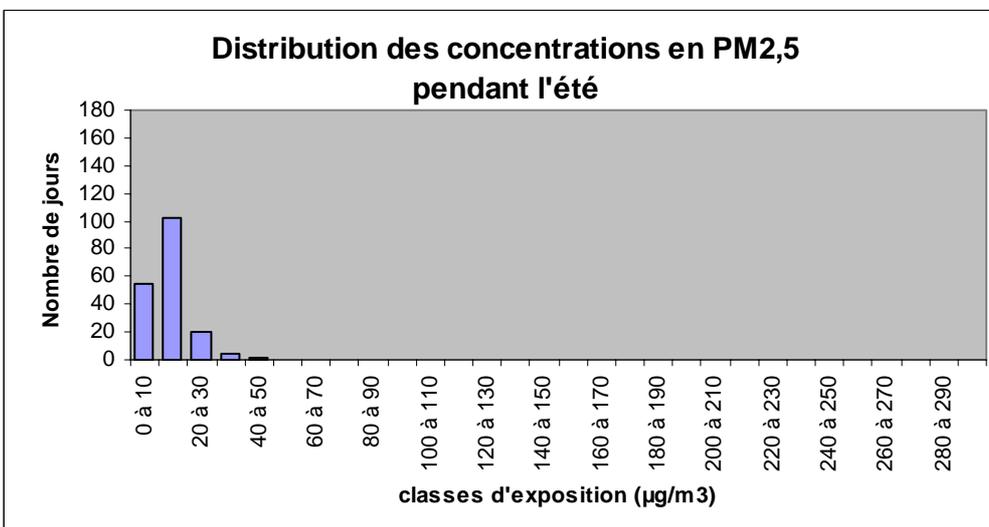
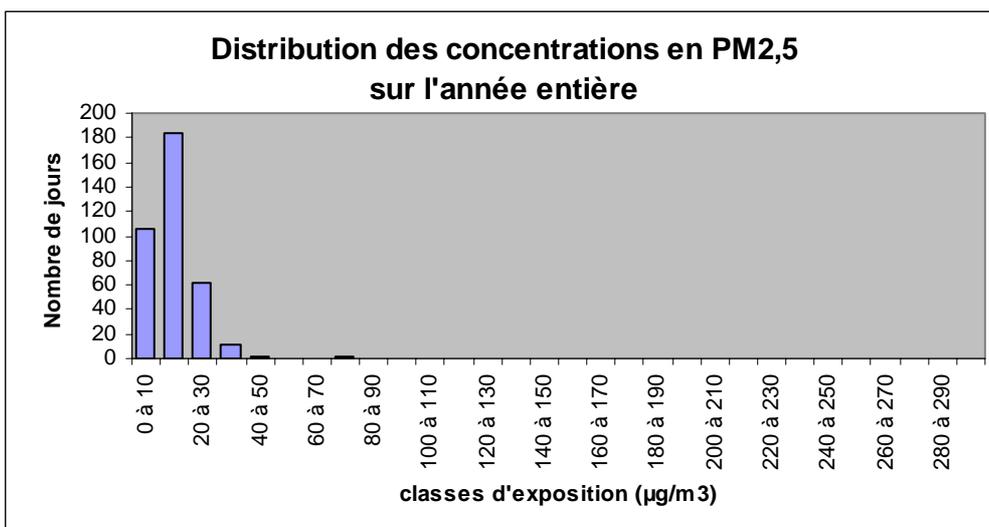
Figures 1,2 et 3. Distribution des concentrations en fumées noires pour l'année 2001



Figures 4,5 et 6. Distribution des concentrations en PM10 pour l'année 2001



Figures 7, 8 et 9. Distribution des concentrations en PM2,5 pour l'année 2001



Données sanitaires

Les données de mortalité ont été recueillies auprès du service Cepi DC de l'Inserm qui enregistre l'ensemble des décès et leurs causes. Les données les plus récentes au moment de l'étude étaient les données de 1999. Les causes de décès étaient codées selon la Classification internationale des maladies – 9^{ème} révision (CIM-9).

Les données d'admissions hospitalières concernaient les établissements publics et privés. Elles ont été recueillies auprès de l'Agence technique de l'information hospitalière (Atih). Les maladies cardiovasculaires et respiratoires sont codées selon la classification CIM 10. Les données étaient disponibles pour l'année 2000.

Des contrôles de qualité sont menés par ces services sur les données d'admissions hospitalières et de mortalité.

Le taux annuel de mortalité standardisé sur l'âge (mortalité toutes causes) était de 784 pour 100 000 habitants. La population européenne était la population de référence⁹ pour ce calcul : 727 304 000 habitants pour l'année 2000.

Le tableau 3 présente, selon l'indicateur sanitaire, le nombre moyen journalier ou le nombre total annuel et les taux pour 100 000 habitants correspondants.

⁹ UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Tableau 3. Nombre moyen journalier et taux annuel pour 100 000 habitants des décès (1999) et des admissions hospitalières (2000).

Indicateur sanitaire	Codes CIM9	Codes CIM10	Moyenne journalière (1) Nombre total annuel (2)	Taux pour 100 000 hab. journalier (1) ou annuel (2)
Impact sanitaire à court terme				
Mortalité toutes causes (hors causes externes)	< 800	A00-R99	9,07 (1)	2,1(1)
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	2,94 (1)	0,7(1)
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	0,70 (1)	0,2(1)
Hospitalisations cardiaques	390-429	I00-I52	13,4 (1)	2,9(1)
Hospitalisations respiratoires	460-519	J00-J99	12,8 (1)	3,1(1)
Impact sanitaire à long terme				
Mortalité toutes causes	0-999	A00-Y98	3621 (2)	832,7 (2)
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 460-519	I10-I70 J00-J99	1235 (2)	284,0 (2)
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	206 (2)	47,4 (2)

Évaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios d'exposition ont été utilisés afin d'évaluer l'impact des particules à court et long termes. A Rouen, ces scénarios ont été élaborés pour trois indicateurs de pollution particulaires : fumées noires, PM₁₀ et PM_{2,5}. Il est recommandé d'interpréter avec précaution les résultats : en aucun cas les estimations du nombre de cas attribuables à ces deux polluants ne doivent être ajoutées car ils représentent les effets d'une même pollution.

Différents outils de calculs et relations exposition / risque (Risque Relatif – RR) ont été utilisés pour estimer les impacts sanitaires selon le polluant considéré, l'indicateur sanitaire étudié et la ville concernée (Tableau 4).

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

Polluant	Indicateur sanitaire	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
PM₁₀	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-429	I00-I52		1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)</i>	<i>Villes concernées</i>
<i>Nombres de cas attribuables</i>							
PM₁₀	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Etude trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
PM_{2,5}	Mortalité totale Mortalité cardio-pulmonaire Cancer du poumon	0-999 401-440 et 460-519 162	A00-T98 I10-I70 et J00-J99 C33-C34	Feuille de calcul Psas-9	1,06 (1,02-1,11) 1,09 (1,03-1,16) 1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
<i>Années de vie perdues</i>							
PM_{2,5}	Mortalité totale Mortalité cardio-pulmonaire Cancer du poumon	0-999 401-440 et 460-519 162	A00-T98 I10-I70 et J00-J99 C33-C34	AirQ	1,06 (1,02-1,11) 1,09 (1,03-1,16) 1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement

Différentes approches ont été utilisées pour la présentation des résultats :

- Pour les fumées noires, les résultats des impacts à court terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les PM₁₀, les résultats des impacts à court et long terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les PM_{2,5}, les résultats des impacts à long terme ont été exprimés en termes de :
 - o nombre annuel de décès attribuables
 - o nombre d'années d'espérance de vie perdues pour la première année de simulation.

Scénarios d'exposition pour les impacts à court terme :

Nous avons utilisé les scénarios suivants pour estimer les effets à court terme de l'exposition aux fumées noires et aux PM₁₀ sur la mortalité et sur les hospitalisations pour une année.

Pour les Fumées noires

Les 3 scénarios qui ont été utilisés pour estimer l'impact à court terme des fumées noires sur la mortalité toute causes (sauf accidentelles), cardiovasculaire et respiratoire sur une année sont les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 50 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur ;
- réduction des niveaux journaliers de fumées noires à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de fumées noires déjà modérés) ;
- réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de fumées noires déjà modérés).

Pour les PM₁₀

Nous avons utilisé 3 scénarios pour estimer les effets à court terme d'une exposition aux PM₁₀ sur la mortalité pour différentes durées d'exposition : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL). Concernant les admissions hospitalières, les expositions prises en compte étaient uniquement celle du jour de l'événement et de la veille.

Les 3 scénarios d'évolution de l'exposition étaient les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de PM_{10} à $50 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeurs limites en 2005 et 2010)
- réduction des niveaux journaliers de PM_{10} à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{10} déjà modérés)
- réduction de toutes les valeurs journalières observées de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{10} déjà modérés)

Scénarios d'exposition pour les impacts à long terme :

Pour les PM_{10}

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM_{10} sur la mortalité annuelle pour différents scénarios :

- réduction de la moyenne annuelle des PM_{10} au niveau de $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur limite 2005 pour les PM_{10}) ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM_{10} au niveau de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (valeur limite 2010 pour les PM_{10}) ;
- réduction de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de la moyenne annuelle observée (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{10} déjà modérés).

Pour les $PM_{2,5}$

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux $PM_{2,5}$ en terme de :

- nombre de décès attribuables par an, pour la mortalité toutes causes, cardio-respiratoire et par cancer du poumon.
- nombre d'années de vie perdues pour la première année de simulation dans la population des 30 ans et plus.

Les différents scénarios sont les suivants :

- réduction de la moyenne annuelle au niveau de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- réduction de la moyenne annuelle au niveau de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$
- réduction de la moyenne annuelle de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de $PM_{2,5}$ déjà modérés)

Evaluation de l'impact sanitaire : résultats

Résultats pour les fumées noires

Les graphes suivants illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux fumées noires sur la mortalité toutes causes (sauf accidentelle), cardiovasculaire et respiratoire et sur les hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires. Les données de fumées noires et d'hospitalisation sont de 2000, les données de mortalité de 1999.

Figure 10. Impact sanitaire à court terme sur la mortalité toutes causes* et spécifique* pour une réduction des fumées noires à 50 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.

*mortalité toutes causes sauf accidentelle (CIM9 < 800), cardiovasculaire (CIM9 390-459) et respiratoire (CIM9 460-519).

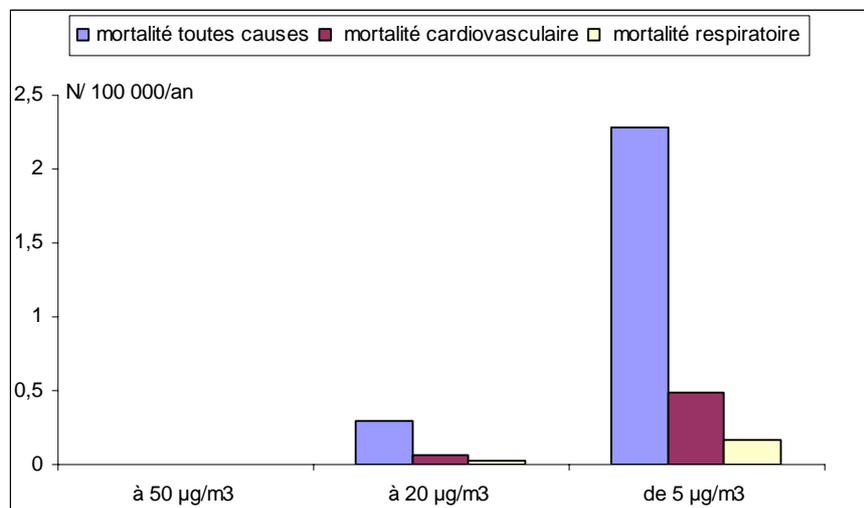
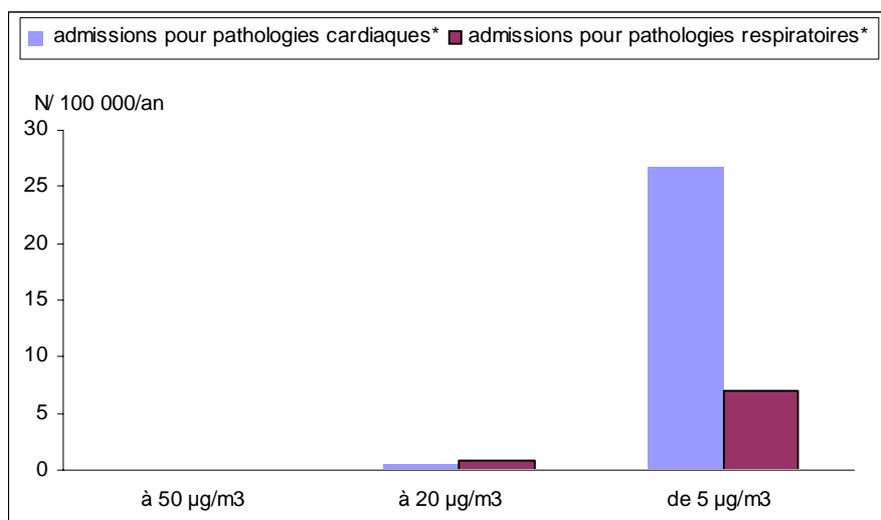


Figure 11. Impact sanitaire à court terme sur les hospitalisations pour réduction des fumées noires à 50 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$, et de 5 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.



*admissions hospitalières pour pathologies cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

Résultats pour les PM_{10}

1. Résultats concernant la mortalité

Les figures suivantes illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux PM_{10} sur la mortalité pour les différentes durées d'exposition considérées : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL) et une exposition chronique (LT). Les données de PM_{10} sont celles de l'année 2000, les données de mortalité sont celles de 1999.

Figure 12. Impact sanitaire des PM10 sur la mortalité toutes causes pour une réduction des fumées noires à 50/40,20 µg/m³, et de 5 µg/m³. Exposition de 0-1 j. (ST), 40 j. (DL), chronique (LT).

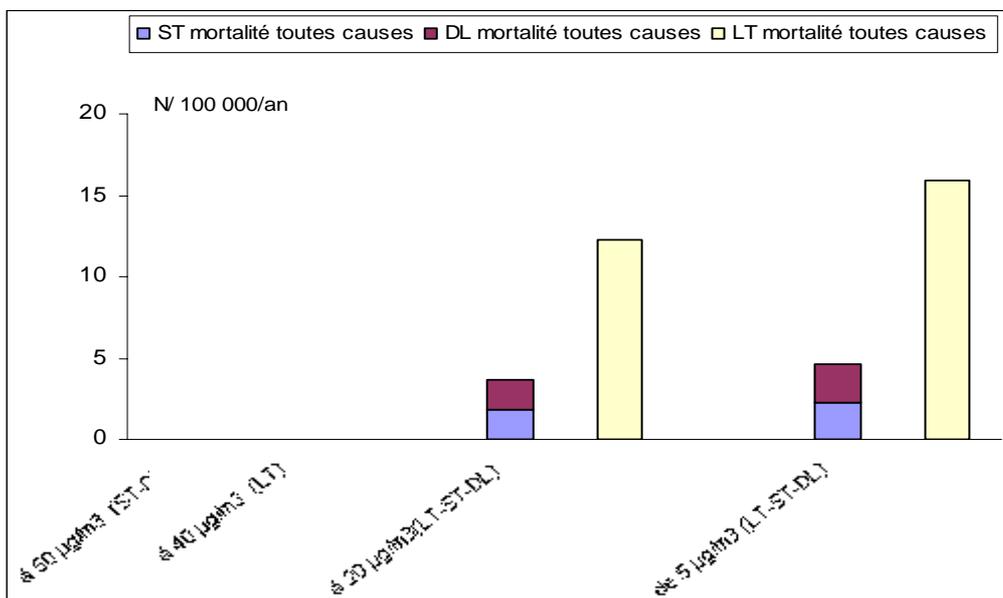
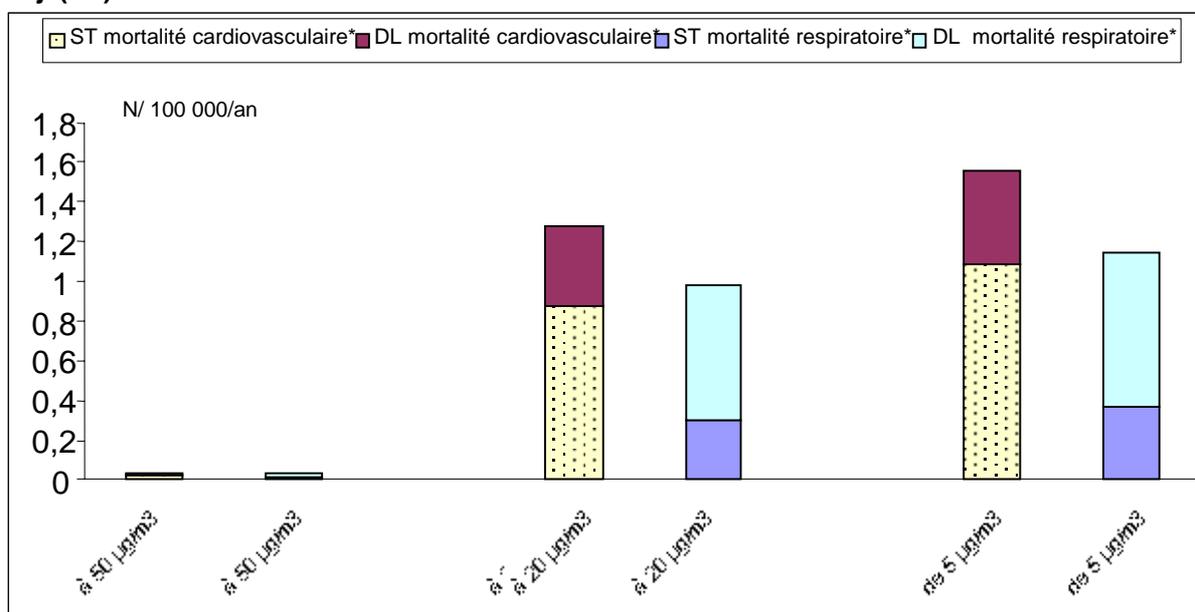


Figure 13. Impacts sanitaires des PM10 sur la mortalité respiratoire et cardiovasculaire pour une réduction des fumées noires à 50/40, 20 µg/m³, et de 5 µg/m³. Exposition de 0-1 j. (ST) et 40 j. (DL).



