

301

DM1.2

Projet d'ouverture et d'exploitation d'une
mine d'apatite à Sept-Îles

6211-08-009



information



formation



recherche



coopération
internationale

ESTIMATION DES IMPACTS SANITAIRES
DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE AU QUÉBEC :
ESSAI D'UTILISATION DU *AIR QUALITY BENEFITS
ASSESSMENT TOOL (AQBAT)*

INSTITUT NATIONAL DE SANTÉ PUBLIQUE DU QUÉBEC

ESTIMATION DES IMPACTS SANITAIRES
DE LA POLLUTION ATMOSPHERIQUE AU QUÉBEC :
ESSAI D'UTILISATION DU *AIR QUALITY BENEFITS*
ASSESSMENT TOOL (AQBAT)

DIRECTION DES RISQUES BIOLOGIQUES, ENVIRONNEMENTAUX ET OCCUPATIONNELS

DÉCEMBRE 2007

AUTEURES

Maryse Bouchard
Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels
Institut national de santé publique du Québec

Audrey Smargiassi
Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels
Institut national de santé publique du Québec

RÉVISION

Louis Drouin
Direction de santé publique de Montréal

COLLABORATION

Pierre Walsh
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec

Manon Thérien
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec

Michel Bisson
Ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs du Québec

MISE EN PAGE

Katia Raby
Direction des risques biologiques, environnementaux et occupationnels
Institut national de santé publique du Québec

Remerciements à François Tessier de la Direction de santé publique de Montréal qui a préparé les cartes ainsi qu'à Stan Judek de Santé Canada pour son aide précieuse lors de l'utilisation de AQBAT.

Cette étude a été réalisée grâce au soutien financier du ministère de la Santé et des Services sociaux du Québec.

Ce document est disponible intégralement en format électronique (PDF) sur le site Web de l'Institut national de santé publique du Québec au : <http://www.inspq.qc.ca>.

Les reproductions à des fins d'étude privée ou de recherche sont autorisées en vertu de l'article 29 de la Loi sur le droit d'auteur. Toute autre utilisation doit faire l'objet d'une autorisation du gouvernement du Québec qui détient les droits exclusifs de propriété intellectuelle sur ce document. Cette autorisation peut être obtenue en formulant une demande au guichet central du Service de la gestion des droits d'auteur des Publications du Québec à l'aide d'un formulaire en ligne accessible à l'adresse suivante : <http://www.droitauteur.gouv.qc.ca/autorisation.php>, ou en écrivant un courriel à : droit.auteur@cspq.gouv.qc.ca.

Les données contenues dans le document peuvent être citées, à condition d'en mentionner la source.

Dépôt légal – 3^e trimestre 2008
Bibliothèque et archives nationales du Québec
Bibliothèque et archives Canada

ISBN : 978-2-550-53757-1 (VERSION IMPRIMÉE)
ISBN : 978-2-550-53758-8 (PDF)

© Gouvernement du Québec (2008)

RÉSUMÉ

La recherche scientifique a démontré que la pollution atmosphérique a des effets néfastes sur la santé de la population. L'exposition aux contaminants de l'air qui constituent cette pollution est associée à une augmentation de la mortalité et de la morbidité reliées notamment aux systèmes respiratoire et cardiovasculaire. Les études ont de plus montré qu'il n'y a pas de concentration de contaminants en deçà de laquelle aucun effet n'est observé. En outre, la santé de certains est davantage touchée par ces contaminants présents dans l'air : les fœtus, les enfants ainsi que les personnes malades ou âgées.

L'objectif du présent rapport est de fournir une estimation des impacts sanitaires de la pollution de l'air sur la population québécoise. Cette estimation a été réalisée au moyen d'un outil élaboré par Santé Canada : le modèle de simulation *Air Quality Benefits Assessment Tool* (AQBAT).

AQBAT met en relation des données sur : i) des fonctions concentration-réponse; ii) des mesures de concentrations des principaux contaminants de l'air; iii) des indicateurs sanitaires et iv) la démographie. Les fonctions concentration-réponse sont des estimations de l'impact de contaminants sur la fréquence de problèmes de santé au sein d'une population. Les contaminants de l'air pour lesquels AQBAT permet l'estimation des impacts sanitaires sont l'ozone, les particules fines ($PM_{2,5}$), le dioxyde d'azote (NO_2), le monoxyde de carbone (CO) et le dioxyde de soufre (SO_2). Quant aux données d'indicateurs sanitaires, elles servent à établir la fréquence des problèmes de santé qui peuvent être causés par la pollution atmosphérique. Des projections des données démographiques utilisées dans l'outil (recensement de 2001) ont permis d'établir les comptes de population par région géographique et par groupe d'âge.

Les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique ont été calculés pour l'année 2002, soit l'année la plus récente pour laquelle les données nécessaires pour le calcul de ces impacts étaient disponibles dans AQBAT. Les calculs ont été faits de manière à représenter les effets sanitaires engendrés par l'exposition aux contaminants résultant des activités humaines. Les estimations ont pu être réalisées pour environ la moitié de la population québécoise seulement, étant donné que, pour certaines régions du Québec, aucune donnée relative aux concentrations de contaminants présents dans l'air n'est disponible.

Une estimation conservatrice indique que l'exposition aux $PM_{2,5}$, à l'ozone et au NO_2 en 2002 est associée à :

- 1 974 (\pm 467) décès prématurés;
- 38 (\pm 32) visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques;
- 414 (\pm 92) visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires;
- 246 705 (\pm 104 624) journées de symptômes d'asthme.

L'exposition au CO et au SO₂ est également associée à des effets sur la santé de la population, mais ceux-ci n'ont pas été inclus dans l'analyse puisqu'ils sont considérés comme moins fiables. En effet, la concentration de ces deux contaminants varie beaucoup spatialement, et les données disponibles sur les concentrations ambiantes dans l'air ne sont pas assez bien distribuées spatialement pour représenter adéquatement l'exposition de la population.

Par la suite, la valeur monétaire reliée à ces impacts sanitaires a été estimée par AQBAT au moyen de l'approche par fonction de dommages. L'analyse démontre que la société serait prête à dépenser environ 10 G\$ annuellement pour éviter les impacts sanitaires attribuables à la pollution atmosphérique. La plus grande partie de ce montant est imputable à la valeur associée aux mortalités prématurées. Il faut cependant noter que l'estimation monétaire ne représente pas des coûts réels; ces dépenses ne sont pas effectuées dans la réalité. Il s'agit plutôt de la valeur estimée de l'évitement des impacts sanitaires estimés par AQBAT.

Le constat selon lequel la pollution atmosphérique a des conséquences considérables sur la santé publique devrait encourager l'établissement de mesures sévères et efficaces en vue de contrôler les émissions polluantes en cause. Ces émissions proviennent de différentes sources comme le transport, le chauffage au bois et les industries. Il importe donc de s'attaquer efficacement à ces différentes sources afin de réduire le poids des conséquences néfastes de la pollution sur la santé de la population. Finalement, l'évaluation monétaire des impacts sanitaires révèle que la société accorde une très grande valeur à la santé.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES	V
INTRODUCTION.....	1
1 EFFETS SANITAIRES ASSOCIÉS AUX PRINCIPAUX CONTAMINANTS DE L’AIR.....	3
1.1 Effets aigus.....	3
1.2 Effets chroniques.....	4
1.3 Effets à court terme versus effets à long terme.....	5
2 MÉTHODES D’ESTIMATION DES IMPACTS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE	7
2.1 Description du <i>Air Quality Benefits Assessment Tool</i> (AQBAT).....	7
2.1.1 Fonctions concentration-réponse.....	8
2.1.2 Concentrations de contaminants de l’air.....	9
2.1.3 Taux d’indicateurs sanitaires dans la population.....	10
2.1.4 Données de population.....	12
2.2 Valeur monétaire des impacts sanitaires.....	12
3 RÉSULTATS	15
3.1 Estimations d’impacts sanitaires.....	15
3.2 Estimations de la valeur monétaire des impacts sanitaires.....	20
4 DISCUSSION DES RÉSULTATS.....	21
4.1 Concentrations des contaminants de l’air.....	21
4.2 Fonctions concentration-réponse.....	22
4.2.1 Transfert des résultats d’études épidémiologiques.....	22
4.2.2 Choix de l’échelle spatiale de calcul.....	22
4.2.3 Inclusion des impacts sanitaires.....	22
4.3 Effets de l’exposition à court terme versus effets de l’exposition à long terme ...	22
4.4 Taux de base des indicateurs sanitaires.....	23
4.5 Valeur monétaire des impacts sanitaires.....	23
5 CONCLUSION.....	25
RÉFÉRENCES.....	27

ANNEXE 1 : DESCRIPTION DES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES UTILISÉES DANS AQBAT	31
ANNEXE 2 : CARTES DES DIVISIONS GÉOGRAPHIQUES ET DES EMPLACEMENTS DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE.....	37
ANNEXE 3 : MESURES DES CONCENTRATIONS DE CONTAMINANTS PAR UNITÉ GÉOGRAPHIQUE.....	43
ANNEXE 4 : TAUX ANNUELS DES INDICATEURS SANITAIRES	47
ANNEXE 5 : IMPACTS SANITAIRES ASSOCIÉS À L'EXPOSITION AU CO ET AU SO₂	51
ANNEXE 6 : IMPACTS SANITAIRES COMPLÉMENTAIRES POUR LES PM_{2,5} ET L'OZONE	55

LISTE DES TABLEAUX ET DES FIGURES

Figure 1 :	Répartition entre la mortalité reliée à l'exposition aiguë et chronique à la pollution atmosphérique.....	5
Tableau 1 :	Coûts des différents problèmes de santé utilisés dans AQBAT	14
Tableau 2 :	Impacts sanitaires de l'exposition aux PM _{2,5} estimés par AQBAT pour l'année 2002	17
Tableau 3 :	Impacts sanitaires de l'exposition à l'ozone estimés par AQBAT pour l'année 2002	18
Tableau 4 :	Impacts sanitaires de l'exposition au NO ₂ estimés par AQBAT pour l'année 2002	19
Tableau 5 :	Concentrations moyennes de contaminants atmosphériques mesurées en 2002 dans AQBAT	45
Tableau 6 :	Taux annuels pour les impacts sanitaires (événements/million de population) dans AQBAT	49
Tableau 7 :	Impacts sanitaires de l'exposition au CO estimés par AQBAT pour l'année 2002	53
Tableau 8 :	Impacts sanitaires de l'exposition au SO ₂ estimés par AQBAT pour l'année 2002	53
Tableau 9 :	Impacts sanitaires de l'exposition aux PM _{2,5} estimés par AQBAT pour l'année 2002	57
Tableau 10 :	Impacts sanitaires de l'exposition à l'ozone estimés par AQBAT pour l'année 2002	58

INTRODUCTION

Les résultats de recherches conduites au cours des 20 dernières années démontrent avec certitude que la pollution atmosphérique contribue à la morbidité et à la mortalité au sein de la population (Wilson et Spengler, 1996). Cette pollution constitue un problème de santé publique dans plusieurs régions du monde, quoique son ampleur varie géographiquement; la pollution atmosphérique est également un problème au Québec. En effet, les mesures de surveillance environnementale indiquent la présence de concentrations de contaminants atmosphériques à des niveaux associés à des effets dommageables pour la santé. L'objectif du présent rapport est de fournir des estimations des impacts sanitaires de l'exposition aux contaminants atmosphériques au Québec; la morbidité de même que la mortalité attribuables à la pollution atmosphérique n'ont pas encore été quantifiées à l'échelle de la province.

