

Estimation de la surmortalité causée par la pollution atmosphérique au Canada

Stan Judek, Barry Jessiman, Dave Stieb

Division des effets de la pollution de l'air sur la santé, Santé Canada, et
Robert Vet, Service météorologique du Canada, Environnement Canada

30 août 2004

Résumé et résultats

La Division des effets de la pollution de l'air sur la santé (DEPAS) a été chargée d'estimer le nombre annuel de décès en excès causés par la pollution atmosphérique au Canada. Les résultats que nous présentons ici se fondent sur le nombre de décès non accidentels et sur les données du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (NSPA) pour les années 1998 à 2000, ainsi que sur les fonctions concentration-réponse de la mortalité par rapport à la pollution (FCR) provenant d'études épidémiologiques. Ces estimations donnent une idée du nombre de décès qui pourraient être prévenus chaque année si la pollution atmosphérique de sources humaines en Amérique du Nord était éliminée.

L'estimation générale consiste en la somme du nombre estimatif de décès en excès associés à une exposition tant de courte que de longue durée à la pollution atmosphérique. Les méthodes statistiques employées dans les publications autorisent cette addition¹ bien que certains auteurs croient que ces deux paramètres peuvent se chevaucher, c.-à-d. ne pas s'additionner². L'unité géographique était la division de recensement (DR). L'attribution de doses annuelles de polluants à une DR avec un certain niveau de confiance pour les quatre gaz et les matières particulaires fines (PM_{2,5}) nous a ensuite amenés à estimer la surmortalité dans une population de 8,9 millions de Canadiens, disséminée dans huit DR et tirée de la population totale de 28,7 millions de Canadiens dans le recensement de 1996.

Le nombre annuel de décès en excès associés à une exposition de courte durée a été estimé (arrondi à la centaine la plus proche) à $1\ 800 \pm 700$. Le nombre annuel de décès en excès associés à une exposition de longue durée a été estimé à $4\ 200 \pm 2\ 000$, bien qu'il faille peut-être attendre cinq années ou plus après avoir réduit les taux de pollution atmosphérique pour réussir pleinement à prévenir ces décès. Ces intervalles de variation reflètent les incertitudes correspondantes dans les FCR utilisées, chaque intervalle indiquant grosso modo un intervalle de confiance à 95 %. L'ajout de ces valeurs donne une estimation totale du nombre de décès en excès de $5\ 900 \pm 2\ 100$. Il s'agit d'une estimation prudente, car environ le tiers de la population canadienne, principalement des résidents des grandes régions urbaines, est inclus dans cette analyse du scénario de référence.

Un document présentant les résultats d'une analyse de sensibilité pour le scénario de référence suivra.

Justification

Une estimation initiale de 5 000 décès prématurés dans 11 grandes villes canadiennes a été produite en 1999 par Santé Canada. Cette estimation n'incluait que le volet exposition de courte durée et a été extrapolée, ce qui a donné une estimation de 16 000 décès prématurés pour l'ensemble de la population canadienne. Cette extrapolation est contestable du fait que l'exposition à la pollution atmosphérique est généralement plus faible dans les autres régions que les 11 grandes villes de départ sur lesquelles était basée l'estimation de 5 000 décès prématurés.

Cette estimation antérieure se fondait sur les fonctions concentration-réponse calculées à l'aide de modèles additifs généralisés (MAG) utilisés par les auteurs dans leur méthodologie statistique, approche privilégiée à l'époque pour l'analyse des séries temporelles. Depuis, on a découvert des failles sur le plan statistique et numérique dans cette méthodologie appliquée par des chercheurs de Santé Canada, de l'Université d'Ottawa et de l'Université John Hopkins³. Ces failles ont pour effet de surestimer l'ampleur des paramètres de régression, tout en sous-estimant les erreurs-types correspondantes⁴.

Il convenait donc de mettre à jour cette estimation en utilisant les fonctions concentration-réponse pour une exposition de courte durée sans employer la méthode du MAG et en incluant un volet exposition de longue durée.