*mortalité cardiovasculaire (CIM9 390-459) et respiratoire (CIM9 460-519).

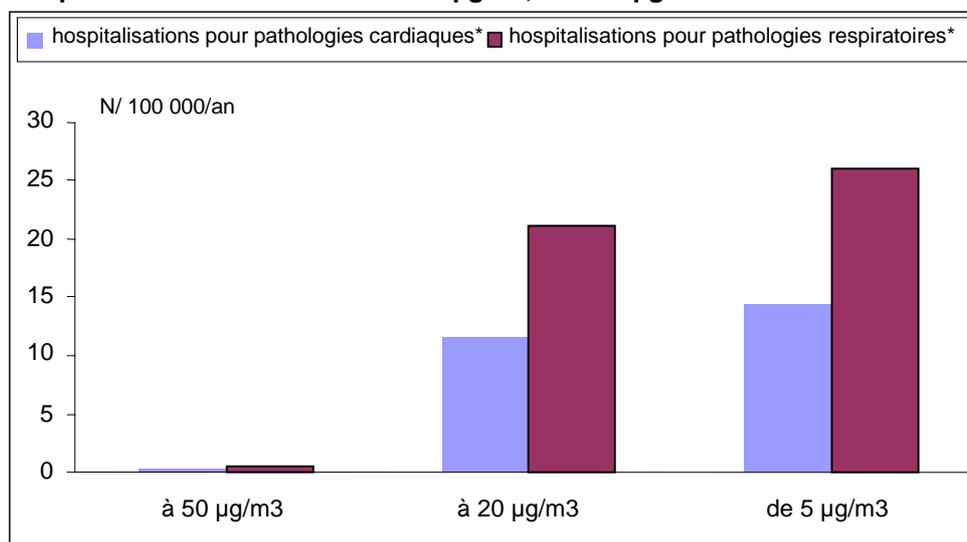
Le premier scénario (réduction de toutes les valeurs journalières à 50 µg/m³) n'a qu'un impact sanitaire négligeable à Rouen en raison de niveaux observés déjà modérés.

Les résultats montrent que l'impact sanitaire d'une exposition chronique aux PM₁₀ est environ 2 fois plus important que l'impact d'une exposition cumulée sur 40 jours qui est lui-même plus important que l'impact d'une exposition sur 0-1 jours. Ce qui signifie que plus la durée d'exposition est longue, l'impact sanitaire est important et que les effets sont cumulatifs dans le temps.

2. Résultats concernant les admissions hospitalières

La figure 14 présente les impacts à court terme des PM₁₀ sur les hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires. Les données de PM₁₀ et d'admissions hospitalières sont celles de l'année 2000.

Figure 14. Impact sanitaire à court terme des PM10 sur les hospitalisations cardiaques et respiratoires pour des réductions à 50 et 20 µg/m³, et de 5 µg/m³.



*admissions hospitalières pour pathologies cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

L'impact sanitaire, en nombre de cas, sur les admissions respiratoires est plus important que l'impact sur les admissions cardiaques car ces dernières sont moins fréquentes toutes choses égales par ailleurs. Comme dans les graphes précédents, le premier scénario (réduction de tous les niveaux journaliers à 50 µg/m³) conduit à un impact négligeable en raison de niveaux déjà modérés de PM₁₀.

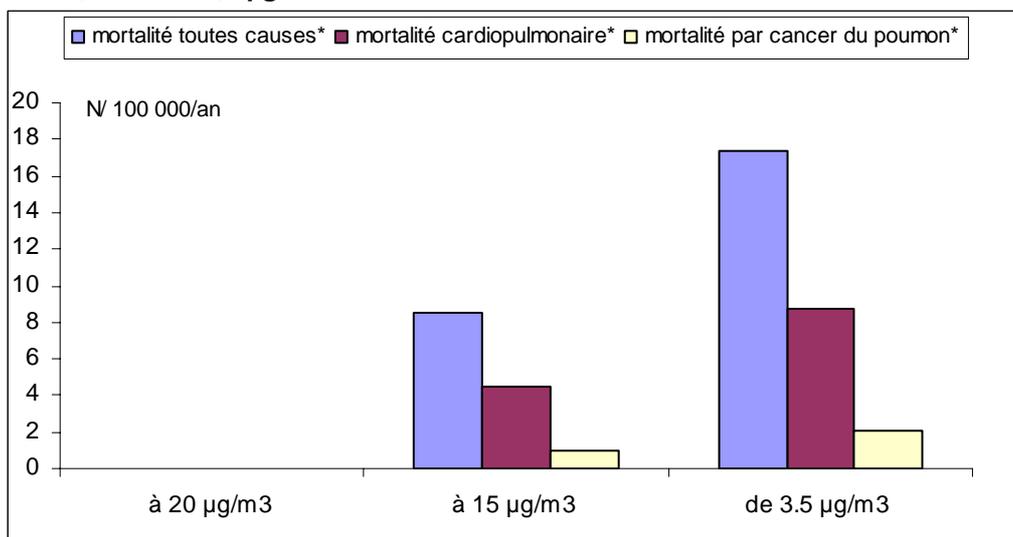
Résultats pour les PM_{2,5}

1. Nombre de cas attribuables

Les figures suivantes présentent l'impact à long terme de la pollution atmosphérique en terme de taux (pour 100 000 habitants) de décès toutes causes, cardio-pulmonaires et par

cancer du poumon attribuables à une exposition chronique aux $PM_{2,5}$. Ces dernières, pour des raisons de cohérence entre les différentes villes européennes, ont été obtenues par conversion des données PM_{10} de l'année 2000, elles-mêmes corrigées pour prendre en compte la technique de mesure (voir paragraphe « Données d'exposition »).

Figure 15. Impact à long terme des $PM_{2,5}$ sur la mortalité pour des réduction de la moyenne annuelle à 20, 15 et de 3,5 $\mu g/m^3$.



*mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

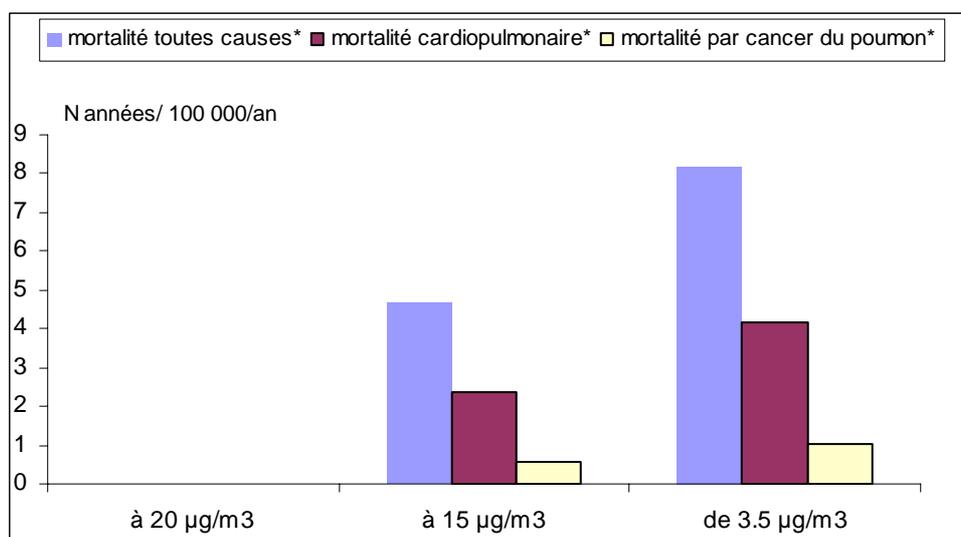
La moyenne annuelle en $PM_{2,5}$ (calculé) étant de 17 $\mu g/m^3$, le 1^{er} scénario (diminution à 20 $\mu g/m^3$) n'a aucun impact et l'impact du second scénario (diminution à 15 $\mu g/m^3$) est très faible. Le 3^{ème} scénario (diminution de 3,5 $\mu g/m^3$) est donc celui qui a le plus grand impact sanitaire.

2. Années potentielles de vie perdues

Nous avons estimé les années potentielles de vie perdues attribuables à une exposition chronique aux $PM_{2,5}$ en utilisant les données de l'année 2000 obtenues par conversion des données de PM_{10} corrigées.

La figure 16 présente les années potentielles de vies perdues pour la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon chez les 30 ans et plus dans la zone d'étude de Rouen.

Figure 16. Années potentielles de vie perdues liées à une exposition chronique aux PM_{2,5} et dues aux décès survenus en 2000. Population des 30 ans et plus – Scénarios de réduction à 20, 15 et de 3,5 µg/m³.



*mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

Pour les décès toutes causes, et toutes choses égales par ailleurs, une réduction de 3,5 µg/m³ du niveau de PM_{2,5} en 2000 aurait pu éviter de perdre 36 années de vie pour la totalité des habitants de Rouen et ses environs âgés de 30 ans et plus (434 830 habitants). Pour la mortalité cardio-pulmonaire, ce chiffre est d'environ 18 années tandis que pour la mortalité par cancer du poumon, il est de plus de 4 années.

Le tableau 5 présente ces résultats en termes d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation potentielle pour une réduction du niveau des PM_{2,5} (moyenne annuelle) à 15 µg/m³ à Rouen.

Age	Espérance de vie	Gain potentiel en espérance de vie (années)		
		Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
À la naissance	78,71	0,13	0,03	0,22
À 30 ans	49,63	0,13	0,03	0,23
À 65 ans	19,34	0,09	0,02	0,16

Ce tableau doit être interprété de la façon suivante : toutes choses égales par ailleurs, si la moyenne annuelle des concentrations en PM_{2,5} (17 µg/m³) étaient réduits à 15 µg/m³, les 49,6 années d'espérance de vie d'une personne de 30 ans augmenteraient de 0,13 année, dans l'agglomération de Rouen.

Interprétation des résultats

Concernant les données utilisées, un certain nombre de commentaires peuvent être faits :

- Estimation de l'exposition : afin de réduire les biais de classification potentiels concernant l'exposition, la zone d'étude a été définie sur des critères d'homogénéité de la pollution atmosphérique ambiante. Tout d'abord, cette zone ne présente pas de rupture d'urbanisation. Ensuite, le lieu de travail de la majorité de la population active est situé dans cette même zone. Enfin, l'homogénéité des niveaux de pollution observés sur la zone a été contrôlée sur des séries annuelles de mesures pour plusieurs stations de fond pour les fumées noires et les particules.
- Indicateurs sanitaires : la principale lacune des données sanitaires réside dans le fait que les données de l'ensemble des admissions (y compris celles en service « traditionnel ») ont été utilisées pour les calculs et non uniquement les données des services d'urgence, celles-ci n'étant pas disponibles en tant que telles. Ainsi, des admissions programmées pour des bilans de santé, non concernées par les effets à court terme de la pollution atmosphérique, ont pu être pris en compte, entraînant sans doute une surestimation de l'impact sanitaire sur les hospitalisations. Par contre, les admissions hospitalières dans certains établissements privés n'ont pas pu être prises en compte, sous-estimant dans ce cas l'impact de la pollution de l'air.

Néanmoins, ces résultats montrent que pour Rouen, les concentrations journalières étant très proche des futures valeurs réglementaires de $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les PM_{10} et les fumées noires et de $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour les $\text{PM}_{2,5}$, une réduction des concentrations au niveau de ces valeurs n'entraîneraient qu'un faible gain sanitaire.

A travers l'étude de l'impact des PM_{10} , on observe que l'impact sanitaire augmente avec la durée de l'exposition : l'impact à long terme est plus important que l'impact de 40 jours d'exposition, lui-même plus important que l'impact d'une exposition de 2 jours.

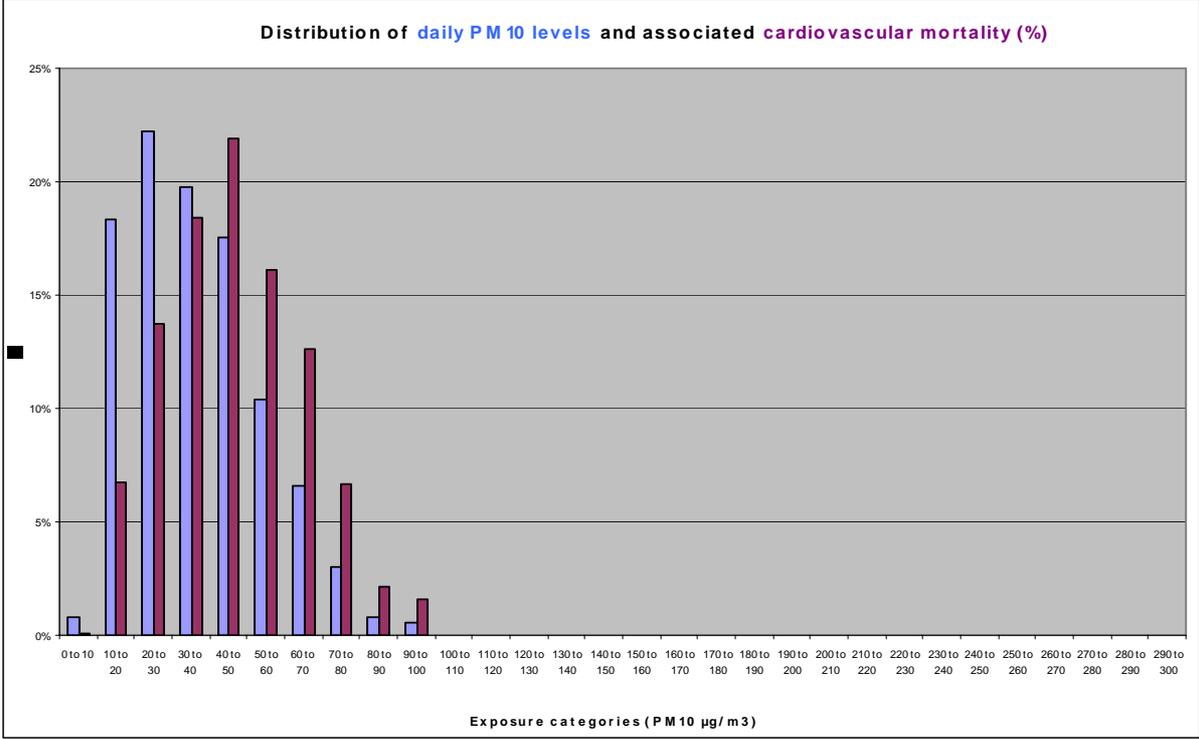
Les résultats montrent aussi que même pour les niveaux mesurés actuellement, un gain sanitaire peut être potentiellement obtenu par une amélioration de la qualité de l'air, comme le montre les résultats du scénario de réduction de la moyenne annuelle en $\text{PM}_{2,5}$ de $3,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$. Ceci est encore plus visible à travers les résultats en terme d'années de vie perdues.

En terme de gestion de la qualité de l'air, cela peut se traduire de la façon suivante : il est plus efficace au plan sanitaire de réduire au long cours les niveaux de pollution, même de manière modeste, que de supprimer les pics ponctuels de pollution.

La figure suivante illustre cet aspect en comparant la part relative de l'impact des pics qui ne sont présents que quelques jours par an en comparaison à l'exposition de tous les jours à

des faibles niveaux de pollution. Dans cet exemple, seulement 4% de l'impact sanitaire est attribuable aux niveaux de PM10 supérieurs à 80 µg/m3, contre 96 % attribuables aux faibles niveaux de PM10.

Figure 10 : distribution journalière des niveaux de PM10 et pourcentages de cas attribuables associés à court terme



Conclusion

Ces résultats complètent ceux présentés dans le rapport Apehis 2 pour l'agglomération de Rouen avec une estimation de l'impact des particules PM₁₀ et PM_{2,5}. Ils confirment que des gains sanitaires peuvent être potentiellement obtenus par l'amélioration de la qualité de l'air même dans des villes où la pollution atmosphérique est d'ores et déjà modérée.

Au niveau local, le Plan de protection de l'atmosphère étant en cours de rédaction, il est encore trop tôt pour évaluer l'impact réel de l'information apportée par les évaluations d'impact sanitaire (Apehis et Psas-9). Un groupe de travail sur la thématique "Air et santé" a été créé afin de prendre en compte les effets sanitaires de la pollution de l'air dans les choix politiques qui seront pris dans le cadre de ce plan. Les résultats des études du Psas-9 et d'Apehis y sont d'ores et déjà mentionnés.