Les problèmes de santé associés à la pollution atmosphérique, tels que les symptômes respiratoires et les infarctus du myocarde, ont des causes multifactorielles. Il est donc impossible d'attribuer avec certitude tel ou tel problème de santé précis à l'exposition aux contaminants de l'air. Conséquemment, la quantification du nombre de victimes de la pollution de l'air ne peut s'effectuer directement comme il est possible de le faire pour les accidents de la route par exemple. D'autres stratégies doivent donc être utilisées afin de quantifier ces impacts sanitaires.

La méthode employée dans ce rapport repose sur l'utilisation de résultats d'études épidémiologiques pour le calcul des problèmes de santé attribuables à la présence de contaminants atmosphériques au Québec. De plus, des méthodes économiques sont utilisées afin d'estimer la valeur monétaire des impacts sanitaires. Les estimations ont été réalisées au moyen d'un outil élaboré par Santé Canada : le modèle de simulation *Air Quality Benefits Assessment Tool* (AQBAT). AQBAT utilise les résultats d'études épidémiologiques spécifiques qui sont présentées à la section 2.1.1 ainsi qu'à l'annexe 1.

Dans la littérature scientifique, plusieurs relations existent entre les concentrations ambiantes de contaminants de l'air et plusieurs effets sur la santé, incluant des symptômes respiratoires, des cas de bronchite, des visites à l'urgence et des admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiorespiratoires ainsi qu'une mortalité plus élevée. Des études soulignent que l'exposition aux contaminants de l'air est généralement associée à une modeste augmentation du risque pour la santé. Par exemple, pour un adulte moyen, le risque de décès augmente de moins de 1 % avec une augmentation de la concentration de particules fines de $10 \mu\text{g}/\text{m}^3$ un jour donné (Katsouyanni *et al.*, 1997). Cependant, en raison de la nature ubiquitaire de la pollution atmosphérique, un très grand nombre de personnes sont exposées à ce risque. Conséquemment, l'impact global de la pollution atmosphérique sur la santé publique pourrait être important.

Le document comporte les cinq sections suivantes : 1) la description des effets sanitaires associés à l'exposition aux principaux contaminants de l'air; 2) les méthodes d'estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique avec AQBAT; 3) les résultats de ces

estimations ainsi que leur valeur monétaire; 4) la discussion portant sur les limites de ces estimations et 5) la conclusion.

L'approche d'estimation de la valeur monétaire de AQBAT est l'analyse par fonction de dommages, laquelle est conforme aux principes scientifiques de l'évaluation des dommages et à la théorie économique de l'évaluation des impacts environnementaux. Plusieurs experts en épidémiologie et en économie de l'environnement ont examiné la méthodologie employée par AQBAT, et ils ont conclu qu'elle est appuyée par la documentation existante (Chestnut *et al.*, 1999).

L'estimation des impacts sanitaires reliés à la pollution atmosphérique constitue une façon directe et percutante de communiquer les enjeux de ce problème pour la société. Des analyses des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique ont été réalisées ailleurs dans le monde, notamment aux États-Unis (Deck *et al.*, 2001), au Mexique (Bell *et al.*, 2006) ainsi qu'en Europe (Künzli *et al.*, 2000; Medina *et al.*, 2004). Ces calculs fournissent des renseignements qui servent d'arguments pour convaincre les décideurs d'adopter des mesures de mitigation à l'égard des émissions polluantes (Organisation mondiale de la santé, 2000).

1 EFFETS SANITAIRES ASSOCIÉS AUX PRINCIPAUX CONTAMINANTS DE L'AIR

La pollution atmosphérique est formée de plusieurs composantes, lesquelles peuvent être classées en deux catégories : les gaz et les particules. Les principaux gaz qui sont considérés comme des contaminants de l'air sont l'ozone (O₃), le dioxyde d'azote (NO₂), le dioxyde de soufre (SO₂) et le monoxyde de carbone (CO). Le plus souvent, les particules sont définies en fonction de leur taille : i) les particules dont le diamètre est égal ou inférieur à 10 microns (PM₁₀) et ii) les particules dont le diamètre est égal ou inférieur à 2,5 microns (PM_{2,5}). Ces composantes sont habituellement utilisées comme indicateurs de la qualité de l'air et font ainsi l'objet d'une surveillance continue par les organismes gouvernementaux provinciaux et fédéraux. Chacun de ces contaminants de l'air a été associé à des effets néfastes pour la santé, touchant surtout les fonctions respiratoires et cardiovasculaires. Ces effets sont variés et peuvent être plus ou moins graves, allant de légers symptômes respiratoires à la mort.

La plupart des études épidémiologiques portant sur les effets de l'exposition aux contaminants de l'air peuvent être catégorisées selon deux grands types de design de recherche : i) les études de séries temporelles fournissent des renseignements sur les effets aigus (effets à court terme) et ii) les études de cohortes donnent des renseignements relatifs aux effets chroniques (effets à long terme). Selon l'Organisation mondiale de la santé (OMS), l'estimation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique devrait inclure les effets aigus et les effets chroniques (Organisation mondiale de la santé, 2000). Les études épidémiologiques montrant une association entre les concentrations ambiantes de contaminants et une augmentation de la morbidité et de la mortalité n'ont pas déterminé de seuil, c'est-à-dire une concentration minimale en deçà de laquelle il n'y aurait pas d'effet significatif. Il apparaît que la relation entre les concentrations de contaminants et les effets sur la santé est linéaire (Health Effects Institute, 2000).

1.1 EFFETS AIGUS

Les effets aigus de la pollution atmosphérique sont ceux qui se produisent rapidement, soit de quelques heures à quelques jours après l'exposition. De nombreuses études ont porté sur les relations entre les variations journalières des concentrations de contaminants de l'air et des indicateurs de santé. Les résultats de ces études de séries chronologiques mettent en évidence une augmentation de la mortalité les journées où la pollution était plus marquée par comparaison avec les journées où cette pollution était moins marquée (Burnett *et al.*, 2004). L'augmentation des décès, mise en évidence par ces études, serait attribuable à la mort de personnes à la santé fragile (Rabl, 2005), notamment celles atteintes de cancer, de diabète et de maladies cardiovasculaires ou respiratoires (Goldberg *et al.*, 2001a; Goldberg *et al.*, 2001b; Goldberg *et al.*, 2006). Des études de séries chronologiques ont été menées dans de nombreux pays présentant différentes concentrations de contaminants de l'air, et les résultats étaient comparables quel que soit le niveau de pollution et la composition du mélange de contaminants. Une méta-analyse des études de séries chronologiques a montré que la mortalité, toutes causes confondues, augmentait de 4 % à 9 % par 100 ug/m³ de

particules suspendues totales, avec une estimation agrégée de 6 % (Schwartz, 1994). Tout au long du rapport, le terme *mortalité aiguë* sera employé pour désigner ce type de mortalité.

L'augmentation journalière des concentrations de contaminants de l'air a aussi été associée à une série d'autres effets sur la santé : augmentation des symptômes respiratoires aigus (Krupnick et Harrington, 1990), des cas de bronchite (Abbey *et al.*, 1995) ainsi que des visites à l'urgence (Stieb *et al.*, 2000) et des admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiorespiratoires (Burnett *et al.*, 1995; Burnett *et al.*, 1997a; Burnett *et al.*, 1997b). Une variété de mécanismes biologiques mis en cause dans le déclenchement de ces effets ont été identifiés, mais il serait au-delà de la portée du présent rapport de les présenter. Des conséquences secondaires sont également reliées à ces effets, par exemple des journées d'activités réduites (absentéisme au travail ou à l'école) et la prise de médicaments (Ostro et Rothschild, 1989).