Données d'entrée

Unités géographiques

Le recensement de 1996 a établi 282 divisions de recensement, chacune étant identifiée par une série de coordonnées de latitude et de longitude qui définissaient leurs frontières. Tous les sites du Réseau NSPA qui ont été répertoriés à l'intérieur de ces frontières ont été représentés sur la carte de la DR; leurs données ont permis de déterminer les doses annuelles pour la DR. Les données du recensement de 1996 plutôt que du recensement plus récent de 2001 ont été utilisées parce qu'on disposait de données sur les frontières au moment de l'analyse et on a présumé que les divisions de recensement n'avaient pas changé de façon notable les limites géographiques au cours des années 1998 à 2000 jusqu'au recensement suivant.

Nombre de décès

Nous avons additionné le nombre de décès non accidentels (code <800 de la CIM-9 ou en excluant les accidents ou les suicides) selon la subdivision de recensement (SDR) et l'année pour déterminer le nombre de décès par DR pour les années 1998, 1999 et 2000.

Polluants

Les données quotidiennes sur 24 heures concernant le monoxyde de carbone (CO), le dioxyde d'azote (NO₂), l'anhydride sulfureux (SO₂), les données quotidiennes sur une heure concernant l'ozone (O₃) et les données sur les matières particulaires fines (PM_{2.5}) mesurées par un échantillonneur dichotomique tous les six jours pendant 24 heures pour des sites cartographiés et des journées de mesure en 1998 et 2000 ont été utilisées pour estimer les concentrations annuelles dans une DR. Pour chaque jour durant une année donnée, nous avons établi la moyenne des doses disponibles dans les sites cartographiés; une série de valeurs quotidiennes sur une période d'un an a ainsi été calculée pour une DR. Comme la division de nombres entiers est plus simple, 360 (plutôt que 365) jours de données dans une année étaient attendus pour les gaz et 60 jours de données dans une année pour les MP_{2.5}. Cela se traduisait, respectivement, par 90 et 15 jours de données attendues par trimestre. Une concentration annuelle a été déterminée pour une DR lorsqu'il y avait au moins 50 % du nombre prévu de jours de données dans chaque trimestre; cela s'apparente aux critères utilisés dans une des études épidémiologiques⁵. Dans ce cas, la moyenne des quatre moyennes trimestrielles est devenue la concentration annuelle attribuée à la DR. Il s'agissait des concentrations annuelles générales de polluants, sans correction pour tenir compte des niveaux de fond (voir prochaine section).

Les distances par rapport au site de pollution le plus proche à avoir fourni des données ont été pondérées en fonction de la population au jour le jour et de la population annuelle. Pour les huit DR, les distances par rapport au site le plus proche étaient inférieures à 16 km pour tous les polluants et toutes les données, l'intervalle étant de 14,3 km pour le SO₂ à 15,8 km pour les PM_{2.5}.

Concentrations de fond

Nous avons présumé que chacun des cinq polluants avait une concentration « de fond », qui était définie comme la concentration détectée si toutes les sources anthropiques des polluants et de leurs précurseurs étaient éliminées. En théorie, les concentrations de fond seraient donc causées entièrement par les émissions naturelles des polluants et par l'arrivée de polluants et de leurs précurseurs en provenance de l'extérieur de l'Amérique du Nord (p. ex. des océans et d'autres continents).

Il a été difficile d'établir les concentrations « de fond » estimatives des cinq polluants. Finalement, la méthode a combiné des stratégies qualitatives et quantitatives fondées sur des mesures de la concentration dans des sites de surveillance en milieu rural et éloigné. Nous avons ainsi obtenu des *moyennes mensuelles* pour les concentrations de fond de CO, d'O₃ et de SO₂ (concentrations ambiantes qui varient dans tous les cas selon des cycles saisonniers assez marqués) et des *moyennes annuelles* pour les concentrations de fond de NO₂ et de PM_{2.5} (sur lesquelles on dispose de trop peu de données pour établir l'existence de cycles saisonniers). Nous avons observé qu'il existe probablement des différences d'une région à l'autre dans les concentrations de fond, mais, par souci de simplicité, nous n'avons pas tenu compte de ces différences. Seules les très faibles concentrations dans les sites ruraux et éloignés ont été utilisées pour établir les concentrations de fond au moyen d'une des deux méthodes suivantes :

- 1) les données des sites de mesure en milieu rural et éloigné ont été réparties en secteurs ayant une masse d'air d'origine différente, et nous avons choisi comme concentrations « de fond » les concentrations moyennes mensuelles ou annuelles associées aux secteurs ne comportant aucune source majeure d'origine anthropique, ou
- 2) des données de mesure en milieu rural et éloigné sur un grand nombre d'années ont été représentées graphiquement dans une série temporelle, ce qui a permis une sélection qualitative des valeurs les plus faibles, considérées à leur tour comme les plus représentatives des masses d'air de fond.