En conclusion, les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire et leur interprétation devront apporter aux partenaires et décideurs locaux des informations sanitaires et les aider dans leur choix politique de réduction et de prévention des risques associés à la pollution de l'air. La communication vers le grand public sur les effets de la pollution de l'air sur la santé et sur les résultats des évaluations d'impact devra être développée, notamment dans le cadre du Plan de protection de l'atmosphère.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Strasbourg

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Daniel Eilstein

Juillet 2004

Strasbourg

Résumé des principaux résultats

Niveaux de pollution de l'air comparés aux valeurs limites européennes : les moyennes journalières de PM₁₀ étaient de 22,3 µg/m³ en 1999 et de 23 µg/m³ en 2002 ce qui est en dessous de la valeur limite de 2005 (50 µg/m³ ne devant pas être dépassé plus de 35 jours par an et le niveau de 40µg/m³ ne devant pas être dépassé en moyenne annuelle) mais au-dessus de celle de 2010 (50 µg/m³ ne devant pas être dépassées plus de 7 jours par an et 20 µg/m³ pour la moyenne annuelle). En 2002, la moyenne journalière de PM_{2,5} était de 16 µg/m³.

Principaux résultats : Les analyses ont permis de conclure que 54 décès par an seraient potentiellement évitables dans la zone d'étude de Strasbourg pour une réduction à long terme de la pollution en particules fines PM_{2,5} à 15 µg/m³. Cette réduction permettrait d'augmenter de 26 années l'espérance de vie pour la première année de simulation et pour l'ensemble de la population. Si les moyennes journalières de PM₁₀ restaient inférieures à 20 µg/m³, 11 décès et 33 hospitalisations auraient pu être évités en 2002.

Principales causes de pollution de l'air en ville et actions mises en œuvre pour la réduire : à Strasbourg, la première cause de pollution de l'air est le transport routier et principalement la circulation automobile. Depuis plusieurs années, des efforts sont faits afin de réduire le trafic routier en centre ville.

Contexte

La zone d'étude est l'agglomération de Strasbourg, appelée *Communauté Urbaine de Strasbourg* (C.U.S.). Celle-ci possède une population relativement jeune de 451 133 habitants (13,3% de plus de 65 ans) répartie sur 27 communes couvrant 304 km², avec une densité de 1 484 hab/km².

La zone est localisée dans une vallée appelée Fossé rhénan (avec les Vosges à l'ouest et la Forêt Noire à l'est), ce qui favorise la stagnation de l'air sur toute la région et accroît le phénomène de « dôme » de pollution urbaine. Le climat est océanique à tendance continentale. La température moyenne varie entre 6,5 et 15,2°C. L'humidité relative est en moyenne de 55,8%.

En 1997, dans l'agglomération de Strasbourg, 1 070 000 déplacements en voiture étaient enregistrés par jour. Depuis, Strasbourg a pris de nombreuses mesures pour améliorer la qualité de l'air (nouveau plan de circulation au centre-ville, tramway, développement du réseau de transport en commun, nouvelles zones piétonnes, pistes cyclables, espaces verts, etc...).

Le Plan régional de qualité de l'air (PRQA) a été définitivement adopté en décembre 2000. Il prend en compte la situation en matière de qualité de l'air, les sources d'émission, les diverses actions qui ont été prises localement. Enfin, ce plan fait l'inventaire des différentes directives qui ont pour but d'améliorer la surveillance de la qualité de l'air, les circulaires traitant du contrôle des émissions et celles d'information au public. Les décideurs alsaciens sont très concernés par les problèmes environnementaux et, comme il a été dit plus haut, ont pris des mesures afin d'améliorer la qualité de l'air. En réponse aux préoccupations de la population locale, le Conseil régional s'est fortement impliqué. L'association *Alsace Nature* est fortement représentée dans chaque réunion traitant de l'environnement et est très active

dans les discussions (émissions provenant des aéroports, radiations ionisantes, etc...). Le Conseil régional du Bas-Rhin a établi des contrôles contre l'effet de serre. En 1996, la C.U.S. et le Conseil régional ont instauré des « plans ozone » afin de réduire les niveaux de pollution lorsque ces derniers excèdent les niveaux recommandés. En mai 2001, la première réunion de la commission du PRQA eût lieu. Son rôle est de coordonner le suivi des orientations du PRQA, d'informer et d'avertir l'opinion publique de ses propres responsabilités et d'encourager des actions pour améliorer la qualité de l'air. La commission est divisée en plusieurs groupes de travail : "Information et communication", "Énergie", "Surveillance de la qualité de l'air", "Sources mobiles (transport...)" et "Effets sur la santé". En 2001, compte tenu du nombre d'habitants à Strasbourg (plus de 250 000), le Préfet a élaboré un Plan pour la protection de l'atmosphère (PPA). En cohérence avec le PRQA, l'objectif est de réduire la pollution de l'air à des niveaux inférieurs aux limites définis par la politique européenne, et d'élaborer des procédures d'alerte.

Au niveau local, les objectifs d'Apheis 3 sont d'estimer l'impact sanitaire des PM₁₀ pour différents scénarios de réduction de la pollution atmosphérique. Les résultats complèteront les estimations d'impact sanitaire réalisées dans le cadre du Psas-9 à Strasbourg pour d'autres polluants.

Sources d'émission

Les principales sources de pollution atmosphérique ont été décrites en détail l'an dernier, dans le précédent rapport Apheis (www.apheis.org). En voici un résumé :

En 1997 (CITEPA, 1997 ; LPCA – Plan de Protection Atmosphérique Strasbourg/Kehl, 1990) :

Les émissions de SO₂ étaient principalement produites par les industries (70%) et, dans une moindre mesure par le secteur résidentiel/tertiaire (24%). Les sources d'émission de particules étaient réparties entre 3 secteurs : 40 % pour le secteur résidentiel/tertiaire, 26 % pour les industries et 34 % pour le trafic. Les émissions de particules par les petites installations de chauffage étaient principalement dues au bois (97%). Les émissions de NOx étaient majoritairement associées au trafic (65%) mais aussi aux industries (25%) et au tertiaire (10%). Les composés organiques volatiles non méthaniques (COVNM) étaient produits par les industries (38%), le trafic (25%) et le secteur tertiaire (15%). Plus spécifiquement, les émissions de benzène étaient essentiellement dues à la circulation routière (75%). Les émissions de CO étaient surtout liées au secteur tertiaire et au trafic (respectivement 43% et 55% en 1997).

En 2000 (ASP: Emissions de polluants sur la zone du Plan de Protection de l'Atmosphère de Strasbourg ; Mars 2003) :

Polluant (2000)	Production énergétique et Distribution (%)	Industrie (%)	Combustion (%)	Gestion des déchets (%)	Transport routier (%)	Transport non routier (%)	Agriculture (%)
SO ₂	74	9	13	-	-	-	-
NO _x	17	-	8	6	58	-	-
NH ₃	-	-	-	5	25	-	68
HCl	57	14	9	19	-	-	-
HF	17	7	-	71	-	-	-
CO	-	-	10	-	86	-	-
COVN M	10	35	11	-	38	-	-
PM ₁₀	32	13	5	-	43	-	-
PM _{2,5}	34	-	5	-	49	-	-
CO ₂	21	9	31	10	27	-	-
CH ₄	54	-	14	-	10	-	18
N ₂ O	29	-	10	10	23	-	23
C ₆ H ₆	-	-	-	-	91	-	-
BaP	-	22	70	-	-	-	-
PCDD/ F	-	-	-	96	-	-	-
Pb	6	11	-	81	-	-	-
Cd	15	6	-	74	-	-	-
As	27	56	10	7	-	-	-
Ni	87	8	-	-	-	-	-
Hg	5	-	-	90	-	-	-
Cr	79	-	-	10	5	-	-
Cu	10	-	-	26	54	8	8
Se	76	21	-	-	-	-	-
V	39	-	61	-	-	-	-
Zn	-	-	-	69	17	-	-

- : < 5 % des émissions

Les principales sources industrielles de pollution de l'air sont situées au nord de Strasbourg pour le SO₂, et à l'est pour les polluants associés à la combustion tels que les composés organiques volatiles (COV) et les NO_x. Les principales sources d'émission sont le transport pour le CO, les COV, les NO_x et les particules, et l'industrie pour le SO₂, les NO_x, et les COV.

Les PM₁₀ sont composées, entre autres, de plomb (0,07 µg/m³), de cadmium (< 1,00 ng/m³), d'arsenic (à très faible concentration) et de nickel (10 ng/m³).

Données d'exposition

Méthode et stations de mesure

Les fumées noires ne sont pas mesurées à Strasbourg.

Les PM₁₀ sont mesurées depuis le 30 septembre 1999 par 3 stations urbaines : dans le centre ville, l'est et le nord de Strasbourg.

Les PM_{2,5} sont mesurées par 2 stations urbaines : dans le centre ville de Strasbourg depuis le 16 juillet 2001 et à l'est de la ville depuis le 8 janvier 2001.

Les PM₁₀ et les PM_{2,5} sont mesurées, comme partout en France, par la méthode du TEOM.

Coefficients de correction

- Coefficients de correction pour les mesures automatiques de PM₁₀ : **1,215** durant l'hiver, **1,000** durant l'été.
- Coefficient de conversion de PM₁₀ à PM_{2,5}: **0,7**

Données d'exposition pour Apheis 3 :

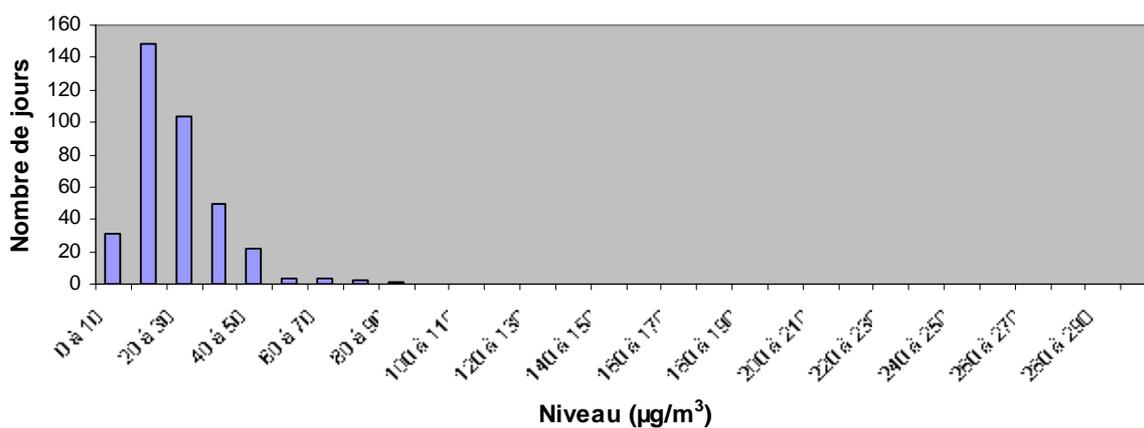
- o Les mesures utilisées étaient celles de l'année 2002.
- o Les concentrations moyennes journalières (écart-type) étaient de 23 (12) µg/m³ pour les PM₁₀ et 16 (10) µg/m³ pour les PM_{2,5}.
- o Les niveaux de PM₁₀ atteints les 18 jours de l'année les moins pollués (centile 5) et les plus pollués (centile 95) étaient respectivement de 9 µg/m³ et 46 µg/m³. Pour les PM_{2,5}, ces niveaux étaient respectivement de 6 µg/m³ et 34 µg/m³.
- o Les nombres de jours dépassant les valeurs limites réglementaires étaient de :

Tableau 2. Nombres de jours dépassant les valeurs limites européennes

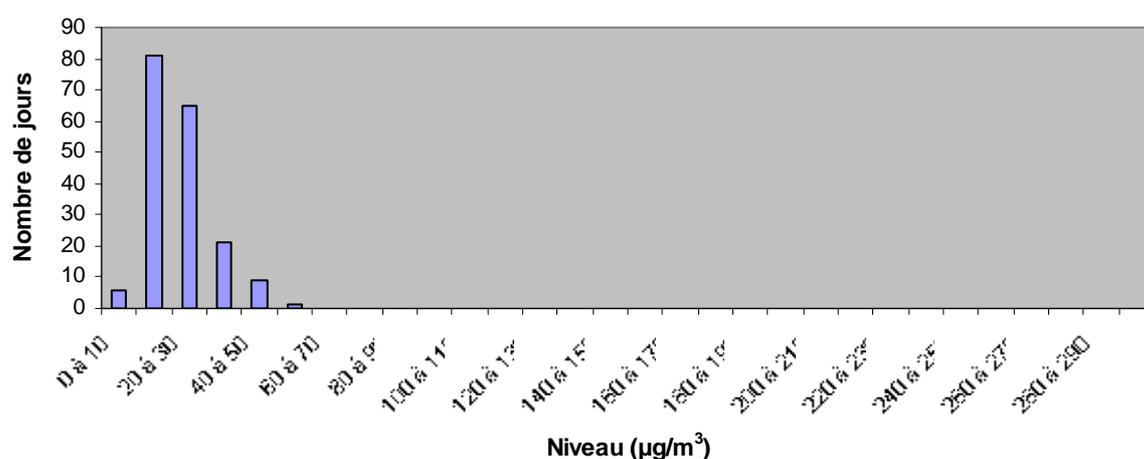
Polluant	PM ₁₀	PM _{2,5}
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	20 µg/m ³	14 µg/m ³
	185	168
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	50 µg/m ³	35 µg/m ³
	10	18

Les 6 figures suivantes présentent les distributions des niveaux de PM₁₀ (trois premiers graphiques), et PM_{2,5} (trois derniers graphiques) sur l'année entière, l'été et l'hiver. Dans tous les cas, le nombre de jours est maximum pour des valeurs comprises entre 20 et 30 µg/m³.

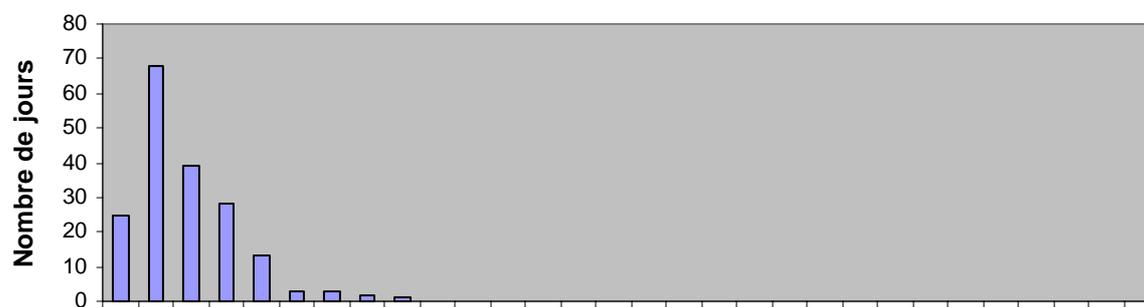
Distribution des PM10 (toute l'année)



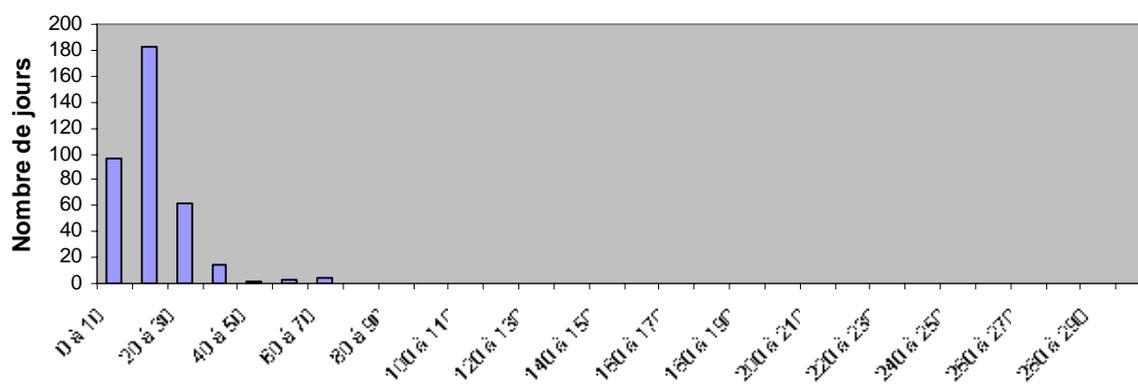
Distribution des PM10 (été)