1.2 EFFETS CHRONIQUES

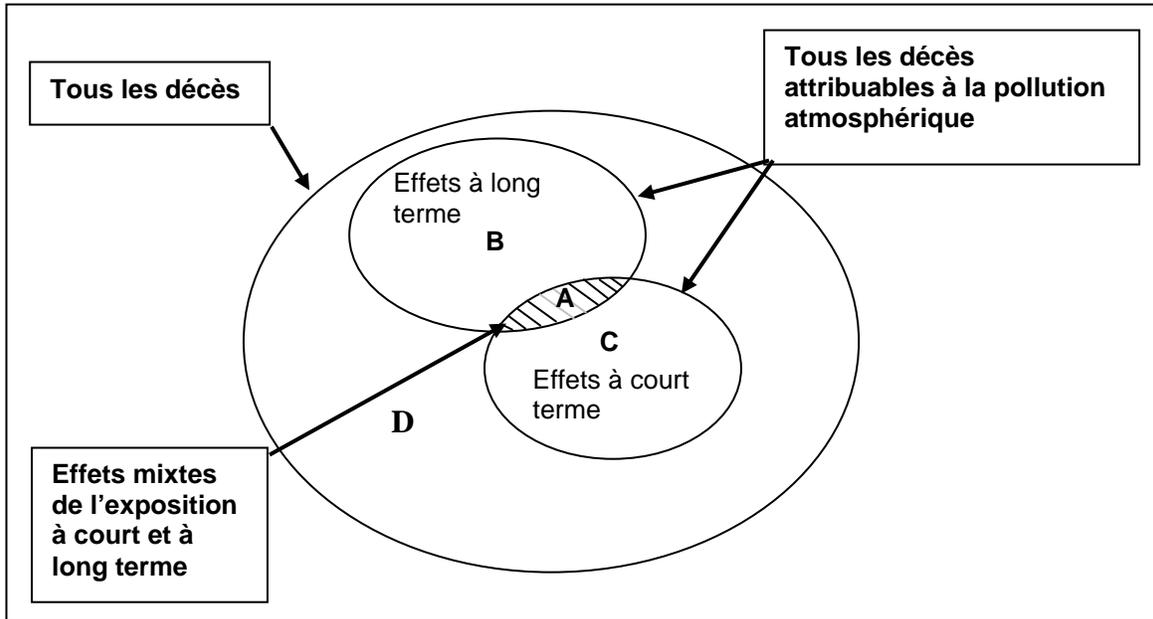
Les effets chroniques de la pollution de l'air sont ceux qui se produisent après une exposition prolongée, de quelques mois à quelques années. Des études à ce propos ont été menées auprès de plusieurs milliers de personnes résidant dans des régions caractérisées par différentes concentrations de contaminants atmosphériques, et ces personnes ont été suivies pendant plusieurs années pour des évaluations périodiques de leur santé. Parmi les études qui ont été conduites, les plus souvent citées sont la *Harvard Six Cities Study* (Dockery *et al.*, 1993) et l'*American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality* (Pope, III *et al.*, 1995). Ces deux études portent respectivement sur 8 111 adultes de six villes du nord-ouest et du mid-ouest américain et sur 552 138 adultes de 154 villes réparties à travers les États-Unis. Les résultats indiquent que l'exposition aux particules fines entraîne une augmentation du risque de mortalité cardiorespiratoire lors d'affections comme le cancer pulmonaire, l'asthme et les maladies pulmonaires obstructives (Health Effects Institute, 2000). Les résultats de ces études ont été analysés de nouveau et ont été validés par une équipe de chercheurs dirigée par Daniel Krewski de l'Université d'Ottawa, et une estimation agrégée de l'accroissement du risque a été effectuée : la mortalité (toutes causes confondues) s'accroît de 4 % pour chaque augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ de $\text{PM}_{2,5}$ (Health Effects Institute, 2000).

L'association entre l'exposition à long terme aux particules fines et la mortalité serait particulièrement importante chez les personnes qui souffrent de certaines maladies. Par exemple, chaque augmentation de 10 $\mu\text{g}/\text{m}^3$ des $\text{PM}_{2,5}$, sur une période d'au moins 2 ans, a été associée à une augmentation de la mortalité de 22 à 32 % chez les personnes souffrant de diabète, de maladies pulmonaires obstructives chroniques, d'insuffisance cardiaque congestive et de maladies inflammatoires comme l'arthrite rhumatoïde ou le lupus (Laden *et al.*, 2006). Outre les maladies préexistantes chez un individu donné, comme celles énumérées ci-dessus, plusieurs caractéristiques individuelles peuvent modifier les effets de la pollution sur la santé, telles que le tabagisme (risque supérieur chez les fumeurs), le niveau d'éducation (risque supérieur chez les moins éduqués) ainsi que l'âge (risque supérieur chez les plus jeunes et les plus âgés) (Health Effects Institute, 2000). Par ailleurs,

de récentes études soulignent que les contaminants de l'air auraient des effets néfastes sur le développement des poumons des enfants (Gauderman *et al.*, 2004) et sur la reproduction (complications pendant la grossesse, faible poids à la naissance et naissances prématurées) (Sram *et al.*, 2005).

1.3 EFFETS À COURT TERME VERSUS EFFETS À LONG TERME

La figure 1 illustre de quelle façon la pollution atmosphérique peut être reliée à la mortalité.



Adapté de Künzli *et al.*, 2001 et Künzli, 2005

- A) L'exposition à long terme peut fragiliser des personnes qui décéderont à la suite d'une augmentation, de courte durée, de la concentration des contaminants.
- B) L'exposition à long terme peut fragiliser des personnes qui mourront un jour sans que la concentration de contaminants ait été élevée ce jour-là ni les jours précédents.
- C) Des personnes à la santé fragile peuvent décéder à la suite d'une augmentation, de courte durée, de la concentration des contaminants sans que leur santé fragile soit reliée à une exposition prolongée à la pollution atmosphérique (Künzli *et al.*, 2001; Künzli, 2005).
- D) Décès qui ne sont pas reliés à la pollution atmosphérique.

Figure 1 : Répartition entre la mortalité reliée à l'exposition aiguë et chronique à la pollution atmosphérique

Les études de cohortes peuvent rendre compte des deux premières situations (A et B) alors que les études de séries chronologiques donnent des renseignements concernant la première et la troisième situation (A et C). Ces deux types d'études fournissent des renseignements différents et complémentaires utiles pour connaître l'ensemble des effets de la pollution atmosphérique sur la santé (Künzli *et al.*, 2001; Künzli, 2005). Il faut aussi noter que seules les études de cohortes peuvent fournir une estimation du nombre d'années de vie perdues dans les cas de décès prématurés reliés à la pollution atmosphérique. Actuellement, il n'y a pas de consensus sur cette durée de vie perdue, mais l'OMS estime qu'elle serait de quelques semaines à quelques mois, voire d'une année (Organisation mondiale de la santé, 2005).

2 MÉTHODES D'ESTIMATION DES IMPACTS SANITAIRES DE LA POLLUTION ATMOSPHÉRIQUE

2.1 DESCRIPTION DU *AIR QUALITY BENEFITS ASSESSMENT TOOL* (AQBAT)

Dans le cadre de ce travail, le seul programme de simulation disponible au Canada permettant d'estimer les impacts sanitaires de la pollution de l'air a été employé. Cet outil, élaboré par Stan Judek et Dave Stieb de Santé Canada (Judek et Stieb, 2006), permet non seulement d'estimer les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique au Canada, mais aussi, leur valeur monétaire. Les impacts sont dérivés du calcul du nombre annuel de décès prématurés et du nombre de problèmes de santé (ex. : nombre annuel de bronchite) découlant de l'exposition à cinq contaminants atmosphériques : ozone, PM_{2,5}, CO, NO₂ et SO₂. AQBAT calcule la différence entre les impacts sanitaires associés à des concentrations x de contaminants de l'air (situation « réelle », c'est-à-dire les concentrations mesurées une année donnée) et des concentrations y (situation hypothétique). Dans le cadre de ce document, la situation hypothétique a été choisie comme celle où toutes les sources humaines d'émissions de contaminants de l'air seraient réduites à zéro. Conséquemment, les estimations réalisées représentent les impacts sanitaires, pour une année donnée, de la pollution atmosphérique provenant de toutes les activités humaines.

AQBAT est une version améliorée d'un programme de simulation antérieur, le *Air Quality Valuation Model* (AQVM). L'avantage de AQBAT sur AQVM est qu'il fournit des intervalles de confiance correspondant aux estimations d'impacts sanitaires, ce qui donne une indication de l'incertitude liée aux estimations. De même, AQBAT tient compte des effets chroniques de l'exposition à long terme à la pollution atmosphérique alors que l'AQVM tenait seulement compte des effets aigus. Toutefois, l'utilisation d'un tel outil contraint à estimer les impacts sanitaires uniquement à partir des paramètres prédéfinis par ses concepteurs (ex. : fonctions de risque, concentrations de polluants et chiffres de populations). Modifier ces paramètres aurait exigé de la programmation, ce qui, pour des raisons pratiques, n'a pas été fait. Pour en savoir davantage sur AQBAT, le lecteur doit se référer à ses concepteurs.

De façon très schématique, voici comment les impacts sanitaires sont calculés par AQBAT; chaque composante est décrite plus en détail dans la suite de ce chapitre.

$$\begin{array}{c} \textbf{Fonction concentration-réponse} \\ \text{(assignée pour un couple contaminant-effet et exprimée en} \\ \text{pourcentage d'excès d'un indicateur sanitaire par unité de contaminant)} \\ \times \\ \textbf{Changement de concentration du contaminant} \\ \times \\ \textbf{Taux annuel d'indicateur sanitaire dans la population} \\ \text{(ex. : morts par million de population)} \\ \times \\ \textbf{Population} \\ \text{(en millions)} \\ = \\ \textbf{Nombre de cas en excès} \end{array}$$

2.1.1 Fonctions concentration-réponse

AQBAT se sert des résultats des études épidémiologiques afin de quantifier les problèmes de santé attribuables à la présence des contaminants atmosphériques. En effet, ces études contiennent des fonctions mathématiques qui relient les concentrations de contaminants aux effets sanitaires, ce sont les *fonctions concentration-réponse*. Une fonction concentration-réponse est une estimation de l'impact d'un contaminant sur la fréquence d'un problème de santé. C'est une estimation dérivée statistiquement de l'augmentation (exprimée en pourcentage) de la fréquence d'un problème de santé associé à une augmentation de la concentration du contaminant. Ces fonctions sont obtenues par la modélisation statistique des données épidémiologiques, et elles possèdent une incertitude liée à leur quantification. Le recours à des simulations de Monte Carlo (logiciel @Risk) dans AQBAT permet de tenir compte de cette incertitude et de calculer l'intervalle de confiance des estimations d'impacts sanitaires.

Plusieurs études épidémiologiques ont été consultées afin d'y dériver les renseignements nécessaires pour réaliser les estimations d'impacts sanitaires, et toutes celles utilisées dans AQBAT ont été menées au Canada ou aux États-Unis, ou bien dans les deux pays à la fois. Les principales études d'où sont tirées les fonctions concentration-réponse, et qui sont employées dans AQBAT, sont décrites à l'annexe 1.

Voici la liste des effets sur la santé reliés à l'exposition aux contaminants de l'air qui sont inclus dans AQBAT. À la suite de chaque effet, est indiquée la référence à l'étude d'où la fonction concentration-réponse est tirée :

- Mortalité prématurée associée à l'exposition à court terme à l'ozone, au CO, au NO₂ et au SO₂ (Burnett *et al.*, 2004) et à long terme aux PM_{2,5} (Health Effects Institute, 2000).
- Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques associés aux PM_{2,5} (Burnett *et al.*, 1995).