Concentrations anthropiques

Pour estimer les *concentrations anthropiques de polluants* (c.-à-d. les concentrations mesurées en milieu urbain moins les concentrations de fond), nous avons calculé la série quotidienne de concentrations en milieu urbain dans une DR (comme dans la section précédente) et soustrait les concentrations de fond moyennes par mois de CO, d'O₃ et de SO₂ qui y sont associées et les concentrations de fond moyennes annuelles de NO₂ et de PM_{2.5}, en convertissant les valeurs négatives en zéro. Nous avons ainsi obtenu une série quotidienne de concentrations anthropiques pour chaque polluant. Nous avons ensuite calculé les concentrations anthropiques annuelles de polluants de la même façon que ci-dessus en utilisant les mêmes critères d'exhaustivité des données décrits dans la section précédente.

Dans un cas (DR=4806 – Calgary), les doses de PM_{2.5} mesurées avec l'échantillonneur dichotomique n'ont pu être établies pour l'une des trois années. Pour résoudre ce problème, nous avons utilisé les données quotidiennes obtenues à l'aide d'un autre instrument de mesure continue des PM_{2.5} appelé TEOM (*Tapered Element Oscillating Microbalance*), pour déterminer les concentrations annuelles, à l'aide des mêmes critères et de l'algorithme décrits pour les gaz. Aucune analyse n'a été effectuée pour estimer les concentrations de fond au TEOM. Le ratio des concentrations à l'échantillonneur dichotomique (générales en anthropiques) par rapport aux concentrations annuelles générales au TEOM a été plutôt calculé pour les deux autres années et appliqué à la dose annuelle obtenue avec le TEOM pour l'année manquante. Cela nous a permis d'estimer les doses annuelles à l'échantillonneur dichotomique (générales et anthropiques, respectivement) pour l'année manquante.

Fonctions concentration-réponse

Une étude d'une série temporelle portant sur 12 villes canadiennes entre 1981 et 1992⁶ et comportant une surveillance quotidienne des quatre gaz a été utilisée comme source des fonctions concentration-réponse (FCR) pour estimer la surmortalité associée à une exposition de courte durée à la pollution atmosphérique. Cette étude a été choisie parce qu'elle s'appuie sur toutes les données disponibles déjà recueillies au Canada sur les polluants (de 1981 à 1999). L'auteur a présenté à la DEPAS les résultats d'autres modèles à plusieurs polluants; le modèle à quatre gaz a été sélectionné d'après la valeur

de t générale des modèles candidats. Le modèle statistique employé était un modèle de régression de Poisson. Bien que ce modèle à plusieurs polluants exclût les matières particulaires, il a été choisi parce qu'il reflétait le mieux l'impact du mélange global de polluants atmosphériques. En raison de la multi-colinéarité chez les polluants, ce modèle devrait néanmoins rendre compte de l'impact des matières particulaires. De toute façon, les effets des matières particulaires dans la présente étude étaient considérablement réduits lorsqu'on les modélisait avec ceux du NO₂, ce dernier ayant un effet prédominant dans la présente analyse.