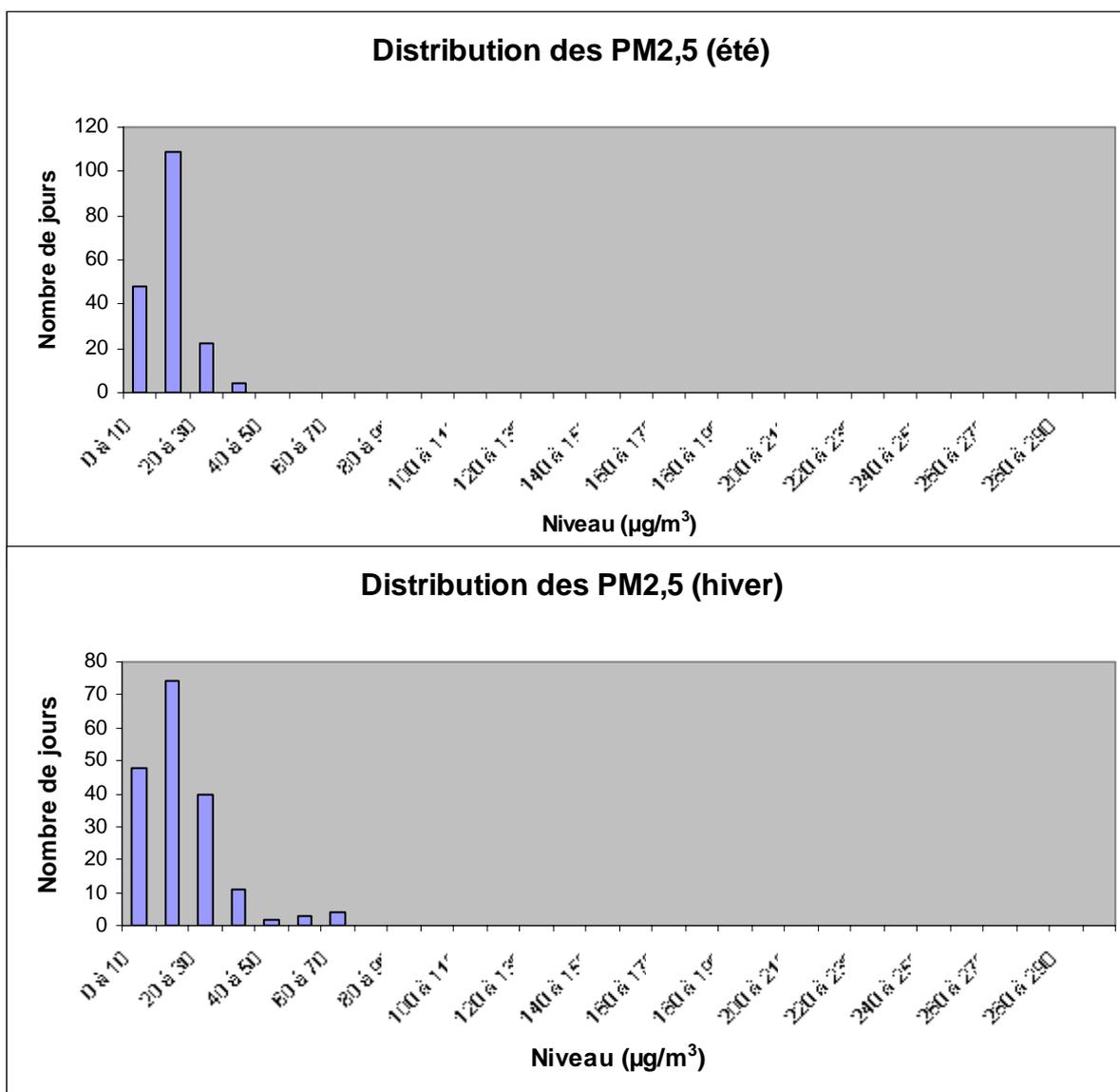


Distribution des PM10 (hiver)



Distribution des PM2,5 (toute l'année)





Remarque: après corrections des PM₁₀ et conversion pour les PM_{2,5}, les concentrations moyennes journalières (écart type) étaient de 25,0 (14,0) µg/m³ pour les PM₁₀ et 18,0 (10,0) µg/m³ pour les PM_{2,5}. Les niveaux de PM₁₀ atteints les 18 jours de l'année les moins pollués (centile 5) et les plus pollués (centile 95) étaient respectivement de 11 µg/m³ et 50 µg/m³. Pour les PM_{2,5}, ces niveaux étaient respectivement de 8 µg/m³ et 35 µg/m³.

Données sanitaires

- Les données de mortalité ont été recueillies auprès du Centre d'épidémiologie sur les causes médicales de décès (Cépi DC) de l'Inserm qui enregistre l'ensemble des décès et leurs causes. Les données les plus récentes au moment de l'étude étaient les

données de 1999. Les causes de décès étaient codées selon la Classification internationale des maladies – 9^{ème} révision (CIM-9)

- Les données d'admissions hospitalières (2000) concernaient les établissements publics et privés. Elles ont été recueillies auprès de l'Agence technique de l'information hospitalière (ATIH).
- Le taux annuel de mortalité standardisé sur l'âge (mortalité toutes causes) était de 736 pour 100 000 habitants. La population européenne était la population de référence¹⁰ pour ce calcul : 727 304 (x100) habitants pour l'année 2000.

Tableau 3. Nombre moyen journalier de décès (1999) et d'admissions hospitalières (2000), taux annuel pour 100 000 habitants.

Indicateur sanitaire	ICD9	ICD10	Moyenne journalière	Taux pour 100 000 hab. annuel / journalier
Impact sanitaire à court terme				
Mortalité toutes causes (hors causes externes)*	< 800	A00-R99	9 (3)	693,4 / 1,9
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	3 (2)	230,3 / 0,6
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	1 (1)	65,4 / 0,2
Hospitalisations cardiaques	390-429	I00-I52	9	736,4 / 2,0
Hospitalisations respiratoires	460-519	J00-J99	9	721,3 / 2,0
Impact sanitaire à long terme				
Mortalité toutes causes	0-999	A00-Y98	9	735,7 / 2,0
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440	I10-I70		
	460-519	J00-J99	3	278,0 / 0,8
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	1	43,9 / 0,1

*pour les scénarios court et long termes

¹⁰ UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Évaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios théoriques d'exposition aux particules ont été construits pour illustrer leurs répercussions sur les impacts sanitaires à court et à long terme. A Strasbourg, ces scénarios ont été construits pour deux indicateurs de pollution : PM_{10} et $PM_{2,5}$. Concernant l'interprétation des résultats, en aucun cas les estimations du nombre de cas attribuables à ces deux polluants ne doivent être ajoutées car ils représentent les effets d'un même type de pollution.

Différents outils de calculs ont été utilisés pour estimer les impacts sanitaires à court et à long terme de ces polluants (tableau 4).

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

<i>Polluant</i>	Indicateur sanitaire	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
<i>PM₁₀</i>	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I52		1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	<i>RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³</i>	<i>Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)</i>	<i>Villes concernées</i>
<i>Nombres de cas attribuables</i>							
<i>PM₁₀</i>	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Etude trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,09 (1,03-1,16)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002		
<i>Années de vie perdues</i>							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	AirQ	1,09 (1,03-1,16)		
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002		

Par ailleurs, différentes approches ont été utilisées pour la présentation des résultats :

- Pour les PM_{10} , les résultats des impacts à court et long terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables ;
- Pour les $PM_{2,5}$, les résultats des impacts à long terme ont été exprimés en termes de :
 - Nombre annuel de décès attribuables ;
 - Nombre d'années d'espérance de vie perdues au début de la simulation.

Scénarios d'exposition pour les impacts à court terme

Nous avons utilisé les scénarios suivants pour estimer les effets à court terme de l'exposition aux PM_{10} sur la mortalité et sur les hospitalisations sur une année :

Pour les PM_{10}

Nous avons utilisé 3 scénarios pour estimer les effets à court terme d'une exposition aux PM_{10} sur la mortalité pour différentes durées d'exposition : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST) et celle des 40 jours précédant l'événement sanitaire (DL). Concernant les admissions hospitalières, les expositions prises en compte étaient uniquement celle du jour de l'événement et de la veille.

Les 3 scénarios d'évolution de l'exposition étaient les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de PM_{10} à $40 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeur limite 2005 pour les PM_{10}) ;
- réduction des niveaux journaliers de PM_{10} à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{10} déjà modérés) (valeur limite 2010 pour les PM_{10}) ;
- réduction de toutes les valeurs journalières observées de $5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{10} déjà modérés).

Scénarios d'exposition pour les impacts à long terme

Pour les PM₁₀

Nous avons utilisé trois scénarios afin d'estimer les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM₁₀ sur la mortalité annuelle (toutes les causes exceptées les causes externes):

- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40µg/m³ (valeur limite 2005 pour les PM₁₀) ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 20µg/m³ (valeur limite 2010 pour les PM₁₀) ;
- réduction de 5µg/m³ de la moyenne annuelle observée (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés).

Pour les PM_{2,5}

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM_{2,5} sur la mortalité annuelle dans la population des 30 ans et plus, sur la mortalité toutes causes, pour motifs cardio-respiratoires et par cancer des poumons, pour différents scénarios :

- réduction de la moyenne annuelle des PM_{2,5} au niveau de 20 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM_{2,5} au niveau de 15 µg/m³ ;
- réduction de la moyenne annuelle des PM_{2,5} de 3,5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM_{2,5} déjà modérés).

Évaluation de l'impact sanitaire : résultats

Résultats pour les PM₁₀

Mortalité

Les graphes suivants illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux PM₁₀ sur la mortalité pour les différentes durées d'exposition considérées : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST), celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL) et celle d'une exposition chronique (LT). Les données de PM₁₀ sont de 2002 et celles de mortalité sont de 1999.

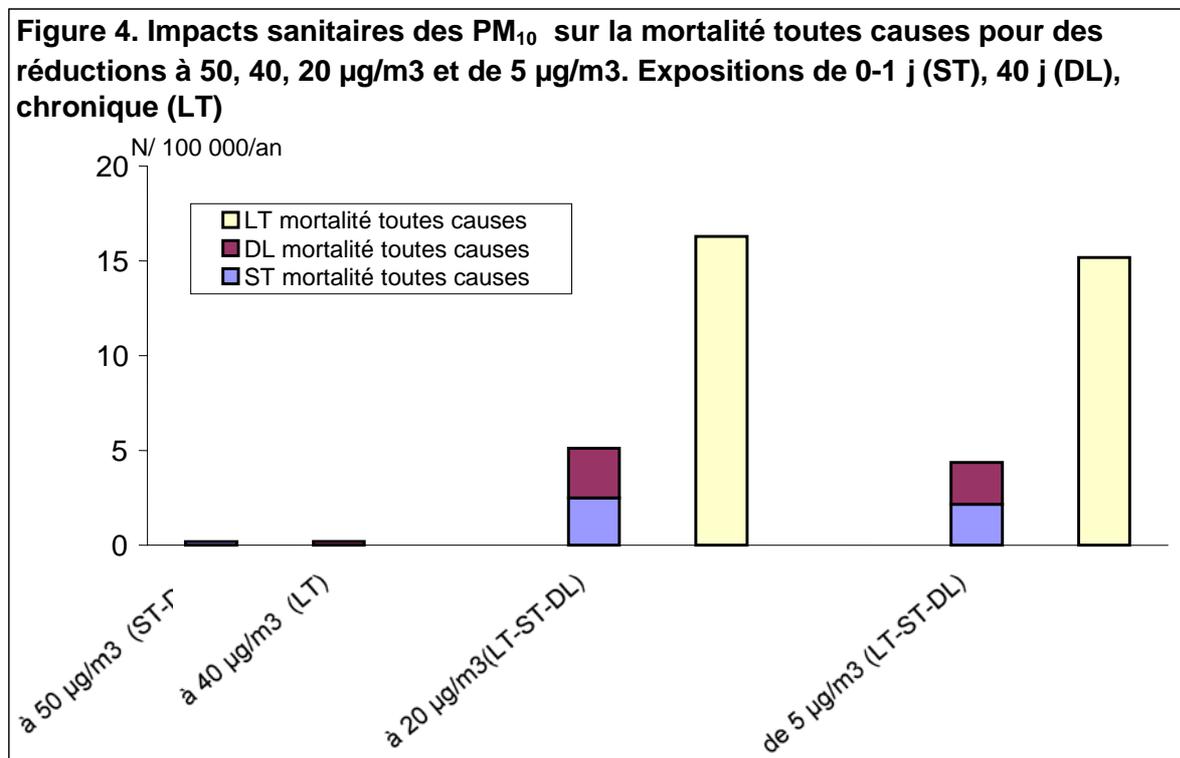
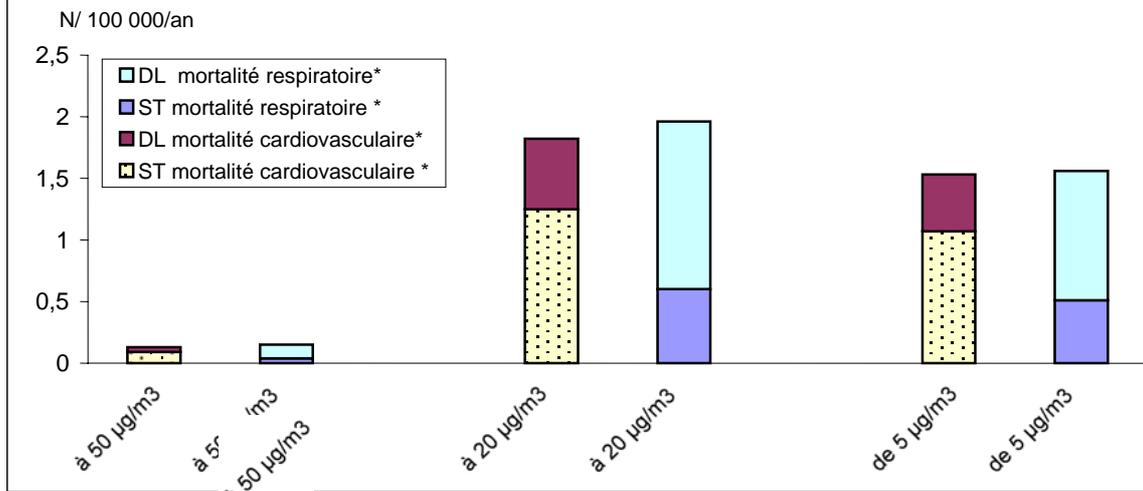


Figure 5. Impacts sanitaires des PM₁₀ sur la mortalité respiratoire et cardiovasculaire pour des réductions à 50, 20 µg/m³ et de 5 µg/m³. Expositions de 0-1 j (ST) et 40 j (DL).



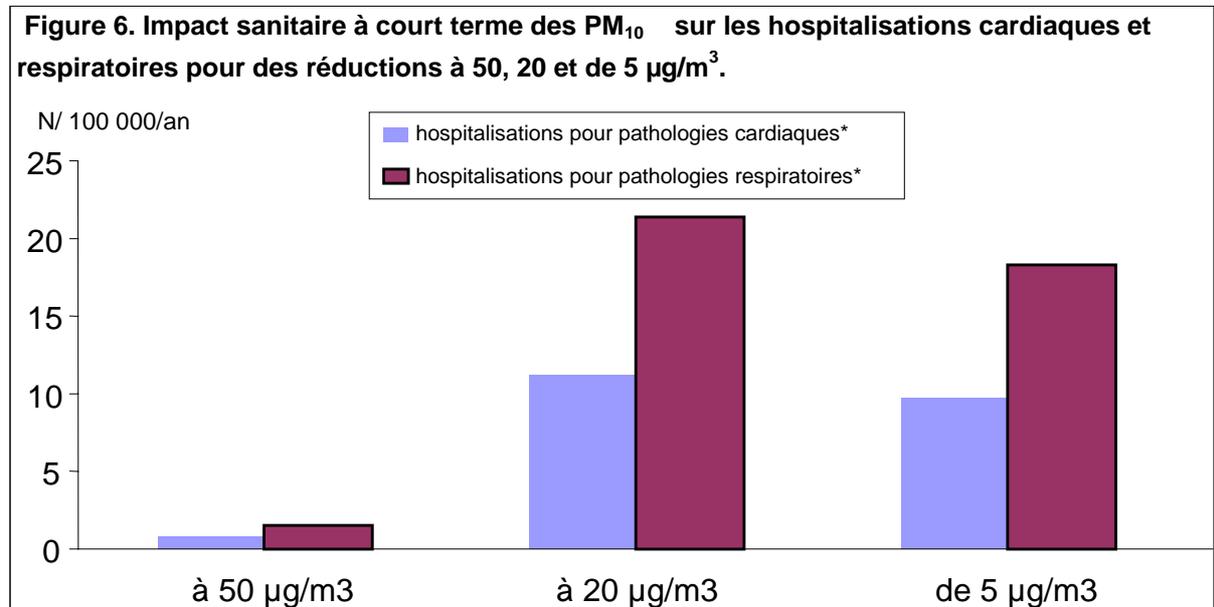
*mortalité cardiovasculaire (CIM9 390-459) et respiratoire (CIM9 460-519).

L'effet à long terme de la pollution atmosphérique sur la mortalité (fig 4) est presque égal à trois fois l'effet cumulatif lequel est deux fois supérieur à l'effet à court terme.

Pour la mortalité pour causes respiratoires (fig 5), on observe que les effets d'une exposition cumulée sont deux fois plus importants que l'effet aigu. Pour la mortalité pour causes cardiovasculaires cette différence est plus faible.

Hospitalisations

Nous avons estimé les effets à court terme d'une exposition aiguë aux PM₁₀ sur les hospitalisations annuelles pour pathologies cardio-respiratoires. Les données de PM₁₀ sont de 2002 et celles d'hospitalisation sont de 2000.



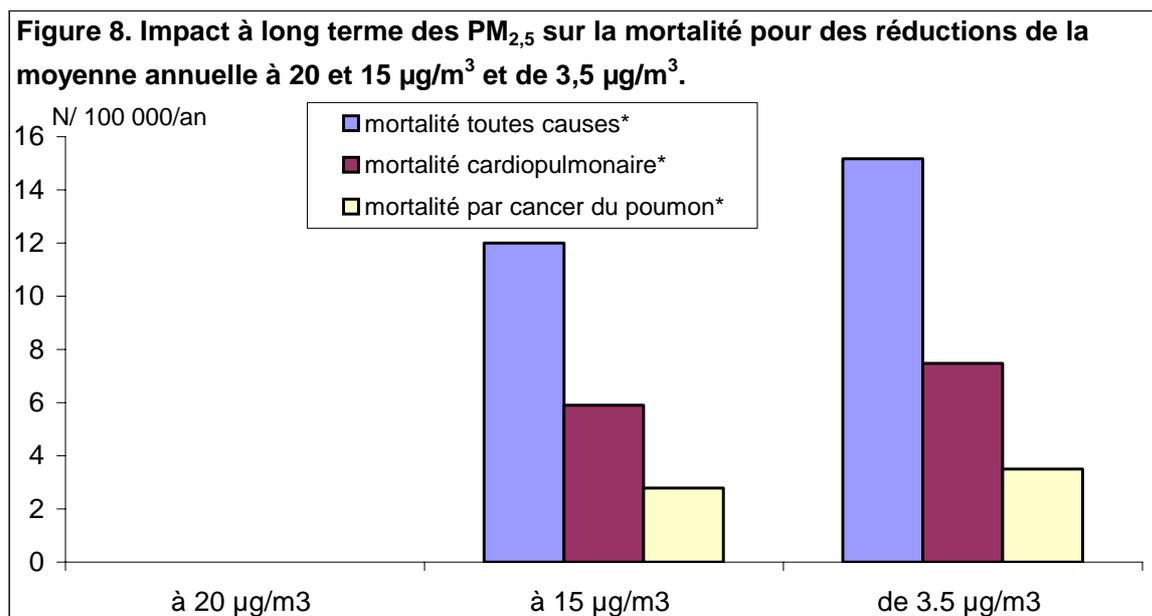
*admissions hospitalières pour pathologies cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519)

Le nombre d'hospitalisations pour pathologies respiratoires attribuable à la pollution de l'air est deux fois plus important que celui concernant les pathologies cardiovasculaires.