- Admissions à l'hôpital pour des problèmes respiratoires reliés à l'ozone (Burnett *et al.*, 1997a) et aux PM_{2,5} (Burnett *et al.*, 1995).
- Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques chez des personnes âgées, associés au CO (Burnett *et al.*, 1997b).
- Visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques reliés aux PM_{2,5} (Stieb *et al.*, 2000).
- Visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires associés à l'ozone et aux PM_{2,5} (Stieb *et al.*, 2000).
- Cas de bronchite aiguë chez des enfants associés aux PM_{2,5} (Dockery *et al.*, 1996).
- Cas de bronchite chronique chez des adultes, associés aux PM_{2,5} (Abbey *et al.*, 1995).
- Jours de symptômes respiratoires aigus, associés à l'ozone et aux PM_{2,5} (Krupnick et Harrington, 1990).
- Jours de symptômes d'asthme associés à l'ozone (Whittemore et Korn, 1980) et aux PM_{2,5} (Whittemore et Korn, 1980; Ostro *et al.*, 1991).
- Jours d'activités réduites de façon mineure associés à l'ozone. (Ostro et Rothschild, 1989).
- Jours d'activités réduites associés aux PM_{2,5} (Ostro, 1987; Ostro et Rothschild, 1989; Stieb *et al.*, 2002b).

2.1.2 Concentrations de contaminants de l'air

Les données concernant les concentrations de contaminants de l'air proviennent du Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique (RNSPA) d'Environnement Canada, et elles concernent l'année 2002. La base de données de RNSPA est elle-même alimentée par le ministère du Développement durable, de l'Environnement et des Parcs (MDDEP) et la Ville de Montréal. En 2002, le Québec disposait de 50 stations mesurant quotidiennement les principaux contaminants de l'air utilisés ici pour estimer les impacts sanitaires de la pollution de l'air dans la province. Dans AQBAT, les estimations d'impacts sanitaires sont calculées pour chaque région du Québec, et les unités géographiques de Statistique Canada sont utilisées, soit i) les divisions de recensement ou ii) les zones urbaines (agglomérations de recensement : villes de plus de 10 000 habitants; régions métropolitaines de recensement : villes de plus de 100 000 habitants).

Les estimations d'impacts sanitaires relatives aux plus petites divisions de recensement pour lesquelles des données de concentrations de contaminants de l'air étaient disponibles ont été réalisées, c'est-à-dire les divisions qui disposaient d'au moins une station d'échantillonnage sur leur territoire. Comme ces données n'étaient pas disponibles pour plusieurs divisions de recensement, certaines zones urbaines pourvues d'une station d'échantillonnage ont été utilisées comme unité géographique de calcul. Des cartes des cinq zones les plus peuplées du Québec permettent de visualiser le découpage du territoire en fonction des divisions de recensement et des zones urbaines de même que l'emplacement des stations d'échantillonnage et les contaminants qui y sont mesurés (voir annexe 2).

Au moment de la rédaction de ce rapport, les plus récentes données de concentrations de contaminants de l'air disponibles dans l'outil AQBAT pour effectuer les calculs étaient celles de l'année 2002. Par conséquent, les calculs d'impacts sanitaires ont été faits pour l'année 2002. À l'annexe 3, sont présentées les concentrations de contaminants de l'air par unité géographique.

Pour chaque contaminant de l'air, la moyenne des concentrations mesurées aux stations d'échantillonnage situées dans l'unité géographique choisie (division de recensement ou zone urbaine) a été employée dans les calculs. L'échelle temporelle du calcul de la moyenne a été retenue pour concorder avec les études épidémiologiques d'où sont tirées les fonctions concentration-réponse. Ainsi, la moyenne des concentrations sur 24 heures a été utilisée pour tous les contaminants de l'air, sauf l'ozone pour lequel la concentration horaire maximale a plutôt été retenue. En ce qui concerne ce dernier contaminant, ses effets sur la morbidité seraient surtout présents lors de la saison chaude (mai à septembre), et c'est pour cette raison que seul l'impact de l'exposition à l'ozone sur la morbidité a été considéré pour cette période. Cependant, l'impact sur la mortalité a été calculé tout au long de l'année, car les études épidémiologiques indiquent que l'exposition à l'ozone contribuerait à la mortalité, même à l'extérieur de la période correspondant à la saison chaude.

Pour le calcul des impacts, nous avons choisi d'utiliser les données provenant des appareils *Tapered Element Oscillating Microbalance* (TEOM). Néanmoins, les mesures de PM_{2,5} en continu effectuées à l'aide des TEOM ont tendance à sous-évaluer fortement les concentrations, surtout l'hiver.

Finalement, il faut rappeler que AQBAT calcule la différence entre les impacts sanitaires associés à des concentrations x (année 2002) de contaminants de l'air et des concentrations y (situation hypothétique où toutes les sources humaines d'émissions de contaminants de l'air seraient réduites à zéro). Les concentrations de base (c'est-à-dire, sans émissions anthropiques) employées dans les calculs sont de 28 ppb pour l'ozone, de 1,8 µg/m³ pour les PM_{2,5}, de 0 ppb pour le NO₂ et le SO₂ et de 0 ppm pour le CO. Ces concentrations ont été établies à la suite de consultations réalisées auprès des experts de Santé Canada, par l'entremise de l'une des deux méthodes suivantes :

1. mesures dans des sites éloignés ou ruraux non influencés par les sources anthropiques;
2. valeurs les plus basses parmi les mesures effectuées dans des sites éloignés ou ruraux possiblement influencés par des sources anthropiques.

2.1.3 Taux d'indicateurs sanitaires dans la population

Les taux de mortalité ont été obtenus par l'entremise du programme d'accès et de coordination des données de l'Agence de la santé publique du Canada. Les taux de mortalité moyens au Canada pour les années 1995 à 1999 ont été calculés par groupe d'âge. Ensuite, les taux de mortalité pour chaque unité géographique ont été estimés en tenant compte de la structure démographique de chacune de ces unités. Il est à noter que les taux de mortalité représentent seulement la mortalité ayant trait à des causes non accidentelles. En effet, il

apparaît fort peu probable que les décès accidentels puissent être accrus par l'exposition aux contaminants de l'air.

Les taux d'admission à l'hôpital pour des problèmes cardiaques et respiratoires, inclus dans AQBAT, proviennent de l'étude de Burnett *et al.* (1995) réalisée en Ontario. Ces données ont été retenues, car les taux étaient plus conservateurs que ceux tirés des banques de données administratives portant sur les services de santé; les taux de visite à l'urgence ont été dérivés à partir des taux d'admission hospitalière. D'après Stieb *et al.* (2000), il y aurait 0,76 admission à l'hôpital pour des problèmes cardiaques pour une visite à l'urgence, et 0,20 admission hospitalière pour des problèmes respiratoires pour une visite à l'urgence. Ci-dessous, sont indiqués les diagnostics faisant partie des catégories *problèmes cardiaques et problèmes respiratoires* de même que leurs codes respectifs dans l'International Classification of Diseases, 9th Revision (ICD-9) :

- problèmes cardiaques :
 - angine et infarctus du myocarde (410-414);
 - arythmie et troubles de la conduction (426-427);
 - insuffisance cardiaque (428).
- problèmes respiratoires :
 - infections respiratoires (464, 466, 480-487);
 - asthme (493);
 - maladies pulmonaires obstructives chroniques (490-492, 494-496).

Les données sur les cas de bronchite infantile et le nombre de journées de symptômes d'asthme présentées dans AQBAT ont été tirées d'études publiées dans la littérature scientifique. Contrairement aux indicateurs sanitaires décrits ci-dessus (mortalité, visites à l'urgence, hospitalisations), le même taux a été utilisé pour toutes les unités géographiques. Pour ce qui est des taux de bronchite infantile, ils proviennent d'une étude menée auprès de 13 369 enfants aux États-Unis et au Canada (Dockery *et al.*, 1996). Au cours de cette étude, les parents ont été sondés à propos de la santé respiratoire de leurs enfants. Quant aux données relatives à l'asthme (la proportion d'asthmatiques dans la population et le nombre de jours de symptômes d'asthme moyen par année), elles proviennent de deux études effectuées aux États-Unis (Whittemore et Korn, 1980; Ostro *et al.*, 1991). Sur la base de ces études, la prévalence de l'asthme dans la population est estimée à 6 %.

Les taux annuels d'indicateurs sanitaires (nombre d'événements/million de population/année) varient entre les unités géographiques en raison des différences de structure d'âge. À l'annexe 4, sont indiqués les taux utilisés pour tous les indicateurs sanitaires estimés.

2.1.4 Données de population

Les données sur la taille de la population, pour les différentes unités géographiques (divisions de recensement et zones urbaines), présentes dans AQBAT proviennent du dernier recensement, soit celui de 2001. Puisque certains impacts sanitaires concernent seulement des groupes d'âge en particulier, des données de population pour différentes strates d'âge ont été utilisées. Comme les estimations d'impacts sanitaires ont été calculées pour l'année 2002, les projections démographiques ont été faites sur les données de population de 2001 afin de produire des chiffres pour 2002.

2.2 VALEUR MONÉTAIRE DES IMPACTS SANITAIRES

Il existe plusieurs méthodes pour estimer la valeur monétaire reliée au fait de prévenir un problème de santé spécifique. La méthode du *consentement à payer* consiste à réaliser des sondages par lesquels les répondants sont amenés à évaluer la valeur qu'ils prêtent à la diminution du risque d'avoir un certain problème de santé. La valeur monétaire associée à un décès prématuré (*valeur d'une vie statistique*) a été estimée en combinant des estimations provenant d'études de consentement à payer avec d'autres estimations obtenues d'études portant sur le marché du travail (Chestnut *et al.*, 1999). Ces dernières études consistaient à comparer les salaires d'emplois comportant des niveaux de risque différents afin d'en déduire la valeur monétaire attribuable à un changement du risque de décès.

La valeur d'une vie statistique est basée sur les travaux de Rowe *et al.* (1995) et de Cropper et Freeman (1991). Selon ces travaux, la valeur d'une vie statistique d'une personne âgée de plus de 65 ans est égale à 75 % de la valeur de celle d'une personne plus jeune. Pour les personnes âgées de plus de 65 ans, la valeur d'une vie statistique est (en millions de dollars, estimation basse, centrale et haute) : de 2,3, de 3,9 et de 7,8 M\$. Pour ce qui est des personnes âgées de moins de 65 ans, les estimations sont de 3,1, de 5,2 et de 10,4 M\$. Par la suite, une valeur pondérée pour l'âge est calculée sur la base des travaux de Jones-Lee *et al.* (1985).

Les décès prématurés associés aux effets aigus de l'exposition à la pollution atmosphérique concernent surtout des personnes fragiles (à cause de la maladie ou de l'âge) dont l'espérance de vie est inférieure à celle d'une personne en santé. Il est donc présumé que 85 % des décès reliés à la pollution atmosphérique surviennent chez les personnes âgées de plus de 65 ans, ce qui génère des valeurs pondérées de 2,4, de 4,1 et de 8,2 M\$ (estimation basse, centrale et haute). Enfin, ces montants sont ajustés pour tenir compte de l'inflation en utilisant l'indice des prix à la consommation. Ainsi, l'estimation centrale employée dans AQBAT pour la valeur d'une vie statistique pondérée pour l'âge (4,1 M\$) équivalait à 4,8 M\$ de dollars en 2002.