Une étude de cohorte⁷ portant sur 300 000 sujets dans 50 agglomérations urbaines américaines sur une période de sept ans a permis d'obtenir les FCR pour les PM_{2.5}, qui ont été utilisées pour estimer la surmortalité associée à une exposition de longue durée à la pollution atmosphérique. Le modèle statistique tenait compte de l'âge, du sexe, de la race, du tabagisme, de l'exposition passive à la fumée de cigarette, de l'indice de masse corporelle, du nombre de verres d'alcool bus chaque jour, du niveau de scolarité et de l'exposition professionnelle. Le modèle statistique utilisé était un modèle de régression des hasards proportionnels de Cox, de sorte que le risque relatif a été considéré comme un risque résultant d'une régression de Poisson. Ces résultats ont été employés plutôt que les résultats plus récents de la présente étude qui comportait une plus longue période de suivi de la cohorte⁵, parce que cette étude peut faire l'objet d'une plus grande erreur de classification de l'exposition vu que les membres de la cohorte déménagent avec le temps. Toutefois, les résultats du suivi de longue durée ont été utilisés dans une analyse de sensibilité.

Données fondamentales entrant dans le calcul des FCR

Le multiplicateur des données de base pour une FCR propre à un polluant est

le nombre annuel de décès non accidentels x la concentration anthropique annuelle estimative

au niveau de la DR, dont la moyenne est calculée pour la période 1998-2000. Ces moyennes ont été à leur tour additionnées pour les huit DR comme multiplicateurs finals des données d'entrée.

Résumé des données d'entrée pour le scénario de référence

L'annexe A donne un aperçu de la population, du nombre de décès, des concentrations générales et estimatives de polluants anthropiques par division de recensement, de même que des concentrations de fond. L'annexe B illustre les fonctions concentration-réponse.

Résultats

Les résultats sont présentés par ville dans l'annexe C. Les résultats exprimés en pourcentage de décès, toutes causes confondues, varient légèrement d'une ville à l'autre, mais les intervalles de confiance à 95 % se chevauchent dans tous les cas.

Analyses de sensibilité

L'effet des estimations de la surmortalité sur d'autres stratégies d'analyse possibles a été examiné. Au nombre de ces autres méthodes, citons les méthodes de mise en rapport des données sur la pollution avec les données sur la population, avec les concentrations de fond zéro et avec les autres sources de fonctions concentration-réponse^{5,8,9}. Ces autres méthodes ont eu des effets variables sur les estimations de la surmortalité, qui seront décrits plus en détail dans un document ultérieur.

Problèmes de communication des résultats

Au moment de communiquer les résultats de cette analyse à un public non scientifique, il importe de souligner un certain nombre d'aspects. Tout d'abord, il faut indiquer clairement que l'analyse ne porte que sur les effets sur la mortalité dans certaines grandes villes, et que les effets dans d'autres villes ainsi que sur la morbidité (p. ex. hospitalisations) seraient considérables. Deuxièmement, il faut mentionner que cette analyse ne consiste pas simplement à comptabiliser les certificats de décès qui mentionnent la pollution atmosphérique, mais qu'il faut appliquer les résultats de modèles statistiques complexes. Troisièmement, pour mettre en perspective l'impact relatif de la pollution atmosphérique, il est recommandé que les résultats soient exprimés à la fois sous la forme de nombres et de pourcentages des décès totaux. Par ailleurs, les résultats devraient être comparés à d'autres estimations des effets de la pollution atmosphérique, à des estimations historiques du fardeau des maladies associées à la pollution atmosphérique et aux effets d'autres facteurs de risque. Par exemple, dans le cadre du projet sur le fardeau mondial de la maladie de l'Organisation mondiale de la santé, Ezzati et ses collaborateurs¹⁰ ont estimé récemment que 1,4 % de tous les décès dans le monde pourraient être attribués à la pollution de l'air extérieur en milieu urbain, si l'on présume que la concentration de fond est de $7,5 \mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$, soit un peu plus que celle utilisée dans la présente analyse. Un effet proportionnel similaire a été observé en Amérique du Nord. Santé Canada a estimé qu'environ 22 % des décès au Canada pourraient être attribués à l'exposition active ou passive au tabac¹¹. Du point de vue historique, mentionnons qu'on a estimé que de 3 000 à 4 000 décès étaient survenus durant l'épisode de smog à Londres en décembre 1952 (la population de Londres, qui comptait à l'époque 8,6 millions d'habitants, était de la même taille que la population étudiée ici). Cet épisode s'est étalé sur seulement quelques semaines (par opposition à 5 900 décès au cours d'une année complète dans la présente analyse). Certains ont indiqué qu'on pourrait ajouter jusqu'à 9 000 autres décès en excès si l'on tenait compte des deux mois qui ont suivi l'épisode¹². Enfin, on pourrait indiquer des intervalles de confiance à 95 % pour refléter le degré d'incertitude, et on pourrait, pour expliquer le concept, renvoyer à des énoncés concernant la « marge d'erreur », qui accompagnent en général les résultats de sondages d'opinion.