Résultats pour les PM_{2,5}

Nombre de cas attribuables

Les figures suivantes présentent l'impact à long terme en terme de taux (pour 100 000 habitants) de décès toutes causes, cardio-pulmonaires et par cancer du poumon attribuables à une exposition chronique aux PM_{2,5}. Les données de PM_{2,5} sont de 2002, et celles de mortalité sont de 1999.



* mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

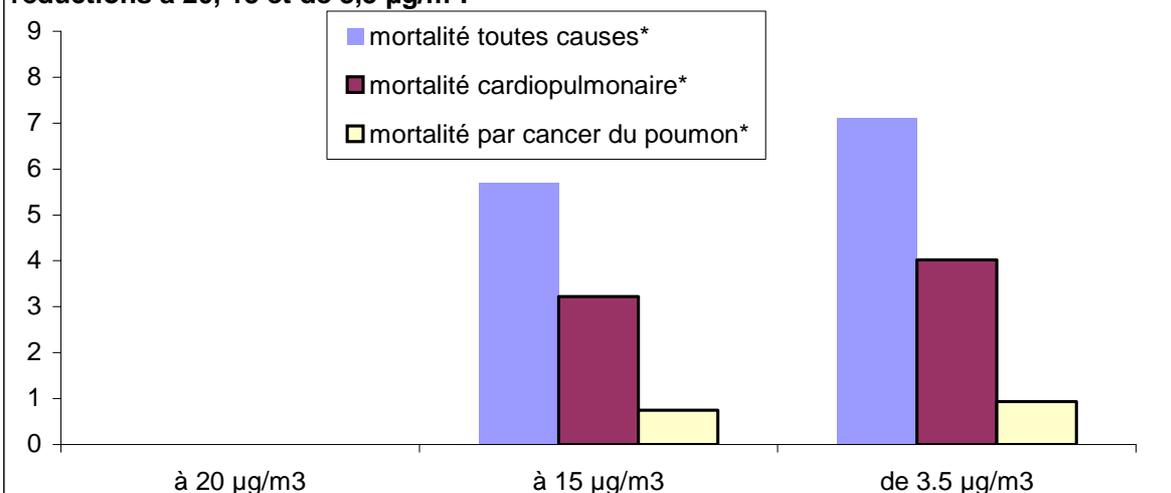
Les effets sur la mortalité cardio-pulmonaire attribuable à la pollution atmosphérique sont deux fois supérieurs aux effets sur la mortalité par cancer du poumon. La somme des décès pour causes cardio-pulmonaire et cancer du poumon est égale à 70 % du nombre total de décès (mortalité toutes causes attribuable à la PA).

Années de vie perdues

Nous avons estimé les années de vie perdues attribuables aux effets chroniques des PM_{2,5} en utilisant les données de 2002.

La figure 9 présente les années potentielles de vies perdues pour la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon pour la population âgée de 30 ans et plus de la zone d'étude de Strasbourg. Les données de PM_{2,5} sont de 2002, et celles de mortalité sont de 1999.

Figure 9 : Années potentielles de vie perdues liées à une exposition chronique aux PM_{2,5} et dues aux décès survenus en 2000. Population des 30 ans et plus - Scénarios de réductions à 20, 15 et de 3,5 µg/m³.



* mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

Pour les décès toutes causes, et toutes choses égales par ailleurs, une réduction de 3,5 µg/m³ du niveau de PM_{2,5} en 2000 aurait pu éviter de perdre 32 années de vie pour la totalité des habitants de la ville de Strasbourg âgés de 30 ans et plus (254 585 habitants). Pour la mortalité cardio-pulmonaire, ce chiffre est d'environ 18 années tandis que pour la mortalité par cancer du poumon, il est de plus de 4 années.

Le tableau 5 présente ces résultats en termes d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation potentielle pour une réduction du niveau des PM_{2,5} (moyenne annuelle) à 15 µg/m³ à Strasbourg.

Age	Espérance de vie	Gain potentiel d'espérance de vie (années)		
		Estimation centrale	Estimation basse	Estimation haute
À la naissance	78,97	0,17	0,04	0,29
À 30 ans	49,92	0,17	0,04	0,29
À 65 ans	18,69	0,13	0,03	0,22

En terme d'espérance de vie, toutes choses égales par ailleurs, si la moyenne annuelle des concentrations en PM_{2,5} (31 µg/m³) étaient réduits à 15 µg/m³, les 50 années d'espérance de vie d'une personne de 30 ans augmenterait de 0,17 année dans l'agglomération de Strasbourg.

Interprétation des résultats

Pour les polluants « classiques », l'estimation des expositions est désormais correctement réalisée, à quelques problèmes de mesure près. Quant aux données sanitaires, la qualité

des indicateurs d'admissions a été améliorée par une révision de la sélection des codes CIM, codes utilisés pour le choix des pathologies étudiées.

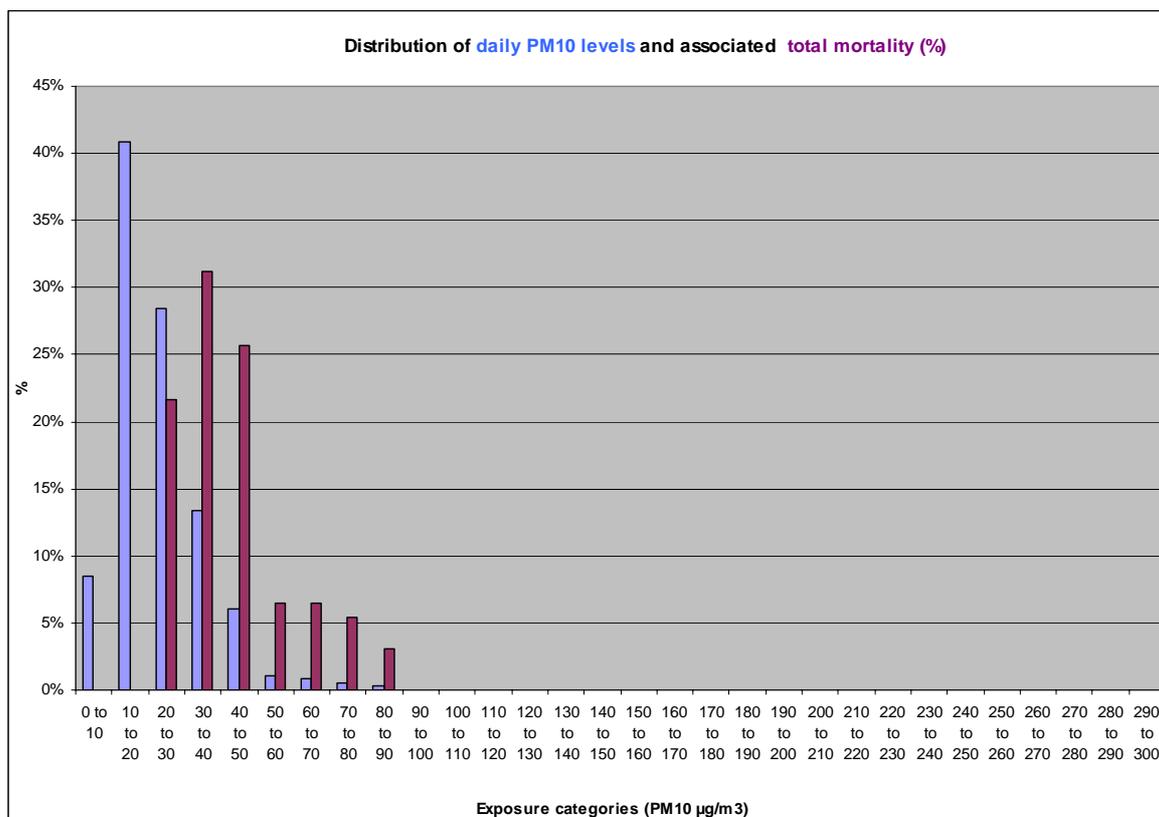
Concernant les PM₁₀, les effets à long terme sur la mortalité totale sont trois fois plus importants que les effets cumulés pour 40 jours d'exposition, ces derniers étant eux-mêmes 2 fois supérieurs aux effets à court terme (exposition 0-1 jours). Pour la mortalité respiratoire, les effets d'une exposition cumulée sont deux fois plus important que ceux d'une exposition aiguë mais pour la mortalité pour causes cardiovasculaires la différence est plus faible.

Pour les PM_{2,5}, les effets sur la mortalité cardio-pulmonaire correspondent au double de ceux sur la mortalité par cancer du poumon. Pour la mortalité toutes causes, pour pathologies cardio-pulmonaires et par cancer du poumon, une réduction des PM_{2,5} de 3,5 µg/m³ pourrait sauver, respectivement, 32, 18 et 4 années de vie pour la première année de simulation et pour la totalité des habitants de la ville de Strasbourg âgés de 30 ans et plus.

En terme d'espérance de vie, si la moyenne annuelle des concentrations en PM_{2,5} (31 µg/m³) étaient réduits à 15 µg/m³, les 50 années d'espérance de vie d'une personne de 30 ans augmenteraient de 0,17 année dans l'agglomération de Strasbourg.

Comme on peut le voir sur la figure suivante, et s'il est encore nécessaire d'insister, les pics de pollution atmosphérique, qui ne sont présents que quelques jours par an, ont un impact plus faible, en comparaison à l'exposition journalière à une pollution certes plus faible mais sur une plus longue période.

Figure 10 : distribution journalière des niveaux de PM₁₀ et pourcentages de cas attribuables associés à court terme



Commentaires généraux

Le Conseil général et le Conseil régional ont demandé la création d'une banque de données bibliographiques sur les effets de la qualité de l'air (liste des études conduites sur les effets sur la qualité de l'air, inventaire des études en cours, des groupes de travail et des relais d'information) afin d'être mieux informés et d'être aidés dans leur prises de décision.

L'association agréée de surveillance de la qualité de l'air (Aasqa) locale, l'Aspa, souhaite que l'on favorise la mise en relation d'analyses spatiales et de prédictions des immissions avec l'impact sur la santé et l'environnement. Elle encourage à réaliser des études évaluant l'exposition individuelle moyenne (budget espace-temps). Les médecins (ce sont, pour la plupart, des pneumologues) souhaitent disposer d'un système de surveillance sanitaire et d'une veille scientifique relatifs aux polluants biologiques et chimiques de l'air intérieur. Ils sont favorables à toute initiative qui apporterait des connaissances sur les effets sanitaires à long terme de la pollution atmosphérique. La direction régionale des affaires sanitaires et sociales demande à être formée sur les évaluations d'impact sanitaire. La direction régionale de l'industrie, de la recherche et de l'environnement regrette l'absence d'échelle de risques qui permettrait de comparer l'importance des risques environnementaux avec celle des risques encourus dans la vie de tous les jours.

L'information de tous les partenaires (décideurs, Aasqa, comité technique local du Psas-9, etc.) a été réalisé lors de différentes réunions comme les réunions de suivi du PRQA ou du Plan de protection de l'atmosphère et les conférences organisées par l'Association de prévention de la pollution atmosphérique (APPA).

Il semble que, même s'ils font des demandes d'informations produites par le pôle strasbourgeois d'Apheis (ou par d'autres structures comme les hôpitaux, par exemple), les décideurs ne savent pas comment les utiliser dans leurs politiques d'action. Ils considèrent les rapports techniques sur l'air et la santé comme trop complexes et volumineux pour qu'ils puissent les utiliser. Aussi, ils ne peuvent prendre en compte systématiquement les problèmes de santé et d'environnement dans leurs décisions.

L'information est le plus souvent diffusée de façon ponctuelle lorsque des résultats scientifiques sont présentés par des communiqués ou des conférences de presse. En dehors de ces événements, les rapports comme le PRQA présentent les résultats des études épidémiologiques ou cliniques.

Conclusions

Le programme de surveillance Apheis est utile pour les choix de politique de réduction de la pollution atmosphérique à Strasbourg et complète les résultats du programme Psas-9 qui a permis de réaliser des évaluations d'impact sanitaire pour une exposition globale (*i.e.* PM,

O₃, NO₂, SO₂). L'intérêt du programme Apehis réside dans la dimension européenne de l'évaluation. En effet, ce programme est essentiel pour comparer les différents impacts sanitaires de la pollution atmosphérique en Europe. Néanmoins, l'avantage du Psas-9 réside dans ce que les risques sont estimés par et pour les villes françaises. Il pourrait être intéressant de trouver une articulation entre les deux approches. De plus, il est important d'apporter à la population et aux décideurs une information claire. Pour cela, il est nécessaire de développer des outils appropriés.

APHEIS Air Pollution and Health: A European Information System

Situation à Toulouse

Rapport de la troisième phase

2002-2003

Sylvie Cassadou

Juillet 2004

Résumé des principaux résultats

A Toulouse, les moyennes journalières et annuelles de particules respectent les valeurs limites européennes prévues pour 2005. Ces moyennes restent en revanche supérieures aux valeurs limites prévues pour 2010. Les sources d'émission majoritaires restent celles liées aux transports.

Concernant les impacts à long terme, une réduction à $15 \mu\text{g}/\text{m}^3$ des niveaux de particules $\text{PM}_{2,5}$ observés éviterait potentiellement 60 décès par an pour l'agglomération toulousaine. Cette estimation peut se traduire par un gain potentiel de 28 années d'espérance de vie répartie sur l'ensemble de la population.

Concernant les impacts à court terme, une réduction de tous les niveaux journaliers des particules de PM_{10} à $20 \mu\text{g}/\text{m}^3$ aurait évité potentiellement pour l'année 2000, 15 décès et 39 hospitalisations pour pathologie respiratoire.

Contexte

Toulouse est située dans une plaine influencée par un climat de type océanique. La ville reçoit principalement un vent d'ouest doux et humide mais également le vent d'Autan plus sec, plus chaud et venant du Sud-Est. La plupart des pluies viennent de l'océan atlantique : 650 mm d'eau et 715 heures de pluie par an en moyenne. Les températures minimales et maximales sont en moyenne de, respectivement, 9,6°C et 18,7°C. L'humidité relative moyenne en pourcentage est de 53,3%.

La zone d'étude a été définie selon des critères d'homogénéité de l'exposition de la population à la pollution atmosphérique. Elle comprend 62 communes, soit 690 162 habitants (Recensement 1999) dont 13,5% étaient âgés de 65 ans et plus. Cette zone s'étend sur 635 km². La densité de sa population est faible comparée à celle d'autres agglomérations françaises et européennes. Elle se caractérise également par un fort trafic entre la banlieue et le centre ville, principalement en véhicule particulier. En 1996, parmi les 2,5 millions de trajets, 63% ont été effectués en voiture particulière. Néanmoins entre 1990 et 1996, ce pourcentage semble s'être stabilisé, probablement en raison de la mise en route du métro en 1993.

A Toulouse, comme dans les autres agglomérations françaises de plus de 250 000 habitants, la gestion de la qualité de l'air est aujourd'hui l'objet du Plan de protection de l'atmosphère (PPA) dont le projet a été récemment publié. Ce plan complète le Plan régional de la qualité de l'air dont la première version a été initiée en 1999 dans le cadre de la Loi sur l'air et l'utilisation rationnelle de l'énergie (LAURE) publiée en 1997.

Le PPA a pour but la mise en place des mesures nécessaires pour le respect des valeurs réglementaires européennes en matière de concentrations atmosphériques des polluants tels que SO₂, NO₂, PM_{2,5}, CO, Pb, HCl, O₃, C₆H₆. Si nécessaire, la réglementation locale peut néanmoins viser des valeurs inférieures à celles de la réglementation et des polluants autres que ceux cités précédemment.

A Toulouse, les résultats d'Apheis3 complètent ceux du programme Psas-9 (Programme de surveillance Air & Santé sur 9 villes françaises) en ce qui concerne les impacts sanitaires de la pollution par les particules.

Sources d'émissions

La partie toulousaine du précédent rapport Apehis (2002), présentait la part relative des différentes sources à partir d'un inventaire d'émissions publié en 1997 et basé sur des données de 1994 (www.apheis.org).

Plus récemment, l'Observatoire régional de l'air en Midi-Pyrénées (ORAMIP) a actualisé ce cadastre à partir de données de 1999 et 2000. Le Tableau 1 présente l'évolution de la part relative des différentes sources d'émissions entre les deux périodes.