Pour ce qui est de la morbidité, la majorité des problèmes de santé évalués par AQBAT ont été monétisés sur la base de l'étude de Stieb *et al.* (2002a). L'évaluation monétaire tient compte de plusieurs éléments : i) le coût du traitement (les coûts pour l'utilisation des services de santé à l'hôpital ou dans des cliniques médicales, les médicaments, les équipements et les autres débours du malade); ii) la productivité perdue (nombre de jours de travail manqués multiplié par le salaire journalier moyen) et iii) la douleur, les malaises et les dépenses effectuées pour éviter l'exposition aux contaminants de l'air (ex. : achat d'un climatiseur pour éviter d'ouvrir les fenêtres). Ce dernier élément est obtenu à l'aide de la méthode du consentement à payer. Le tableau de la page suivante (tableau 1) indique la répartition des coûts entre ces différents éléments. Pour les cas de bronchite aiguë infantile, AQBAT a recours à la valeur centrale de 310 \$ par événement. Pour ce qui est des impacts sanitaires présentés dans le tableau, l'estimation centrale a été employée dans AQBAT pour chacun d'entre eux en vue de calculer leur valeur monétaire.

Tableau 1 : Coûts des différents problèmes de santé utilisés dans AQBAT

	Coût du traitement	Productivité perdue	Douleur, malaise et dépenses d'évitement		Total	
			À l'hôpital	Hors de l'hôpital	Estimation centrale	Intervalle de confiance à 95 %
Admissions à l'hôpital pour des problèmes respiratoires	2 800 \$	300 \$	670 \$	410 \$	4 200 \$	(3 400 \$, 5 000 \$)
Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques	3 800 \$	270 \$	760 \$	340 \$	5 200 \$	(4 000 \$, 6 400 \$)
Visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires	930 \$	160 \$	430 \$	520 \$	2 000 \$	(1 700 \$, 2 500 \$)
Visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques	3 200 \$	210 \$	680 \$	330 \$	4 400 \$	(3 300 \$, 5 600 \$)
Jours d'activités réduites	-	25 \$	-	23 \$	48 \$	(13 \$, 82 \$)
Jours de symptômes d'asthme	-	12 \$	-	16 \$	28 \$	(11 \$, 71 \$)
Jours de symptômes respiratoires aigus	-	12 \$	-	1 \$	13 \$	(0 \$, 28 \$)

Tiré de Stieb *et al.*, 2002a

La valeur monétaire totale des impacts sanitaires de la pollution de l'air est obtenue en multipliant, pour chaque effet sur la santé, la valeur monétaire attribuée à un cas par le nombre de cas estimés en excès. En somme, l'évaluation monétaire reflète la valeur, pour la société, d'un changement de fréquence du paramètre de santé en question. La valeur monétaire des impacts sanitaires de la pollution de l'air peut être comparée aux coûts nécessaires pour diminuer cette pollution afin de déterminer si une intervention procurerait un net avantage à la société (Stieb *et al.*, 2002a).

3 RÉSULTATS

3.1 ESTIMATIONS D'IMPACTS SANITAIRES

Pour chaque unité géographique, les impacts sanitaires associés à l'exposition aux $PM_{2,5}$ (tableau 2), à l'ozone (tableau 3) et au NO_2 (tableau 4) sont présentés dans les pages suivantes. AQBAT permet également de réaliser des estimations pour le SO_2 et le CO, mais comme les concentrations de ces gaz varient beaucoup spatialement, ceci rend difficile l'estimation des impacts sanitaires qui leur sont associés. En effet, ces deux gaz sont présents en concentrations significatives seulement à proximité des sources d'émission (trafic pour le CO et certaines industries pour le SO_2) (Ito *et al.*, 2001). En conséquence, les mesures fournies par les stations d'échantillonnage pourraient ne pas représenter fidèlement l'exposition de la population. À l'annexe 5, sont présentées les estimations des impacts sanitaires associés à l'exposition au SO_2 et au CO.

Les tableaux 2 à 4 du document présentent les résultats pour les effets sanitaires suivants : i) la mortalité prématurée; ii) les visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires ou cardiaques; iii) les jours de symptômes d'asthme et iv) les cas de bronchite chez les enfants.

Avec AQBAT, il est également possible d'effectuer des estimations en ce qui a trait aux hospitalisations pour des problèmes cardiaques et respiratoires, aux jours de symptômes respiratoires aigus et aux jours d'activités réduites, mais ils ne sont pas présentés ici afin d'éviter un doublement des estimations d'impacts sanitaires. Par exemple, une partie des personnes s'étant déplacées à l'urgence pour des ennuis respiratoires ont ensuite été admises à l'hôpital si leur cas l'exigeait. Ces impacts sanitaires ont néanmoins été inclus dans le rapport (annexe 6).

Les calculs d'estimation d'impacts ont été faits à différentes échelles spatiales en fonction de la représentativité des valeurs de concentrations de contaminants de l'air (divisions de recensement (DR), agglomérations de recensement (AR) et régions métropolitaines de recensement (RMR)). Seuls les impacts sanitaires des unités géographiques pour lesquelles des mesures de contaminants de l'air sont disponibles sont présentés.

L'exposition aux $PM_{2,5}$ serait reliée à $1\,328 \pm 302$ décès prématurés dans les différentes zones urbaines et divisions de recensement indiquées dans le tableau 2. De plus, l'exposition aux $PM_{2,5}$ est associée à 38 ± 32 visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques, 414 ± 92 visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires, $62\,707 \pm 37\,781$ jours de symptômes d'asthme et $9\,505 \pm 6\,008$ cas de bronchite chez les enfants. Ces impacts sanitaires ont pu être calculés pour 3 058 210 Québécois. Les décès prématurés attribuables à l'exposition aux $PM_{2,5}$ représentent environ 5 % de la mortalité totale non accidentelle au Québec. En ce qui concerne les visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques et respiratoires, l'impact de l'exposition aux $PM_{2,5}$ est proportionnellement moins important puisqu'il constitue moins de 1 % du total.

De façon similaire, les jours de symptômes d'asthme imputables à l'exposition aux $PM_{2,5}$ représentent moins de 1 % de tous les jours de symptômes d'asthme. Cependant, les cas de bronchite infantile attribuables à l'exposition à ces contaminants constituent environ 22 % de tous les cas.

Quant à l'exposition à l'ozone, elle serait associée à 288 ± 47 décès prématurés (tableau 3) ainsi qu'à $183\,998 \pm 66\,843$ jours de symptômes d'asthme. Les impacts sanitaires reliés à ce contaminant ont pu être calculés pour 4 578 305 Québécois.

Pour terminer, l'exposition au NO_2 serait reliée à 358 ± 118 décès prématurés (tableau 4). Les impacts sanitaires associés à cette substance ont pu être calculés pour 3 702 380 Québécois.

En tout, l'exposition aux $PM_{2,5}$, à l'ozone et au NO_2 serait reliée à $1\,974 \pm 467$ décès prématurés. Ceci constitue une estimation conservatrice puisque l'absence de résultats, pour plusieurs unités géographiques, est attribuable au manque de données sur les contaminants de l'air et ne signifie pas que l'exposition soit sans effet sur la santé publique.

Tableau 2 : Impacts sanitaires de l'exposition aux PM_{2,5} estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Population en 2002		Décès prématurés (mortalité chronique)	Visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques	Visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires	Jours de symptômes d'asthme	Cas de bronchite aiguë infantile
	Totale	< 20 ans					
Saguenay (RMR408)	155 305	37 345	33 ± 7	1 ± 1	12 ± 3	2 018 ± 1 216	321 ± 196
Québec (RMR421)	684 650	150 055	237 ± 54	7 ± 6	78 ± 17	12 637 ± 7 614	1 900 ± 1 189
Trois-Rivières (RMR442)	137 990	30 660	57 ± 13	2 ± 1	17 ± 4	2 602 ± 1 567	397 ± 249
Shawinigan (AR444)	57 625	11 865	42 ± 9	1 ± 1	12 ± 3	1 567 ± 944	235 ± 152
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	79 725	20 250	22 ± 5	1 ± 1	7 ± 2	1 217 ± 733	207 ± 128
Montréal (RMR462)							
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	1 817 040	384 675	909 ± 207	24 ± 20	275 ± 61	40 449 ± 24 371	6 028 ± 3 834
L'Assomption (DR2460)	103 950	29 045	21 ± 5	1 ± 1	10 ± 2	1 892 ± 1 140	362 ± 226
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	21 925	5 570	7 ± 2	1 ± 0,2	2 ± 0,5	325 ± 196	55 ± 34
Total	3 058 210	669 465	1 328 ± 302	38 ± 32	414 ± 92	62 707 ± 37 781	9 505 ± 6 008

AR : Agglomération de recensement

RMR : Région métropolitaine de recensement

DR : Division de recensement

Tableau 3 : Impacts sanitaires de l'exposition à l'ozone estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Population totale en 2002	Décès prématurés (mortalité aiguë)	Jours de symptômes d'asthme
		Moyenne ± écart-type	Moyenne ± écart-type
Saguenay (RMR408)	155 305	3 ± 0,5	ND
Québec (RMR421)	684 650	45 ± 7	24 369 ± 8 834
Trois-Rivières (RMR442)	137 990	9 ± 2	5 253 ± 1 905
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	79 725	7 ± 1	4 246 ± 1 547
Beauce-Sartigan (DR2429)	47 920	4 ± 0,7	2 374 ± 864
Portneuf (DR2434)	45 105	4 ± 0,7	1 953 ± 710
Le Centre-de-la-Mauricie (DR2436)	65 150	6 ± 1	2 323 ± 842
Arthabaska (DR2439)	64 245	6 ± 1	3 216 ± 1 171
Le Haut-Saint-François (DR2441)	21 445	2 ± 0,4	1 030 ± 375
Memphrémagog (DR2445)	42 085	5 ± 0,8	2 153 ± 784
Nicolet-Yamaska (DR2450)	23 590	3 ± 0,5	1 217 ± 443
Les Maskoutains (DR2454)	79 100	7 ± 1	3 556 ± 1 293
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	21 925	3 ± 0,4	1 231 ± 449
Les Laurentides (DR2478)	38 590	3 ± 0,6	1 489 ± 540
Antoine-Labelle (DR2479)	33 600	2 ± 0,3	742 ± 268
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	226 620	10 ± 2	10 555 ± 3 839
Les Collines-de-l'Outaouais (DR2482)	35 170	2 ± 0,3	1 731 ± 630
Le Haut-Saint-Maurice (DR2490)	15 890	1 ± 0,2	423 ± 153
Montmagny (DR2418)	23 545	2 ± 0,4	909 ± 330
La Jacques-Cartier (DR2422)	26 400	1 ± 0,1	713 ± 258
Le Domaine-du-Roy (DR2491)	32 910	2 ± 0,3	955 ± 346