Références

1. Burnett, R.T.; Dewanji, A.; Dominici, F.; Goldberg, M.S.; Cohen, A.; Krewski, D. On the Relationship between Time-Series Studies, Dynamic Population Studies, and Estimating Loss of Life Due to Short-Term Exposure to Environmental Risks. *Environ Health Perspect.* 2003; 111(9):1170-4
2. Kunzli, N.; Medina, S.; Kaiser, R.; Quenel, P.; Horak, F. Jr.; Studnicka, M. Assessment of deaths attributable to air pollution: should we use risk estimates based on time series or on cohort studies? *Am J Epidemiol.* 2001; 153(11):1050-5
3. Dominici, F. Recent NMMAPS Updates Resulting from Discoveries about Generalized Additive Model Software.
http://www.biostat.jhsph.edu/biostat/research/nmmaps_faq.htm,
(accessed June 8, 2004)
4. Ramsay, T.O.; Burnett, R.T.; Krewski, D. The Effect of Concurvity in Generalized Additive Models Linking Mortality to Ambient Particulate Matter. *Epidemiology.* 2003; 14(1):18-23
5. Pope, C.A. III; Burnett, R.T.; Thun, M.J.; Calle, E.E.; Krewski, D.; Ito, K.; Thurston, G.D. Lung Cancer, Cardiopulmonary Mortality and Long-term Exposure to Fine Particulate Air Pollution. *JAMA.* 2002; 287(9):1132-41
6. Burnett, R.T.; Stieb, D.M.; Brook, J.R.; Cakmak, S.; Dales, R.E.; Raizenne, M.E. Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. Accepted for publication in *Archives of Environmental Health.*
7. Krewski, D.; Burnett, R.T.; Goldberg, M.S.; Hoover, K.; Siemiatycki, J.; Abrahamowicz, M.; White, W.H.; et al. Reanalysis of the Harvard Six Cities Study and the American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality. A Special Report of the Health Effects Institute's Particle Epidemiology Reanalysis Project. Final version. July 2000.
8. Stieb, D.M.; Judek, S.; Burnett, R.T. Meta-Analysis of Time-Series Studies of Air Pollution and Mortality: Update in Relation to the Use of Generalized Additive Models. *J Air Waste Manag Assoc.* 2003; 53(3):258-61
9. Stieb, D.M.; Burnett, R.T., Smith-Doiron, M.; Chen, Y.; Goldberg, M.S.; Cakmak, S.; Dales, R.E.; Dann, T.; Brook, J.R. Air Pollution, Mortality and Cardiorespiratory Hospital Admissions in 11 Canadian Cities, 1998-2000: Application To A Reformulated Air Quality Index. DRAFT (June 13, 2003)

10. Ezzati, M.; Lopez, A.D.; Rodgers, A.; Vander Hoorn, S.; Murray, C.J.; Comparative Risk Assessment Collaborating Group. Selected major risk factors and global and regional burden of disease. *Lancet*. 2002; 360(9343):1347-60.
11. Makomaski Illing, E.M.; Kaiserman, M.J.. Mortality attributable to tobacco use in Canada and its regions, 1998. *Can J Public Health*. 2004; 95(1):38-44.
12. Bell, M.L.; Davis, D.L.; Fletcher, T. A retrospective assessment of mortality from the London smog episode of 1952: the role of influenza and pollution. *Environ Health Perspect*. 2004; 112(1):6-8.