Tableau 1. Principales sources d'émission (en tonnes/an sauf pour CO₂ en kilotonnes/an)

	SO ₂		NO _x		COV		CO		NH ₃		CO ₂	
	1994	1999/2000	1994	1999/2000	1994	1999/2000	1994	1999/2000	1994	1999/2000	1994	1999/2000
Industrie,	26,5 %	37,7%	15,7%	17,5%	29,7%	33,1%	1,1%	1,2%	98,8%	100%	29,1%	21,7%
énergie et gestion des déchets	836	1026	1617	2102	5656	5516	827	756			896	884
Résidentiel,	31,3%	43,4%	7,7%	8,4%	20,2%	31,9%	20,5%	32,3%	0%	0%	36%	34,9%
commerce	987	1180	793	1009	3847	5310	15443	21208			1108	1420
Transport	42,2%	18,9%	76,6%	74,1%	49,6%	35%	78,3%	67%	1,2%		34,9%	43,4%
(routier, aérien, ferroviaire)	1331	514	7889	8892	9446	5831	58984	43700			1074	1769
Emissions totales	3154	2720	10299	12003	19044	16658	75332	66663	1610	1502	3078	4073

Les particules ne sont pas présentées dans ce tableau mais on peut observer que pour tous les polluants pris en compte, le trafic reste la principale source d'émissions (excepté pour le SO₂) que ce soit dans l'inventaire de 1994 ou dans celui de 2000.

Données d'exposition

Concernant la pollution particulaire, il faut préciser ici que les fumées noires n'ont jamais été mesurées à Toulouse.

Les particules PM_{10} étaient mesurées à Toulouse depuis 1999 par 3 stations : 2 stations urbaines de fond (Jacquier et Berthelot) et une station de proximité automobile (CCIT). La station Jacquier, détruite lors de l'explosion de l'usine AZF en septembre 2001, a été remplacée en janvier 2003. Parallèlement, une troisième station urbaine de fond (Mazades) a été mise en place.

Les particules plus fines $PM_{2,5}$ étaient mesurées depuis août 1999 par 2 stations : une station urbaine de fond (Berthelot) et une station de proximité automobile (CCIT).

Dans Apehis 3, les données des 2 stations, Berthelot et CCIT, ont été utilisées. La bonne corrélation des mesures enregistrées par ces deux stations a été vérifiée. Leurs niveaux moyens étaient également comparables.

Les PM_{10} sont mesurés à Toulouse, comme ailleurs en France, par méthode TEOM (Tapered Element Oscillating Microbalance). Pour les calculs d'impact sanitaire à long terme, nous avons appliqué deux facteurs de correction à ces mesures dans un souci de cohérence avec les méthodes de mesures rapportées dans la littérature pour ce type d'étude épidémiologique (méthode gravimétrique). Ainsi, après consultation des professionnels de l'Ecole des Mines de Douai (laboratoire de référence), ces 2 facteurs étaient les suivants pour Toulouse :

- En hiver (niveaux de PM élevés) : 1,2
- En été (niveaux de PM modérés) : 1

L'estimation de ces facteurs était basée sur des campagnes locales de mesures comparatives entre les deux méthodes, gravimétrique et TEOM respectivement.

Par ailleurs, un facteur local de conversion des concentrations de PM_{10} en $PM_{2,5}$ a été localement établi à partir de mesures en parallèle sur les mêmes stations. Ce facteur de conversion était de 0,65. Une analyse de sensibilité a été réalisée sur les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire (EIS) entre les PM_{10} , les $PM_{2,5}$ directement mesurées et les $PM_{2,5}$ converties à partir des PM_{10} .

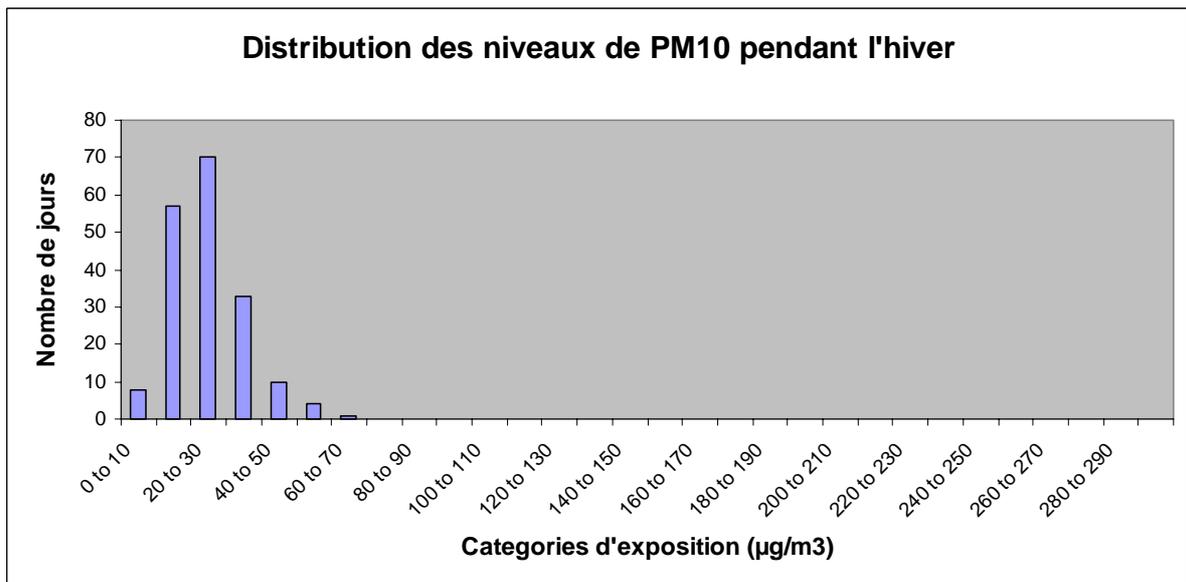
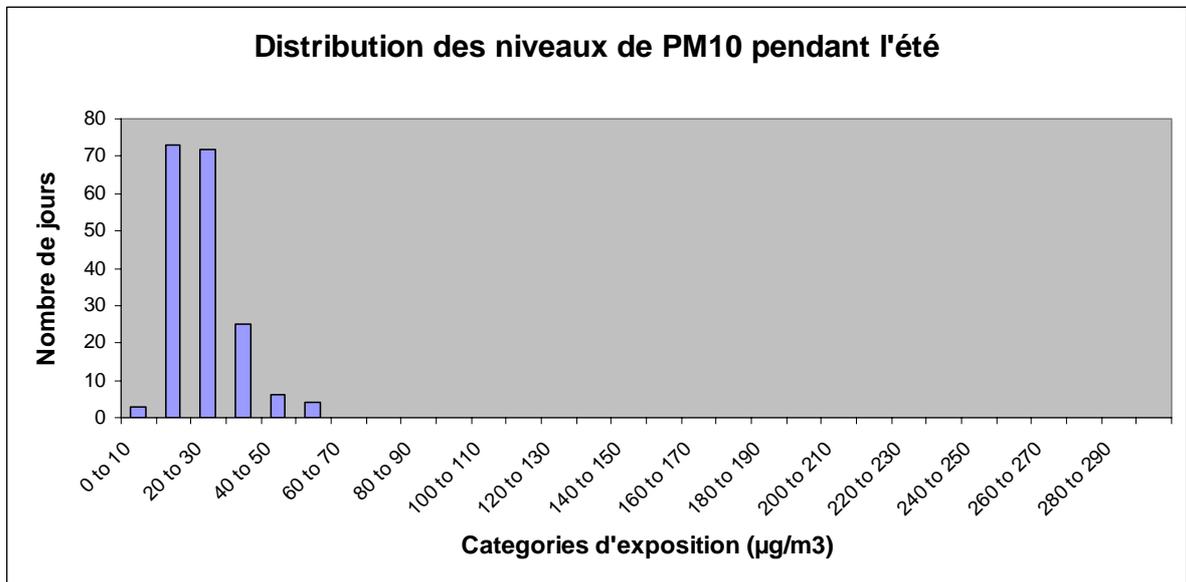
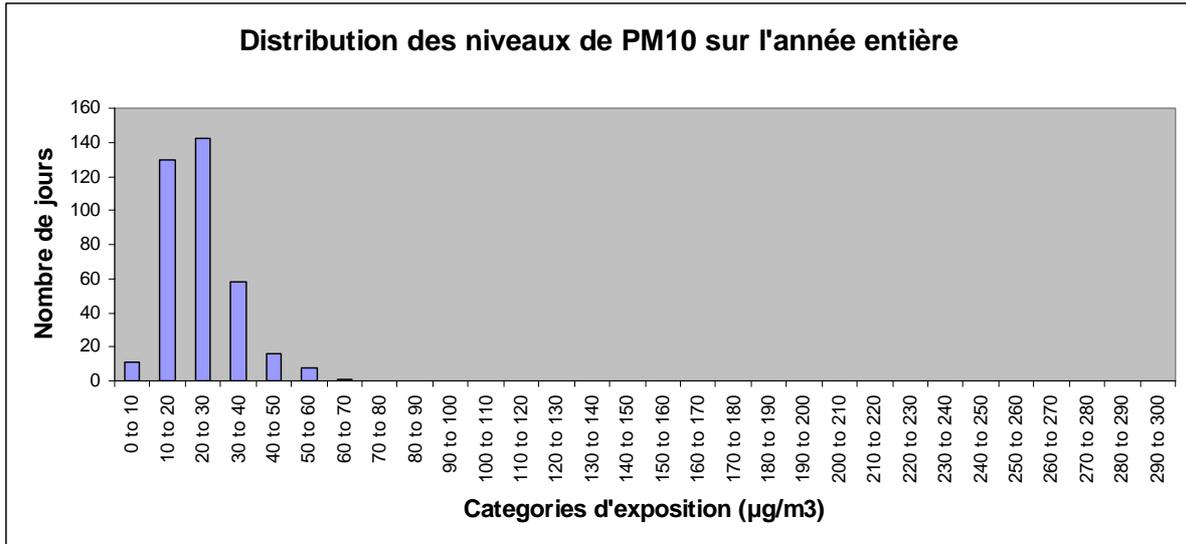
Pour Apehis 3, les données d'exposition avaient les caractéristiques suivantes :

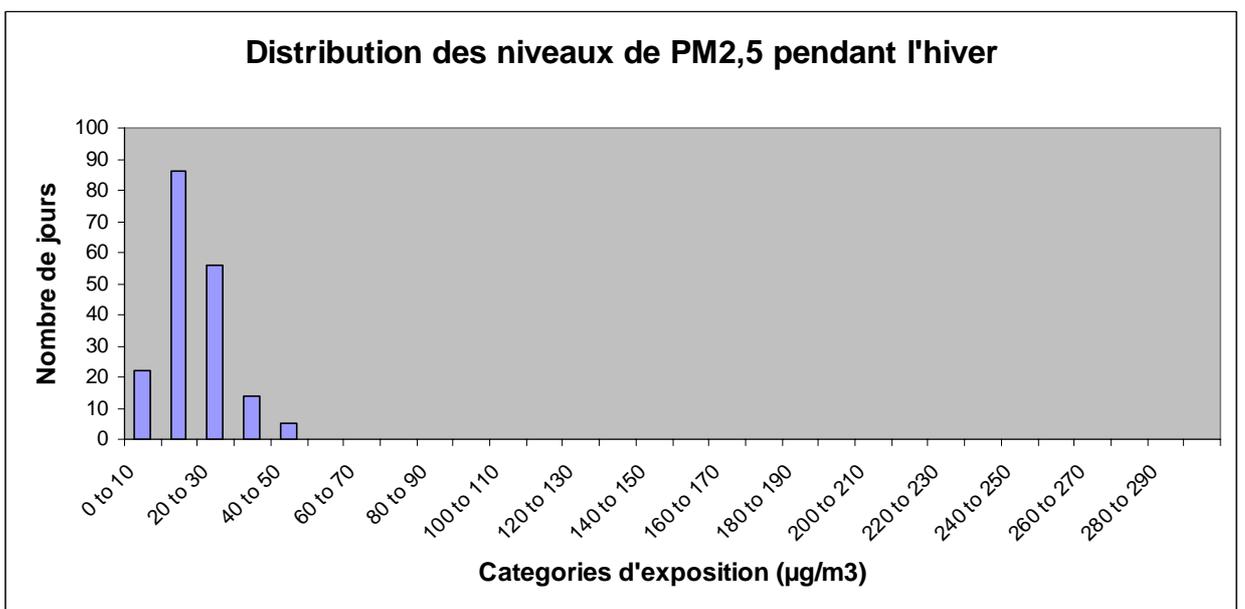
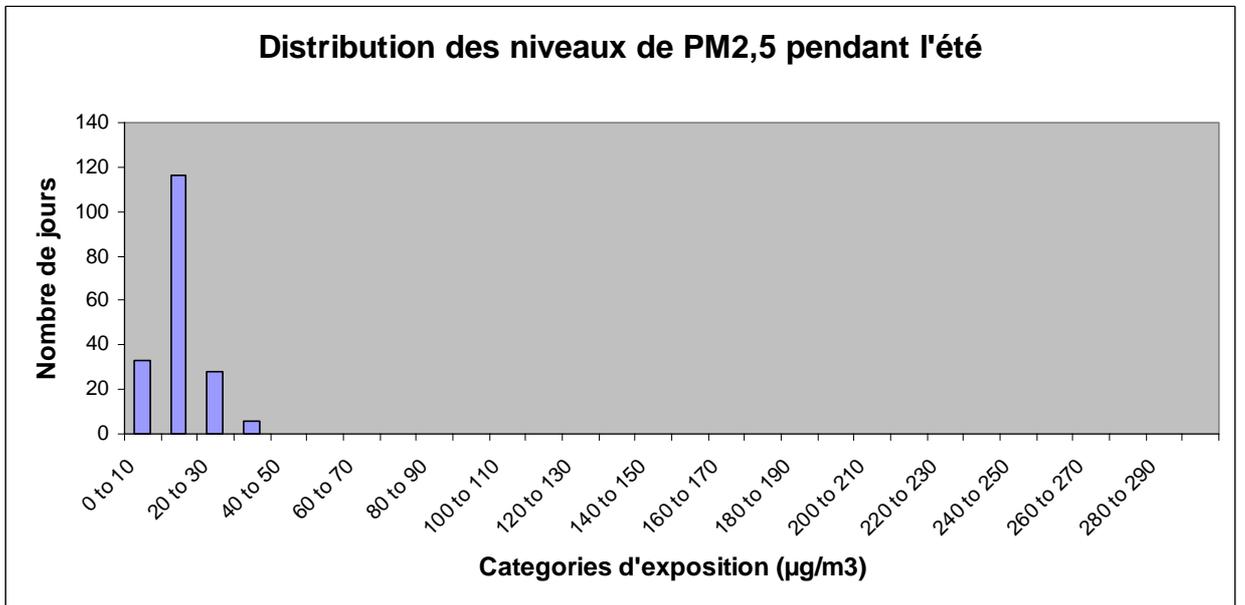
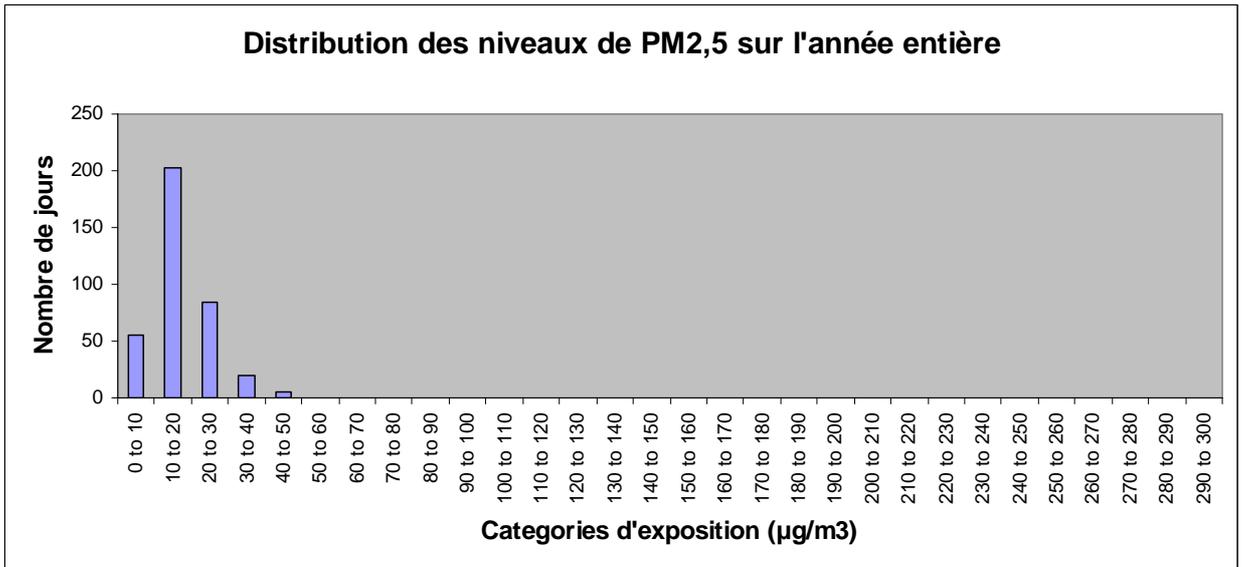
- Les mesures utilisées étaient celles de l'année 2000
- Les concentrations moyennes journalières (écart-type) de PM_{10} et de $PM_{2,5}$ (mesures directes) étaient respectivement de 24,0 (10,0) $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 15,7 (7,1) $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Percentile 5 et percentile 95 : les niveaux de PM_{10} atteints les 18 jours de l'année les moins pollués (P5) et les plus pollués (P95) étaient respectivement de 11 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ et de 44 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les $PM_{2,5}$, ces niveaux étaient respectivement de 7 et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
- Les nombres de jours dépassant les valeurs limites réglementaires sont présentées dans le tableau 2

Tableau 2. Nombres de jours dépassant les valeurs limites européennes

	PM_{10}	$PM_{2,5}$
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	14 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	225	185
Nombre de jours où les niveaux ont dépassé	50 $\mu\text{g}/\text{m}^3$	35 $\mu\text{g}/\text{m}^3$
	9	6

Les 6 figures suivantes présentent les distributions des niveaux de PM_{10} et de $PM_{2,5}$ sur l'année entière, l'été et l'hiver de l'année 2000 : les profils des distributions ne sont pas très différents entre l'été et l'hiver mais les niveaux les plus élevés sont mesurés en hiver que ce soit pour les PM_{10} ou les $PM_{2,5}$. Pour les PM_{10} , la majorité des moyennes journalières se situent entre 10 et 30 $\mu\text{g}/\text{m}^3$. Pour les $PM_{2,5}$, la plupart des moyennes journalières sont comprises entre 10 et 20 $\mu\text{g}/\text{m}^3$.