Tableau 3 : Impacts sanitaires de l'exposition à l'ozone estimés par AQBAT pour l'année 2002 (suite)

	Population totale en 2002	Décès prématurés (mortalité aiguë)	Jours de symptômes d'asthme
		Moyenne ± écart-type	Moyenne ± écart-type
Montréal (RMR462)			
Champlain (DR2458)	312 635	20 ± 3	15 438 ± 5 620
Lajemmerais (DR2459)	100 215	4 ± 0,7	4 616 ± 1 679
L'Assomption (DR2460)	103 950	5 ± 0,7	4 731 ± 1 720
Laval (DR2465)	343 505	20 ± 3	15 197 ± 5 524
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	1 817 040	112 ± 18	73 574 ± 26 716
Total	4 578 305	288 ± 47	183 998 ± 66 843

AR : Agglomération de recensement
RMR : Région métropolitaine de recensement
DR : Division de recensement
ND : Non disponible

Tableau 4 : Impacts sanitaires de l'exposition au NO₂ estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Population totale en 2002	Décès prématurés (mortalité aiguë) Moyenne ± écart-type
Québec (RMR421)	684 650	58 ± 19
Trois-Rivières (RMR442)	137 990	7 ± 2
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	79 725	3 ± 1
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	226 620	10 ± 3
Montréal (RMR462)		
Champlain (DR2458)	312 635	21 ± 7
Lajemmerais (DR2459)	100 215	3 ± 1
Laval (DR2465)	343 505	28 ± 9
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	1 817 040	228 ± 76
Total	3 702 380	358 ± 118

AR : Agglomération de recensement
RMR : Région métropolitaine de recensement
DR : Division de recensement

3.2 ESTIMATIONS DE LA VALEUR MONÉTAIRE DES IMPACTS SANITAIRES

La valeur monétaire totale des impacts sanitaires des PM_{2,5}, de l'ozone et du NO₂ est estimée à 9 486 049 490 \$ (\pm 2 246 716 752 \$) annuellement. De ce montant, 9 475 200 000 \$ (\pm 2 241 600 000 \$) sont reliés à la mortalité prématurée (en considérant les données disponibles pour ces contaminants). Quant à la valeur annuelle des visites à l'urgence, elle est de 828 000 \$ (\pm 184 000 \$) pour des problèmes respiratoires et de 167 200 \$ (\pm 140 800 \$) pour des problèmes cardiaques. Finalement, la valeur annuelle des jours de symptômes d'asthme est de 6 907 740 \$ (\pm 2 929 472 \$), et celle des cas de bronchite infantile est de 2 946 550 \$ (\pm 1 862 480 \$).

4 DISCUSSION DES RÉSULTATS

La modélisation des impacts sanitaires de la pollution atmosphérique, particulièrement lorsqu'elle est menée à l'échelle d'un territoire aussi grand et hétérogène que le Québec, repose sur une série d'hypothèses. Les sources d'incertitudes à considérer sont multiples, et leurs impacts potentiels sur les estimations réalisées seront discutés dans ce chapitre.

4.1 CONCENTRATIONS DES CONTAMINANTS DE L'AIR

Les estimations d'impacts sanitaires de la pollution atmosphérique dépendent grandement des données de concentrations de contaminants que comprend le modèle AQBAT. Il faut rappeler que deux groupes de données sont utilisés dans le modèle, soit : i) les concentrations mesurées en 2002 par les stations d'échantillonnage et ii) les concentrations hypothétiques (modélisées) dans le cas où les émissions anthropiques seraient réduites à zéro. Ces deux groupes de données présentent des incertitudes.

D'une part, les données provenant des stations d'échantillonnage sont employées afin de représenter les concentrations ambiantes pour chaque zone habitée du Québec. Vu la grande variabilité spatiale des concentrations de contaminants de l'air, un grand nombre de stations d'échantillonnage serait nécessaire afin de représenter adéquatement l'exposition de la population. Le SO₂ et le CO sont notamment caractérisés par une variabilité spatiale particulièrement marquée. Conséquemment, les estimations d'impacts sanitaires qui leur sont associées sont moins fiables. De plus, certaines stations d'échantillonnage ont été installées à proximité d'installations industrielles afin de vérifier la conformité de leurs émissions (particulièrement pour le SO₂); ces stations ne représentent donc pas fidèlement l'exposition de la population. Ainsi, l'amélioration du réseau de surveillance de la qualité de l'air (davantage de stations d'échantillonnage couvrant plus de territoire) permettrait d'obtenir de meilleures estimations d'impacts sanitaires et d'étendre l'évaluation à toute la population du Québec. En effet, il n'a été possible d'estimer les impacts sanitaires de la pollution atmosphérique que pour environ la moitié de la population québécoise à cause du manque de données. De même, les mesures de contaminants obtenues de l'appareil TEOM tendent à sous-estimer les concentrations de PM_{2,5}. En conséquence, les impacts sanitaires associés aux PM_{2,5} seront également sous-estimés.

D'autre part, les concentrations hypothétiques de contaminants de l'air proviennent, en l'absence de sources anthropiques, d'estimations réalisées par Environnement Canada. Ces modifications ont été obtenues par diverses stratégies de dérivation de données, mais elles sont évidemment liées à une incertitude puisqu'il est impossible de connaître les concentrations de contaminants de l'air, qui seraient présentes en l'absence de toute activité humaine.

4.2 FONCTIONS CONCENTRATION-RÉPONSE

4.2.1 Transfert des résultats d'études épidémiologiques

Les fonctions concentration-réponse de AQBAT sont tirées de plusieurs études épidémiologiques en vue de définir la relation entre les concentrations ambiantes de contaminants et l'augmentation de la morbidité et de la mortalité. La méthode d'estimation des impacts sanitaires employée ici consiste donc à transférer des résultats obtenus dans le cadre d'une étude menée dans un contexte spécifique à un autre contexte, soit aux différentes unités géographiques du Québec. Certains facteurs pourraient fausser les estimations d'impacts sanitaires ainsi réalisées, par exemple des différences dans la composition du mélange de contaminants atmosphériques ou dans les caractéristiques populationnelles pourraient modifier l'effet des contaminants. Afin de réduire l'effet de ces facteurs, il est préférable d'avoir recours à des études effectuées dans des régions géographiques rapprochées de l'endroit où les résultats seront transférés. En effet, les résultats de ces recherches seraient plus susceptibles d'être appropriés au contexte local. Dans AQBAT, les fonctions concentration-réponse proviennent d'études canadiennes, lorsqu'elles sont disponibles ou, à défaut de venir d'études du pays, elles sont tirées d'études américaines.

4.2.2 Choix de l'échelle spatiale de calcul

La plupart des études sur lesquelles sont basées les fonctions concentration-réponse ont été menées à l'échelle de villes. Le fait d'appliquer ces fonctions à d'autres entités que des villes, soit les divisions de recensement ou les zones urbaines, pourrait fausser les résultats. Cependant, il est difficile de prévoir si l'application des fonctions concentration-réponse à d'autres entités que des villes donnerait lieu à une surestimation ou à une sous-estimation.

4.2.3 Inclusion des impacts sanitaires

Plusieurs effets sanitaires reliés à l'exposition aux contaminants de l'air n'ont pas été analysés, par exemple les effets des contaminants sur la reproduction (comme l'augmentation du risque de présenter un faible poids à la naissance). Faute d'étude épidémiologique sur ces effets, la non-disponibilité de fonctions concentration-réponse au moment où AQBAT a été mis au point explique qu'ils n'aient pas été inclus dans l'analyse.

4.3 EFFETS DE L'EXPOSITION À COURT TERME VERSUS EFFETS DE L'EXPOSITION À LONG TERME

La plupart des impacts sanitaires estimés dans le présent rapport sont des effets aigus de l'exposition aux contaminants de l'air. En effet, seuls les cas de bronchite chronique et une partie de la mortalité prématurée sont attribués à l'exposition à long terme aux contaminants de l'air. Ceci reflète l'état actuel des connaissances, lesquelles sont plus développées pour les effets aigus que pour les effets chroniques. Le nombre de décès prématurés attribuables à l'exposition à long terme aux $PM_{2,5}$ dépasse largement le nombre de décès imputables aux

autres contaminants de l'air, lequel est plutôt associé à l'exposition à court terme. Selon Künzli *et al.* (2001), les effets sanitaires provenant d'études portant sur l'exposition à court terme doivent être interprétés différemment de ceux provenant d'études d'exposition à long terme. Par exemple, la mortalité prématurée reliée à l'augmentation de courte durée des concentrations de contaminants ne devrait pas être utilisée pour calculer une augmentation annuelle de la mortalité. Manifestement, le fait d'attribuer une dimension temporelle aux résultats d'études de séries chronologiques implique de connaître la durée de vie perdue dans les cas de décès prématurés alors que les études d'exposition à court terme ne peuvent fournir de renseignements à ce propos (voir section 1.3).

4.4 TAUX DE BASE DES INDICATEURS SANITAIRES

Les taux de mortalité, compris dans AQBAT, se rapportant aux causes non accidentelles proviennent de banques de données administratives. Les taux employés ne sont pas spécifiques au Québec, mais ils ont plutôt été calculés à partir des taux moyens de l'ensemble des provinces canadiennes, puis ils ont été modifiés pour tenir compte de la structure d'âge des populations des unités géographiques québécoises. L'exactitude des estimations pourrait être améliorée par le recours aux taux de mortalité, d'admission hospitalière et de visite à l'urgence provenant des fichiers de la Régie de l'assurance maladie du Québec (RAMQ).

Dans le cas de l'asthme, un taux unique a été employé pour toutes les unités géographiques, ce qui implique que la prévalence de l'asthme et l'incidence des jours de symptômes chez les asthmatiques ne varient pas avec l'âge. La précision des estimations pourrait être accrue grâce à l'utilisation de taux d'asthme spécifiques pour les différents groupes d'âge et pour les différentes régions du Québec. Cependant, l'emploi de taux provenant d'études d'où sont tirées les fonctions concentration-réponse assure une cohérence dans les données utilisées pour les calculs.