Annexe A – Population, nombre de décès, concentrations de polluants (anthropiques) et concentrations de fond selon la division de recensement

Division de recensement	Population de 1996	Décès non accidentels	Moyenne annuelle pour la période 1998-2000				
			CO (ppm)	NO ₂ (ppb)	O ₃ (ppb)	SO ₂ (ppb)	PM _{2.5} (ug/m ³)
Qc : Communauté urbaine de Québec/Beauce (2423)	504 605	4 556	0,44 (0,31)	15,5 (15,3)	30,7 (6,3)	2,1 (2,0)	12,1 (10,3)
Qc : Communauté urbaine de Montréal/Laprairie (2466)	1 775 846	16 915	0,49 (0,36)	19,5 (19,4)	31,8 (7,4)	4,8 (4,7)	11,8 (10,0)
Ont. : Division d'Ottawa/Municipalité régionale d'Ottawa-Carleton (3506)	721 136	4 954	0,95 (0,82)	18,0 (17,9)	32,6 (7,8)	3,6 (3,6)	8,5 (6,7)
Ont. : Division de Toronto/Municipalité métropolitaine de Toronto (3520)	2 385 421	17 538	1,21 (1,07)	24,9 (24,8)	37,6 (12,8)	4,7 (4,6)	12,4 (10,6)
Ont. : Division de Hamilton/Municipalité régionale de Hamilton-Wentworth (3525)	467 799	4 257	0,95 (0,81)	20,9 (20,8)	36,5 (12,0)	6,9 (6,9)	13,3 (11,5)
Ont. : Comté d'Essex (Windsor) (3537)	350 329	2 695	0,52 (0,40)	20,9 (20,7)	37,7 (13,7)	7,8 (7,7)	11,2 (9,4)
Alb. : Division n° 6 (Calgary) (4806)	880 859	4 748	0,70 (0,56)	24,2 (24,0)	33,3 (8,9)	3,3 (3,2)	10,1 (8,4)
C.-B. : District régional du Grand Vancouver (5915)	1 829 198	12 064	0,63 (0,49)	17,0 (16,8)	28,8 (5,1)	3,2 (3,1)	7,2 (5,4)
Moyenne pondérée de la population (total pour la population et le nombre de décès)	8 915 193	67 727	0,79 (0,65)	20,7 (20,5)	33,4 (9,0)	4,3 (4,2)	10,7 (8,9)
Concentrations de fond annuelles pour les polluants étudiés (minimum-maximum dans le mois)			0,14 (0,10-0,17)	0,15	25,8 (16-35)	0,06 (0,02-0,18)	1,8

Annexe B – Fonctions concentration-réponse

Source	Polluant	Surmortalité %	Ratio t	S'applique à un changement de concentration du polluant de
6. Burnett et coll., modèle à quatre gaz (exposition de courte durée)	NO ₂	1,69 %	3,00	22,4 ppb
	O ₃	2,60 %	6,16	30,6 ppb
	SO ₂	0,23 %	2,09	5,0 ppb
	CO	0,19 %	0,73	1,0 ppm
7. Krewski et coll., modèle à un seul polluant (exposition de longue durée)	PM _{2,5}	18 %	4,14	24,5 ug/m ³

Annexe C – Nombre estimatif, pourcentage de décès évitables, selon la ville et le type d'exposition

Ville	Courte durée	Longue durée	Total	Total en % des décès, toutes causes confondues		
				Moyenne	Intervalle de confiance à 95 %	
					Inférieur	Supérieur
Qc : Communauté urbaine de Québec/Beauce (2423)	80	320	400*	8	5	11
Qc : Communauté urbaine de Montréal/Laprairie (2466)	400	1 140	1 540	9	5	12
Ont. : Division d'Ottawa/Municipalité régionale d'Ottawa-Carleton (3506)	110	230	340	7	4	9
Ont. : Division de Toronto/Municipalité métropolitaine de Toronto (3520)	590	1 260	1 840	10	6	13
Ont. : Division de Hamilton/Municipalité régionale de Hamilton-Wentworth (3525)	130	330	460	10	7	14
Ont. : Comté d'Essex (Windsor) (3537)	80	170	260	9	6	12
Alb. : Division n° 6 (Calgary) (4806)	130	270	400	8	5	11
C.-B. : District régional du Grand Vancouver (5915)	230	440	680	5	3	7
Total	1 800*	4 200	5 900	8	5	11

*Les totaux peuvent différer de la somme des valeurs qui entrent dans le calcul à cause de l'arrondissement (à la dizaine la plus proche pour chacune des villes et à la centaine la plus proche pour les totaux).