Dans le cadre du Plan de déplacements urbains et des choix réalisés pour la gestion du transport local, l'ORAMIP a étudié les évolutions de la qualité de l'air urbain (PM₁₀, NO₂). Les résultats de ces modélisations montraient une augmentation du trafic à l'horizon 2008 mais une diminution de la pollution de fond liée à l'amélioration des performances automobiles en la matière.

Données sanitaires

- Les données de mortalité ont été recueillies auprès du service Cepi DC de l'Inserm qui enregistre l'ensemble des décès et leurs causes. Les données les plus récentes au moment de l'étude étaient les données de 1999. Les causes de décès étaient codées selon la Classification internationale des maladies – 9^{ème} révision (CIM-9)
- Les données d'admissions hospitalières concernaient les établissements publics et privés. Elles ont été recueillies pour l'année 2000 (la plus récente au moment de l'étude) auprès de l'Agence technique de l'information hospitalière (ATIH)
- Des contrôles qualité sont effectués par ces services sur les données recueillies
- Le taux annuel de mortalité standardisé sur l'âge (mortalité toutes causes) était de : 673 pour 100 000 habitants. La population européenne était la population de référence¹¹ pour ce calcul

Le tableau 3 présente, selon l'indicateur sanitaire, le nombre moyen journalier ou le nombre total annuel et les taux pour 100 000 habitants correspondants.

Tableau 3. Nombre moyen journalier, nombre annuel et taux correspondants pour 100 000 (décès - 1999 et admissions hospitalières-2000).

Indicateur sanitaire	Codes CIM9	Codes CIM10	Moyenne journalière (1) Nombre total annuel (2)	Taux pour 100 000 journalier (1) ou annuel (2)
Impact sanitaire à court terme				
Mortalité toutes causes (hors causes externes)	< 800	A00-R99	11,74(1)	1,7 (1)
Mortalité cardiovasculaire	390-459	I00-I99	3,82(1)	0,55(1)
Mortalité respiratoire	460-519	J00-J99	0,88(1)	0,13(1)
Hospitalisations cardiaques	390-429	I00-I52	17,54(1)	2,54(1)
Hospitalisations respiratoires	460-519	J00-J99	15,56(1)	2,25(1)
Impact sanitaire à long terme				
Mortalité toutes causes	0-999	A00-Y98	4552(2)	657(2)
Mortalité cardio-pulmonaire	401-440	I10-I70	1574(2)	226(2)
Mortalité par cancer du poumon	162	C33-C34	232(2)	657(2)

Concernant l'évolution de la population toulousaine, le nombre de naissances ne devrait pas évoluer de façon importante dans les années qui viennent. En revanche, l'Insee note depuis plusieurs années une augmentation du flux migratoire vers l'agglomération en provenance d'autres régions françaises.

¹¹ UNITED NATIONS. Population Division Department of Economic and Social Affairs. World Population Prospects: The 2000 Revision.

Evaluation de l'impact sanitaire : méthode

Différents scénarios théoriques d'exposition aux particules ont été construits pour illustrer leurs répercussions sur les impacts sanitaires à court et à long terme. A Toulouse, ces scénarios ont été construits pour les PM_{10} et les $PM_{2,5}$ (les fumées noires n'étant pas mesurées). Concernant l'interprétation des résultats : en aucun cas les estimations du nombre de cas attribuables à ces deux polluants ne doivent être ajoutées car ils représentent les effets d'une même pollution.

Différents outils de calculs et différentes relations exposition / risque (Risque Relatif – RR) ont été utilisés pour estimer les impacts sanitaires selon le polluant considéré, l'indicateur sanitaire étudié et la ville concernée (participation antérieure ou non au programme de recherche Apeha). Toulouse n'ayant pas participé antérieurement à ce programme, les analyses complémentaires n'ont pas pu y être conduites. Par ailleurs, les estimations relatives aux fumées noires n'ont pas été conduites à Toulouse, ce polluant n'y étant pas mesuré.

Le tableau 4 présente les paramètres des différentes EIS réalisées dans le cadre d'Apheis3.

Tableau 4 : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à court terme

<i>Polluant</i>	Indicateur sanitaire	codes CIM9	codes CIM10	Outil de calcul	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes journalières)	Villes concernées
<i>PM₁₀</i>	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,006 (1,004, 1,008)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99		1,009 (1,005, 1,013)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,013 (1,005, 1,021)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,001 (1,000, 1,002)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0114 (1,0062 - 1,0167)		
	460-519						
PM_{2,5}	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		RR convertis à partir des RR PM ₁₀	3 scénarios : Réduction à 35 µ/m ³ Réduction à 14 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99	Feuille de calcul Psas-9			
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99				
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52				
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99				
Fumées noires	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,006 (1,004, 1,009)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les fumées noires
	Mortalité cardiovasculaire tous âges	390-459	I00-I99	Feuille de calcul Psas-9	1,004 (1,002, 1,007)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,006 (0,998, 1,015)		
	Hospit cardiaques tous âges	390-429	I00-I52		1,011 (1,005, 1,018)		
	Hospit respiratoires tous âges	460-519	J00-J99		1,0030 (0,9985-1,0075)		
PM₁₀ (40 jours)*	Mortalité toutes causes tous âges	< 800	A00-Q99		1,01227 (1,0081 - 1,0164)	3 scénarios : Réduction à 50 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité cardiaque tous âges	390-429	I00-I52	Feuille de calcul Psas-9	1,01969 (1,0139 - 1,0255)		
	Mortalité respiratoire tous âges	460-519	J00-J99		1,04206 (1,0109 - 1,0742)		

*40 jours d'exposition sont pris en compte

Tableau 4 (suite) : Scénarios d'exposition et risques relatifs utilisés pour l'évaluation de l'impact sanitaire à long terme

<i>Polluant</i>	<i>Indicateur sanitaire</i>	<i>codes CIM9</i>	<i>codes CIM10</i>	<i>Outil de calcul</i>	RR (Intervalle de confiance 95%) pour une augmentation de 10 µg/m³	Scénarios de réduction de la pollution considérés (moyennes annuelles)	Villes concernées
<i>Nombres de cas attribuables</i>							
<i>PM₁₀</i>	Mortalité totale	< 800	A00-Q99	Feuille de calcul Psas-9	1,043 (1,026-1,061) Etude Trilatérale Apehis 2	3 scénarios : Réduction à 40 µ/m ³ Réduction à 20 µ/m ³ Réduction de 5 µ/m ³	Villes mesurant les PM ₁₀
	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
PM_{2,5}	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	Feuille de calcul Psas-9	1,09 (1,03-1,16)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002		
<i>Années de vie perdues</i>							
PM_{2,5}	Mortalité totale	0-999	A00-T98		1,06 (1,02-1,11)		
	Mortalité cardio-pulmonaire	401-440 et 460-519	I10-I70 et J00-J99	AirQ (OMS)	1,09 (1,03-1,16)	3 scénarios : Réduction à 20 µ/m ³ Réduction à 15 µ/m ³ Réduction de 3,5 µ/m ³	Villes estimant les PM _{2,5} à partir des PM ₁₀ ou les mesurant directement
	Cancer du poumon	162	C33-C34		1,14 (1,04-1,23) Moyenne Pope, 2002		

Par ailleurs, différentes approches ont été utilisées pour la présentation des résultats :

- Pour les Fumées noires, les résultats des impacts à court terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables (non disponible pour Toulouse)
- Pour les PM₁₀, les résultats des impacts à court et long terme ont été exprimés en nombre annuel de décès attribuables
- Pour les PM_{2,5}, les résultats des impacts à long terme ont été exprimés en termes de :
 - Nombre annuel de décès attribuables
 - Nombre d'années d'espérance de vie perdues au début de la simulation

Scénarios d'exposition pour les impacts à court terme

Nous avons estimé les effets à court terme d'une exposition de courte durée aux PM₁₀ sur la mortalité et les admissions hospitalières annuelles pour différents scénarios. Concernant la mortalité, les expositions prises en compte étaient celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille d'une part, celle des 40 jours précédents d'autre part.

Les 3 scénarios d'évolution de l'exposition étaient les suivants :

- réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 50 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (valeurs limites en 2005 et 2010)
 - réduction des niveaux journaliers de PM₁₀ à 20 µg/m³ pour tous les jours où ils avaient dépassé cette valeur (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés)
 - réduction de toutes les valeurs journalières observées de 5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés)

Scénarios d'exposition pour les impacts à long terme

PM₁₀

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM₁₀ sur la mortalité annuelle pour différents scénarios :

- réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 40 µg/m³ (valeur limite 2005 pour les PM₁₀)
 - réduction de la moyenne annuelle des PM₁₀ au niveau de 20 µg/m³ (valeur limite 2010 pour les PM₁₀)
 - réduction de 5 µg/m³ de la moyenne annuelle observée (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés)

PM_{2,5}

Nous avons estimé les effets à long terme d'une exposition chronique aux PM_{2,5} sur la mortalité annuelle dans la population des 30 ans et plus pour différents scénarios :

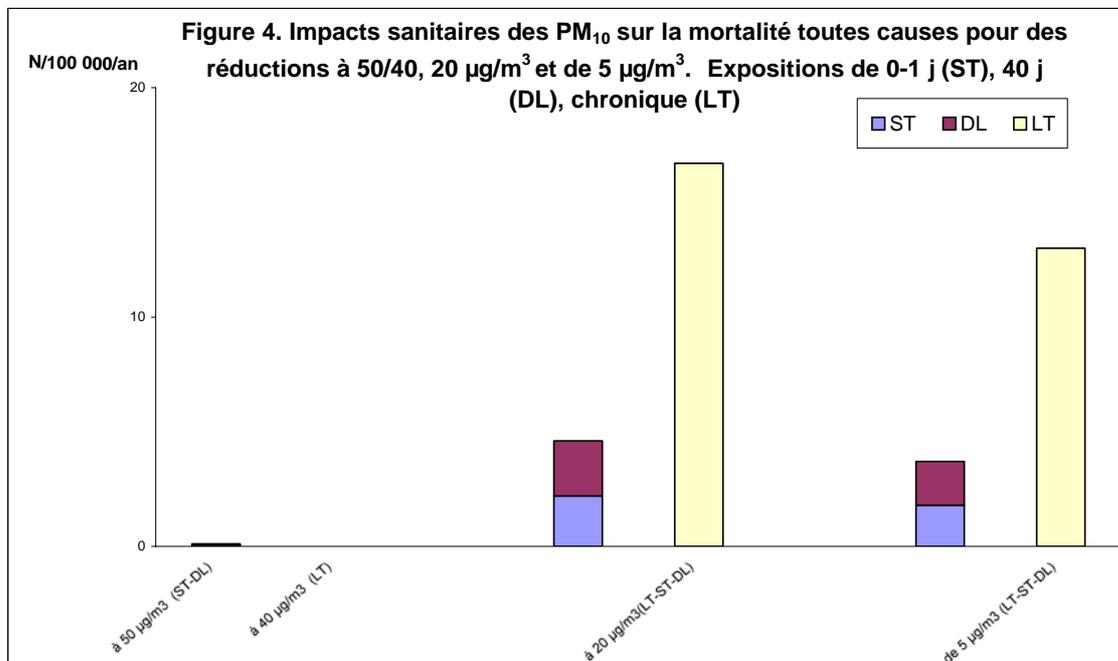
- réduction de la moyenne annuelle au niveau de 20 µg/m³
 - réduction de la moyenne annuelle au niveau de 15 µg/m³
 - réduction de la moyenne annuelle de 3,5 µg/m³ (concerne plus particulièrement les villes avec des niveaux de PM₁₀ déjà modérés)

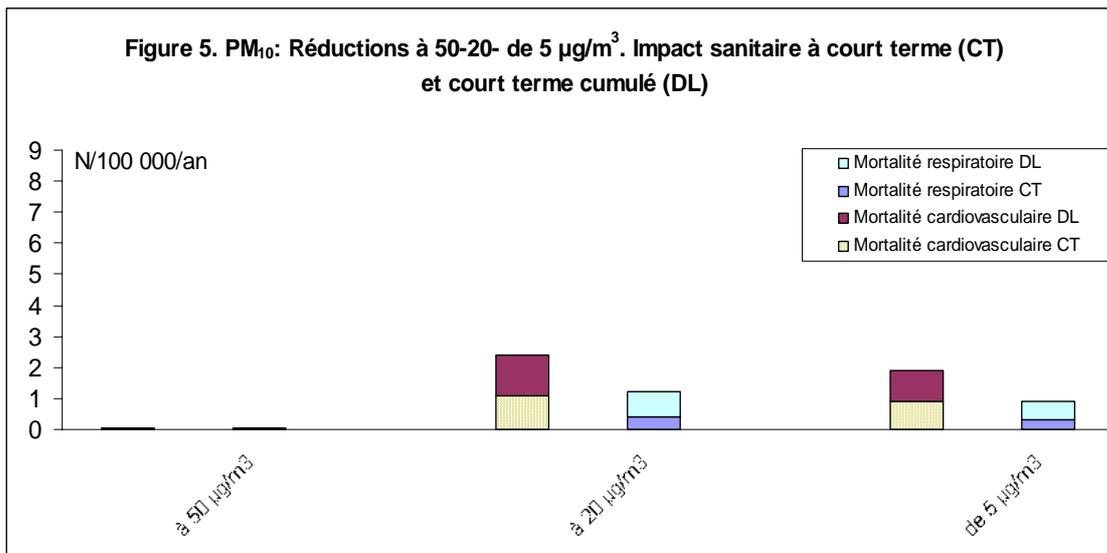
Évaluation de l'impact sanitaire : résultats

PM₁₀

1. Résultats concernant la mortalité

Les graphes suivants illustrent l'impact sanitaire de l'exposition aux PM₁₀ sur la mortalité pour les différentes durées d'exposition considérées : celle du jour de l'événement sanitaire et de la veille (ST) , celle des 40 jours précédents l'événement sanitaire (DL) et une exposition chronique (LT). Les données de PM₁₀ sont celles de l'année 2000, les données de mortalité sont celles de 1999.



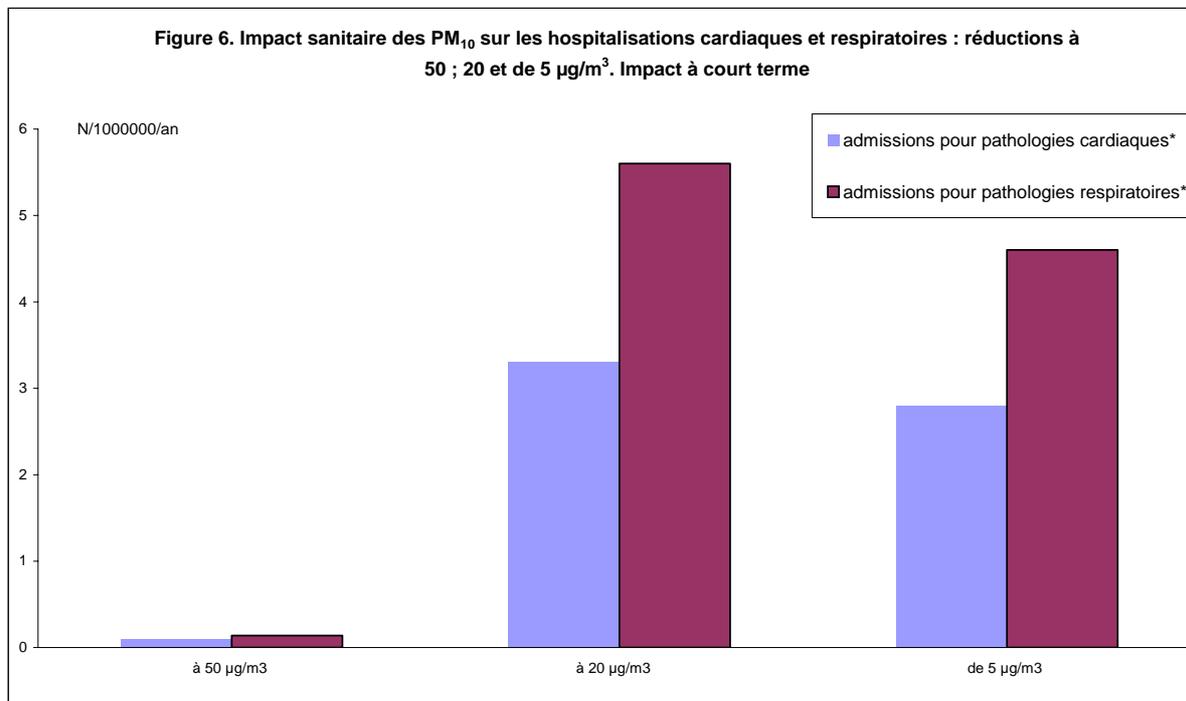


Tout d'abord, ces graphes montrent que le premier scénario - réduction de toutes les valeurs journalières à 50 µg/m³ - n'a qu'un impact sanitaire négligeable à Toulouse en raison de niveaux observés déjà modérés. Ensuite, pour les deux autres scénarios, ces graphes montrent que l'impact sanitaire est d'autant plus important que la durée d'exposition prise en compte est longue : l'impact d'une exposition chronique est plus important que l'impact de 40 jours d'exposition, lui même plus important que l'impact à très court terme.