4.5 VALEUR MONÉTAIRE DES IMPACTS SANITAIRES

Dans AQBAT, la valeur attribuée aux impacts sanitaires ne représente pas des paiements directs sur le marché : ce ne sont pas des « coûts » à proprement parler. Il s'agit plutôt d'une estimation du montant que la société serait prête à payer pour éviter de subir ces impacts négatifs. L'examen des résultats reliés à la valeur monétaire des impacts sanitaires indique qu'il y a une disproportion dans l'importance accordée à la mortalité par rapport à la morbidité. En effet, la quasi-totalité de la valeur globale des impacts sanitaires est imputable à la mortalité prématurée. Ceci s'explique par le montant attribué à chaque décès prématuré, soit 4,8 M\$, un montant élevé en comparaison de ceux attribués aux effets morbides, lesquels vont de 4 400 \$ pour une visite à l'urgence concernant des problèmes cardiaques à 28 \$ pour un jour de symptômes d'asthme.

La méthode d'évaluation monétaire des impacts sanitaires qu'emploie AQBAT est le *gold standard* (utilisée en évaluation économique). Cette méthode a été appliquée à plusieurs problématiques environnementales, notamment au benzène dans les déshydrateurs de gaz naturel, à la réglementation concernant l'huile diesel, au soufre dans l'essence, à la stratégie relative aux pluies acides, à la pollution atmosphérique transfrontalière, aux objectifs relatifs à l'assainissement de l'air ainsi qu'aux normes pancanadiennes appliquées à la matière particulaire et à l'ozone.

5 CONCLUSION

La pollution atmosphérique a des impacts importants sur la santé de la population. Pour l'année 2002, avec l'aide de l'outil AQBAT, une estimation conservatrice des impacts de l'exposition aux $PM_{2,5}$, à l'ozone et au NO_2 a été réalisée. Elle indique un bilan de 1 974 (\pm 467) décès prématurés, ce qui représente près de 7 % de la mortalité totale. En ce qui concerne la morbidité, l'exposition aux $PM_{2,5}$ serait la cause de 38 (\pm 32) visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques, de 414 (\pm 92) visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires et de 246 705 (\pm 104 624) journées de symptômes d'asthme. Il est particulièrement frappant de constater que l'exposition aux $PM_{2,5}$ serait la cause de 9 505 (\pm 6 008) cas de bronchite chez les enfants, ce qui représente 22 % de tous les cas de bronchite infantile. En se basant sur l'estimation de la valeur monétaire des différents effets sur la santé inclus dans l'évaluation, les impacts sanitaires auraient une valeur (négative) d'environ 10 G\$ annuellement.

L'utilisation de l'outil AQBAT comporte plusieurs limites. Par exemple, les estimations d'impacts sanitaires n'ont pu être effectuées que pour environ la moitié de la population du Québec, principalement parce que le niveau d'exposition du reste de la population est mal quantifié. De plus, malgré le fait qu'il ne soit pas possible de les estimer à l'aide d'AQBAT, une panoplie d'autres effets sanitaires néfastes peuvent être imputés à la pollution atmosphérique; les personnes les plus vulnérables de la population sont les plus touchées. De fait, de nombreux impacts sanitaires n'ont pas été retenus dans notre analyse, notamment ceux reliés à la reproduction. En dépit de ses limites, AQBAT est un outil permettant de quantifier les impacts de la pollution de l'air au Canada. D'ailleurs, une telle quantification peut permettre d'influencer les politiques environnementales. L'utilisation d'AQBAT peut de même être grandement utile dans l'évaluation des impacts associés par exemple à des nouveaux projets d'infrastructures (ex. : nouveau projet autoroutier). Finalement, son emploi peut s'avérer intéressant lorsqu'il est question des activités de suivi des problèmes de santé attribuables à la pollution de l'air.

La pollution atmosphérique résulte de multiples sources : les industries, le transport, le chauffage au bois, l'incinération des déchets, etc. Il est donc difficile de préciser la contribution relative de ces différentes sources à l'exposition des populations de chaque région du Québec. Néanmoins, puisque des impacts de la pollution atmosphérique sur la santé de la population sont constatés, en tenant compte des concentrations actuellement présentes au Québec, il importe de trouver des solutions efficaces en vue de réduire la concentration des contaminants de l'air étant la source de ces impacts. Récemment, l'Organisation mondiale de la santé (OMS) a mis les gouvernements du monde entier au défi d'améliorer la qualité de l'air afin de protéger la santé de leurs populations en publiant ses nouvelles *Directives relatives à la qualité de l'air* (Organisation mondiale de la santé, 2005). Ces directives proposent des normes pour les concentrations de contaminants qui sont considérablement plus strictes que les précédentes. L'OMS est d'avis que ces normes constituent un élément important de la gestion des risques et des politiques environnementales sur le plan national.

RÉFÉRENCES

- Abbey, D. E., Lebowitz, M. D., Mills, P. K., Petersen, F. F., Beeson, W. L. et Burchette, R. J. (1995). Long-term ambient concentrations of particulates and oxidants and development of chronic disease in a cohort of non- smoking California residents. *Inhalation Toxicology*, 7, 19-34.
- Bell, M. L., Davis, D. L., Gouveia, N., Borja-Aburto, V. H. et Cifuentes, L. A. (2006). The avoidable health effects of air pollution in three Latin American cities: Santiago, Sao Paulo, and Mexico City. *Environmental Research*, 100, 431-440.
- Burnett, R. T., Brook, J. R., Yung, W. T., Dales, R. E. et Krewski, D. (1997a). Association between ozone and hospitalization for respiratory diseases in 16 Canadian cities. *Environmental Research*, 72, 24-31.
- Burnett, R. T., Dales, R., Krewski, D., Vincent, R., Dann, T. et Brook, J.R. (1995). Associations between ambient particulate sulfate and admissions to Ontario hospitals for cardiac and respiratory diseases. *American Journal of Epidemiology*, 142, 15-22.
- Burnett, R. T., Dales, R. E., Brook, J. R., Raizenne M. E. et Krewski, D. (1997b). Association between ambient carbon monoxide levels and hospitalizations for congestive heart failure in the elderly in 10 Canadian cities. *Epidemiology*, 8, 162-167.
- Burnett, R. T., Stieb, D., Brook, J. R., Cakmak, S., Dales, R., Raizenne. M. *et al.* (2004). Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 59, 228-236.
- Chestnut, L.G., Mills, D. et Stratus Consulting (1999). *Air Quality Valuation Model Version 3.0 (AQVM 3.0)* (Report 2 : Methodology).
- Cropper, M. L. et Freedman, A. M. (1991). Environmental health effects. In J. B. Braden et C. D. Kolstad (éd.). *Measuring the demand for environmental quality*. North Holland, New York.
- Deck, L. B., Post, E. S., Smith, E., Wiener, M., Cunningham, K. et Richmond, H. (2001). Estimates of the health risk reductions associated with attainment of alternative particulate matter standards in two U.S. cities. *Risk Analysis*, 21, 821-836.
- Dockery, D. W., Cunningham, J., Damokosh, A. I., Neas, L. M., Spengler, J. D., Koutrakis, P. *et al.* (1996). Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environmental Health Perspectives*, 104, 500-505.
- Dockery, D. W., Pope, C. A. III, Xu, X., Spengler, J. D., Ware, J. H., Fay, M. E. *et al.* (1993). An association between air pollution and mortality in six U.S. cities. *The New England Journal of Medicine*, 329, 1753-1759.

Gauderman, W. J., Avol, E., Gilliland, F., Vora, H., Thomas, D., Berhane, K. *et al.* (2004). The effect of air pollution on lung development from 10 to 18 years of age. *New England Journal of Medicine*, 351, 1057-1067.

Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Bailar, J. C. III, Brook, J., Bonvalot, Y., Tamblyn, R. *et al.* (2001a). The association between daily mortality and ambient air particle pollution in Montreal, Quebec. 2. Cause-specific mortality. *Environmental Research*, 86, 26-36.

Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Brook, J., Bailar, J. C. III, Valois M. F. et Vincent, R. (2001b). Associations between daily cause-specific mortality and concentrations of ground-level ozone in Montreal, Quebec. *American Journal of Epidemiology*, 154, 817-826.

Goldberg, M. S., Burnett, R. T., Yale, J. F., Valois, M. F. et Brook, J. R. (2006). Associations between ambient air pollution and daily mortality among persons with diabetes and cardiovascular disease. *Environmental Research*, 100, 255-267.

Health Effects Institute. (2000). *Special report: Reanalysis of the Harvard six cities study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality*. Cambridge, MA : Auteur.

Ito, K., Thurston, G. D., Nadas, A. et Lippmann, M. (2001). Monitor-to-monitor temporal correlation of air pollution and weather variables in the North-Central U.S. *Journal of Exposure Analysis and Environmental Epidemiology*, 11, 21-32.

Jones-Lee, M. W., Hammerton, M. et Philips, P. R. (1985). The value of safety: results of a national sample survey. *The Economical Journal*, 95, 49-72.

Judek, S. et Stieb, D. (2006). *Introduction à l'outil d'évaluation des bénéfices lié à la qualité de l'air*. [Document électronique d'aide accompagnant le logiciel AQBAT]. Direction générale de la santé environnementale et de la sécurité des consommateurs, Santé Canada.

Katsouyanni, K., Touloumi, G., Spix, C., Schwartz, J., Balducci, F., Medina, S. *et al.* (1997). Short-term effects of ambient sulphur dioxide and particulate matter on mortality in 12 European cities: results from time series data from the APHEA project. *Air pollution and health: a European approach*. *British Medical Journal*, 314, 1658-1663.

Krupnick, A. J. et Harrington, W. (1990). Ambient ozone and acute health effects: evidence from daily data. *Journal of Environmental Economics and Management*, 18, 1-18.

Künzli, N. (2005). Unifying susceptibility, exposure, and time: discussion of unifying analytic approaches and future directions. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 68, 1263-1271.

Künzli, N., Kaiser, R., Medina, S., Studnicka, M., Chanel, O., Filliger, P. *et al.* (2000). Public-health impact of outdoor and traffic-related air pollution: a European assessment. *Lancet*, 356, 795-801.

Künzli, N., Medina, S., Kaiser, R., Quenel, P., Horak, F. Jr. et Studnicka, M. (2001). Assessment of deaths attributable to air pollution: should we use risk estimates based on time series or on cohort studies? *American Journal of Epidemiology*, 153, 1050-1055.