Si les moyennes journalières de PM₁₀ étaient toutes inférieures à 20 µg/m³, 15 décès auraient potentiellement été évités pour l'année 2000 (impact court terme). Si la moyenne annuelle avait été inférieure à 20 µg/m³, 115 seraient potentiellement évités à long terme sur un an (impact à long terme).

2. Résultats concernant les admissions hospitalières

La figure 6 présente les impacts à court terme des PM₁₀ sur les hospitalisations pour pathologies cardiaques et respiratoires. Les données de PM₁₀ et d'admissions hospitalières sont celles de l'année 2000.



* Hospitalisations cardiaques (CIM9 390-429) et respiratoires (CIM9 460-519).

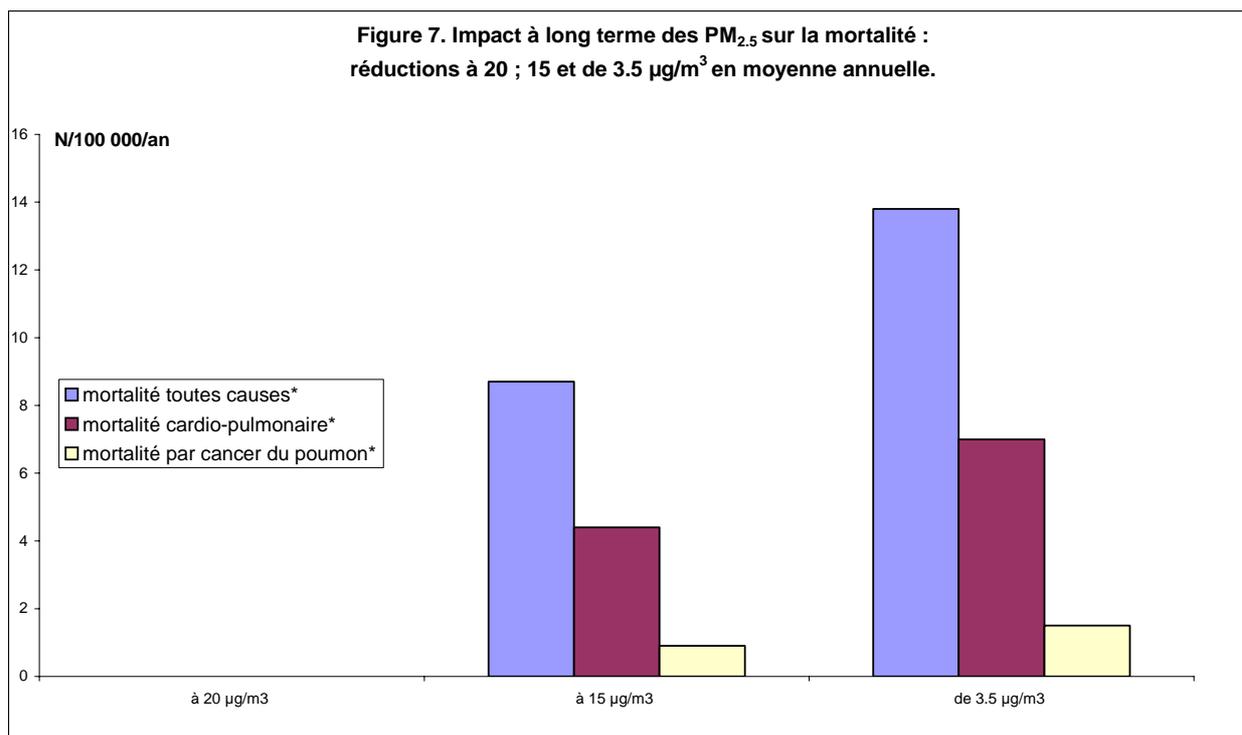
L'impact sanitaire, en nombre de cas, sur les admissions respiratoires est plus important que l'impact sur les admissions cardiaques car ces dernières sont moins fréquentes toutes choses égales par ailleurs. Comme dans les graphes précédents, le premier scénario (réduction de tous les niveaux journaliers à 50 µg/m³) conduit à un impact négligeable en raison de niveaux déjà modérés de PM₁₀.

PM_{2.5}

1. Nombre de cas attribuables

Nous avons également considéré trois scénarios pour estimer les impacts à long terme d'une exposition chronique sur la mortalité annuelle.

Les figures suivantes présentent les taux de décès toutes causes, cardio-pulmonaires et par cancer du poumon attribuables aux PM_{2.5}. Les données de mortalité utilisées sont celles de 1999, les données de PM_{2.5} sont celles de 2000. Ces dernières, pour des raisons de cohérence entre les différentes villes européennes, ont été obtenues par conversion des données PM₁₀, elles-même corrigées pour prendre en compte la technique de mesure (voir paragraphe « Données d'exposition »).

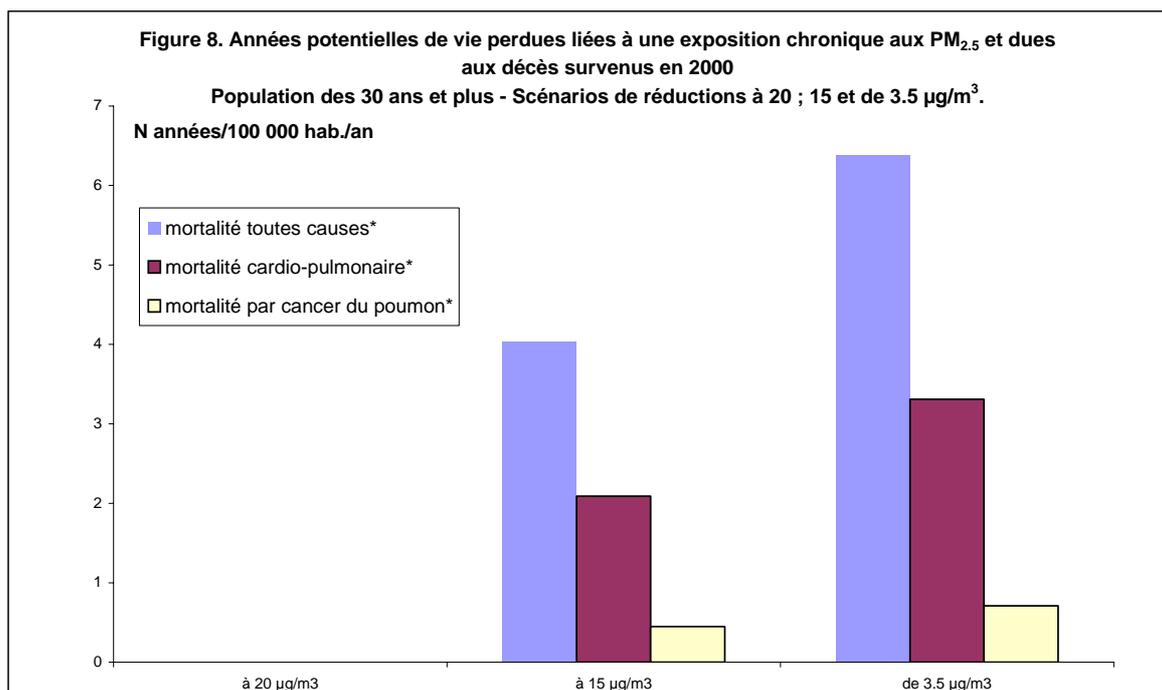


* Mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

La réduction à long terme des moyennes annuelles de PM_{2,5} à 15 µg/m³ ou de 3,5 µg/m³ réduirait potentiellement la mortalité à Toulouse de respectivement 60 et 95 décès annuels. L'impact d'une réduction de 3,5 µg/m³ est plus important que celui d'une réduction à 15 µg/m³ car les niveaux observés sont d'ores et déjà proches de cette dernière valeur à Toulouse : 17,2 µg/m³ (valeur convertie des PM₁₀ après correction des mesures TEOM).

2. Années potentielles de vie perdues

Nous avons estimé les années potentielles de vie perdues attribuables à une exposition chronique aux PM_{2,5}. Les données d'exposition étaient celles de l'année 2000, converties comme précédemment des concentrations de PM₁₀, elles même corrigées pour la méthode de mesure. La figure 8 présente cet impact sanitaire sur la mortalité toutes causes, cardio-pulmonaire et par cancer du poumon chez les 30 ans et plus.



* mortalité toutes causes (CIM9 0-999), cardio-pulmonaire (CIM9 401-440 et 460-519), par cancer du poumon (CIM9 162).

Le graphe ci-dessus doit être interprété de la manière suivante : pour les décès toutes causes, et toutes choses égales par ailleurs, une réduction de 3,5 µg/m³ du niveau de PM_{2,5} en 2000 épargnerait potentiellement 6 années de vie pour 100 000 habitants de 30 ans et plus à Toulouse (ou encore 45 années d'espérance de vie pour la totalité des habitants de 30 ans et plus). Pour la mortalité cardio-pulmonaire, ce chiffre est d'environ 3 années tandis que pour la mortalité par cancer du poumon, il est d'environ 1 année.

Comme dans les résultats en terme de nombre de cas attribuables, ce dernier scénario est le plus efficace en raison des niveaux annuels observés à Toulouse.

Le tableau 5 présente ces résultats en termes d'espérance de vie.

Tableau 5. Espérance de vie et son augmentation potentielle pour une réduction du niveau des PM_{2,5} (moyenne annuelle) à 15 µg/m³ à Toulouse.

Age	Espérance de vie	Gain potentiel en espérance de vie (années)		
		moyenne	Estimation basse	Estimation haute
À la naissance	80,88	0,13	0,03	0,22
À 30 ans	51,73	0,13	0,03	0,22
À 65 ans	19,93	0,10	0,03	0,17

Ce tableau doit être interprété de la façon suivante : toutes choses égales par ailleurs, une réduction du niveau des PM_{2,5} à 15 µg/m³ augmenterait de 0,13 année l'espérance de vie d'une personne de 30 ans à Toulouse, cette espérance de vie étant actuellement de 51,73 années.

Interprétation des résultats

Un certain nombre de commentaires peuvent être faits concernant tout d'abord la fiabilité des résultats :

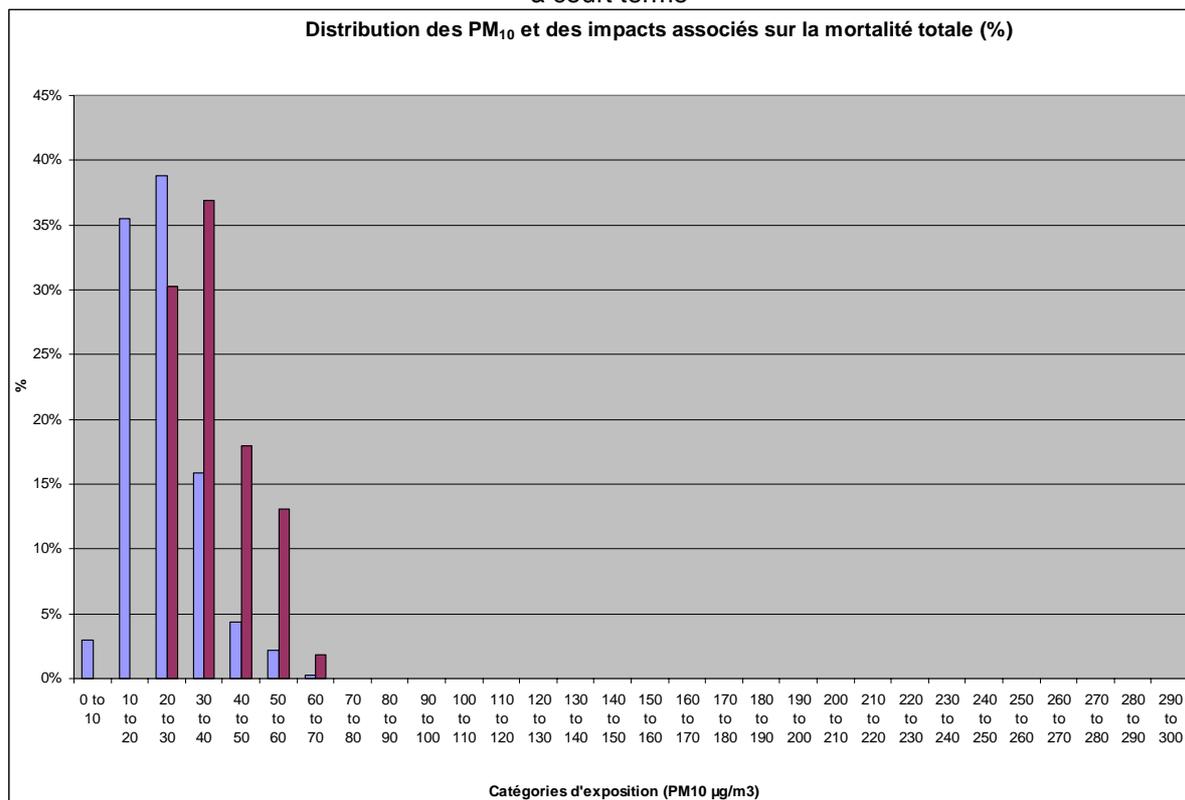
- Estimation de l'exposition : afin de réduire les biais de classification potentiels concernant l'exposition, la zone d'étude a été définie sur des critères d'homogénéité de la pollution atmosphérique ambiante. Tout d'abord, cette zone ne présente pas de rupture d'urbanisation. Ensuite, le lieu de travail de la majorité de la population active est situé dans cette même zone. Enfin, l'homogénéité des niveaux de pollution observés sur la zone a été contrôlée sur des séries pluri-annuelles de mesures pour les différentes stations de fond : non seulement pour les particules mais également pour d'autres polluants urbains (NO₂)
- Indicateurs sanitaires : la principale lacune des données sanitaires réside dans le fait que les données des services d'urgence ne sont pas disponibles. Ainsi, l'ensemble des admissions en service « traditionnel » a été utilisé pour les calculs, y compris des admissions qui peuvent être programmées pour des bilans de santé et donc non concernées par les effets à court terme de la pollution atmosphérique. Aussi, l'impact sanitaire sur les hospitalisations a-t-il pu être surestimé.

Néanmoins, ces résultats apportent un certain nombre d'enseignements. Ils montrent que, à niveau de pollution égal, l'impact sanitaire augmente avec la durée de l'exposition : l'impact à long terme est plus important que l'impact de 40 jours d'exposition lui-même plus important que l'impact d'une exposition de 2 jours. Ces résultats sont cohérents avec les observations faites lors des épisodes historiques majeurs de pollution (Londres 1952 et d'autres) et avec les résultats des études de suivi à long terme de cohortes de populations.

En terme de gestion de la qualité de l'air, cela peut se traduire de la façon suivante : il est plus efficace au plan sanitaire de réduire au long cours les niveaux de pollution, même de manière modeste, que de supprimer les pics ponctuels de pollution (figure 10)

Cet aspect est également illustré par les résultats en termes d'espérance de vie (PM_{2,5}) : à Toulouse, une réduction mineure de la moyenne annuelle des PM_{2,5} (de 17,2 à 15 µg/m³ – voir tableau 5) permettrait potentiellement un gain d'espérance de vie de 0,13 années soit 50 jours.

Figure 10 : Distribution journalière des niveaux de PM₁₀ et pourcentages de cas attribuables associés à court terme



Conclusions

Ces résultats confirment ceux présentés dans la partie toulousaine du précédent rapport Apehis 2. Des gains sanitaires potentiels peuvent être obtenus par l'amélioration de la qualité de l'air même dans des villes où la pollution atmosphérique est d'ores et déjà modérée comme à Toulouse.

Lorsque les premiers résultats du programme français de surveillance air & santé dans 9 villes françaises (Psas-9) ont été publiés en 1999, en même temps que le PRQA de Midi-Pyrénées, l'attention des décideurs régionaux avait déjà été attirée sur la problématique de santé publique que constitue la pollution atmosphérique urbaine.

Il est encore trop tôt pour évaluer l'impact réel de l'information apportée par les évaluations d'impact sanitaire (Apehis et Psas-9) au Plan de protection de l'atmosphère toulousain où, pour la première fois, ces résultats peuvent être pris en compte dans la gestion de la qualité de l'air. Néanmoins, ces résultats ont été intégrés dans le texte du projet de PPA et de nombreuses discussions ont eu lieu entre les différents partenaires de ce projet et l'épidémiologiste du Psas-9 sur la signification des résultats et leur articulation avec le type de mesures à envisager pour la réduction de la pollution atmosphérique et de ses effets sur la santé.

Il est évident que les épidémiologistes doivent rester attentifs aux demandes et besoins des décideurs pour améliorer et adapter la forme et le contenu de présentation de leurs résultats scientifiques, afin que ces derniers soient les plus utiles possibles à la décision. A titre d'exemple, des outils spécifiques de quantification de l'impact sanitaire seraient aujourd'hui utiles pour les problèmes spécifiques de zones ou populations particulières.

En conclusion, les résultats de l'évaluation de l'impact sanitaire et leur interprétation sont aujourd'hui mieux compris par les partenaires et décideurs locaux. La communication avec la population doit maintenant être développée pour que les aspects individuels des décisions collectives soient bien interprétés.