Laden, F., Schwartz, J., Speizer, F. E. et Dockery, D. W. (2006). Reduction in fine particulate air pollution and mortality: extended follow-up of the Harvard six cities study. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 173, 667-672.

Medina, S., Plasencia, A., Ballester, F., Mucke, H. G. et Schwartz, J. (2004). Apheis: public health impact of PM10 in 19 European cities. *Journal of Epidemiology and Community Health*, 58, 831-836.

Organisation mondiale de la santé. (2000). *Quantification of health effects of exposure to air pollution, Report of a WHO working group*. (Rapport no:EUR/01/5026342E74256) Bilthoven, Pays-Bas : Auteur.

Organisation mondiale de la santé. (2005). *WHO air quality guidelines for particulate matter, ozone, nitrogen dioxide and sulfur dioxide. Summary of risk assessment*. Auteur.

Ostro, B. D. (1987). Air pollution and morbidity revisited. *Journal of Environmental Economics and Management*, 14, 87-98.

Ostro, B. D., Lipsett, M. J., Wiener, M. B. et Selner, J. C. (1991). Asthmatic responses to airborne acid aerosols. *American Journal of Public Health*, 81, 694-702.

Ostro, B. D. et Rothschild, S. (1989). Air pollution and acute respiratory morbidity: an observational study of multiple pollutants. *Environmental Research* 50, 238-247.

Pope, C. A. III, Thun, M. J., Namboodiri, M. M., Dockery, D. W., Evans, J. S., Speizer, F. E. et al. (1995). Particulate air pollution as a predictor of mortality in a prospective study of U.S. adults. *American Journal of Respiratory and Critical Care Medicine*, 151, 669-674.

Rabl, A. (2005). Air pollution mortality: harvesting and loss of life expectancy. *Journal of Toxicology and Environmental Health Part A*, 68, 1175-1180.

Rowe, R. D., Lang, C. M., Chestnut, L. G., Latimer, G., Rae, D., Bernow, S. M. et al. *The New York externality study*. New York : Oceana Publications.

Schwartz, J. (1994). Air pollution and daily mortality: a review and meta-analysis. *Environmental Research*, 64, 36-52.

Sram, R.J., Binkova, B., Dejmek, J. et Bobak, M. (2005). Ambient air pollution and pregnancy outcomes: a review of the literature. *Environmental Health Perspectives*, 113, 375-382.

Stieb, D. M., Beveridge, R. C., Brook, J. R., Smith-Doiron M., Burnett, R. T., Dales, R. E. *et al.* (2000). Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada. *Journal of Exposure Analysis Environmental Epidemiology*, 10, 461-477.

Stieb, D. M., De Civita, P., Johnson, F. R., Manary, M. P., Anis, A. H., Beveridge, R. C. *et al.* (2002a). Economic evaluation of the benefits of reducing acute cardiorespiratory morbidity associated with air pollution. *Environmental Health*, 1, 7.

Stieb, D. M., Smith-Doiron, M., Brook, J. R., Burnett, R. T., Dann, T., Mamedov, A. *et al.* (2002b). Air pollution and disability days in Toronto: results from the national population health survey. *Environmental Research*, 89, 210-219.

Whittemore, A. S. et Korn, E. L. (1980). Asthma and air pollution in the Los Angeles area. *American Journal of Public Health*, 70, 687-696.

Wilson, R. et Spengler, J. D. (1996). *Particles in our air: concentrations and health effects*. Cambridge, MA : Havard University Press.

ANNEXE 1

DESCRIPTION DES ÉTUDES ÉPIDÉMIOLOGIQUES UTILISÉES DANS AQBAT

Description des études épidémiologiques utilisées dans AQBAT

1. Surmortalité à court terme (O₃, CO, NO₂ et SO₂)

Burnett, R. T., Stieb, D., Brook, J. R., Cakmak, S., Dales, R., Raizenne, M. *et al.* (2004). Associations between short-term changes in nitrogen dioxide and mortality in Canadian cities. *Archives of Environmental Health*, 59, 228-236.

Burnett *et al.* ont étudié l'association entre les changements journaliers de concentrations des contaminants gazeux de l'air et la mortalité de 12 villes canadiennes : Halifax, Saint-Jean, Québec, Montréal, Ottawa, Toronto, Hamilton, Windsor, Winnipeg, Edmonton, Calgary et Vancouver. Pour chacune de ces 12 villes, des mesures journalières de NO₂, O₃, SO₂ et CO étaient disponibles pour toute la durée de la période (1 à 9 ans). La plupart des villes disposaient de plusieurs stations d'échantillonnage, et la moyenne des mesures de ces stations a été retenue afin de créer une mesure unique journalière de contaminants. Les moyennes journalières ont été utilisées dans les analyses portant sur le NO₂, le SO₂ et le CO, et le maximum sur une heure, dans les analyses portant sur l'O₃. Quant au modèle multicontaminants, c'est-à-dire celui estimant l'impact combiné des quatre gaz, il a été retenu pour estimer la mortalité associée à l'exposition aux contaminants gazeux dans AQBAT.

2. Surmortalité à long terme (PM_{2,5})

Health Effects Institute. (2000). *Special report: Reanalysis of the Harvard six cities study and the American Cancer Society study of particulate air pollution and mortality*. Cambridge, MA : Auteur.

Une nouvelle analyse des données provenant des études intitulées *Harvard Six Cities Study* et *American Cancer Society Study of Particulate Air Pollution and Mortality* a été effectuée par Krewski *et al.* (Health Effects Institute, 2000), et les résultats de ces analyses ont été utilisés pour estimer la mortalité associée à l'exposition chronique aux particules fines. Pour ce faire, les taux de décès par strate d'âge de villes présentant différentes concentrations de contaminants ont été comparés. Ces deux études, d'une ampleur impressionnante, constituent une base très solide pour réaliser des estimations d'impacts sanitaires puisqu'elles sont basées respectivement sur les données concernant 8 111 et 552 138 personnes suivies sur plusieurs années. L'effet des particules fines étant plus marqué que celui des autres contaminants atmosphériques, seuls les résultats qui concernent les particules fines ont été retenus dans le calcul des impacts sanitaires.

3. Exposition aux PM_{2,5} et visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques et respiratoires; exposition à l'ozone et visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires

Stieb, D. M., Beveridge, R. C., Brook, J. R., Smith-Doiron M., Burnett, R. T., Dales, R. E. *et al.* (2000). Air pollution, aeroallergens and cardiorespiratory emergency department visits in Saint John, Canada. *Journal of Exposure Analysis Environmental Epidemiology*, 10, 461-477.

Stieb *et al.* ont étudié le lien entre une grande variété de problèmes cardiaques et respiratoires et plusieurs contaminants de l'air et aéroallergènes. Ils ont examiné l'association entre la pollution atmosphérique, les aéroallergènes et les visites à l'urgence pour des problèmes cardiorespiratoires à Saint-Jean (Terre-Neuve) (n = 19 821) pour la période comprise entre 1992 et 1996, au moyen d'analyses de séries temporelles. Ces analyses ont pris en compte l'effet des conditions climatiques ainsi que le jour de la semaine; des modèles multicontaminants et unicontaminant ont été construits. Au cours de l'étude, une station a échantillonné pendant l'étude complète, et jusqu'à trois stations spéciales ont échantillonné de façon temporaire en 1994 et en 1995, ce qui a permis de relever des données relatives aux contaminants atmosphériques. Les modèles unicontaminant ont montré une association entre les mesures de particules fines et d'ozone et les visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques et respiratoires.

4. Épisodes de bronchite aiguë associés aux PM_{2,5} chez des enfants

Dockery, D. W., Cunningham, J., Damokosh, A. I., Neas, L. M., Spengler, J. D., Koutrakis, P. *et al.* (1996). Health effects of acid aerosols on North American children: respiratory symptoms. *Environmental Health Perspectives*, 104, 500-505.

Dockery *et al.* ont examiné l'association entre l'exposition à la pollution de l'air acide et les effets respiratoires chez 13 369 enfants âgés de 8 à 12 ans de 24 communautés non urbaines aux États-Unis et au Canada entre 1988 et 1991. Les concentrations de contaminants de l'air ont été mesurées dans chaque communauté pendant un an, et la santé respiratoire des enfants a été sondée au moyen d'un questionnaire rempli par le parent. Les analyses ont tenu compte du sexe, des allergies, de l'asthme parental, de l'éducation parentale et de l'exposition passive à la fumée de tabac. Au cours de la dernière année, les chercheurs ont observé un risque accru de bronchite chez les enfants de la communauté où la plus forte concentration de particules acides a été relevée comparativement au risque qu'ils ont observé chez les enfants de la communauté présentant la plus faible concentration de ce type de particules. (OR=1,66, intervalle de confiance à 95 % : 1,11-2,48).

5. Jours de symptômes d'asthme associés à l'ozone et aux PM_{2,5}

Whittemore, A. S. et Korn, E. L. (1980). Asthma and air pollution in the Los Angeles area. *American Journal of Public Health*, 70, 687-696.

Whittemore *et al.* ont conduit une étude portant sur 443 personnes asthmatiques qui résidaient dans la région de Los Angeles aux États-Unis. Des données ayant trait à la survenue de crises d'asthme ont été recueillies sur une période 34 semaines de 1972 à 1975, et leur association avec les concentrations de contaminants atmosphériques a été examinée. De plus, l'effet des variables reliées au climat (température, humidité, vitesse des vents) a été pris en compte dans les analyses. Les résultats ont montré que le risque de crise d'asthme était significativement supérieur les jours où les concentrations d'oxydants et de particules étaient élevées.

Ostro, B. D., Lipsett, M. J., Wiener, M. B. et Selner, J. C. (1991). Asthmatic responses to airborne acid aerosols. *American Journal of Public Health*, 81, 694-702.

Ostro *et al.* ont mené une étude qui portait sur 207 personnes asthmatiques habitant la région de Denver aux États-Unis. Des données sur les symptômes respiratoires et la prise de médicaments ont été recueillies durant la période hivernale de 1987-1988, et leur association aux concentrations de contaminants atmosphériques (H⁺, acide nitrique, particules fines, sulfates et nitrates) a été vérifiée. Les résultats ont établi que certains symptômes respiratoires étaient significativement associés à des contaminants : la toux, aux particules fines et la respiration courte, aux sulfates.

ANNEXE 2

CARTES DES DIVISIONS GÉOGRAPHIQUES ET DES EMPLACEMENTS DES STATIONS D'ÉCHANTILLONNAGE

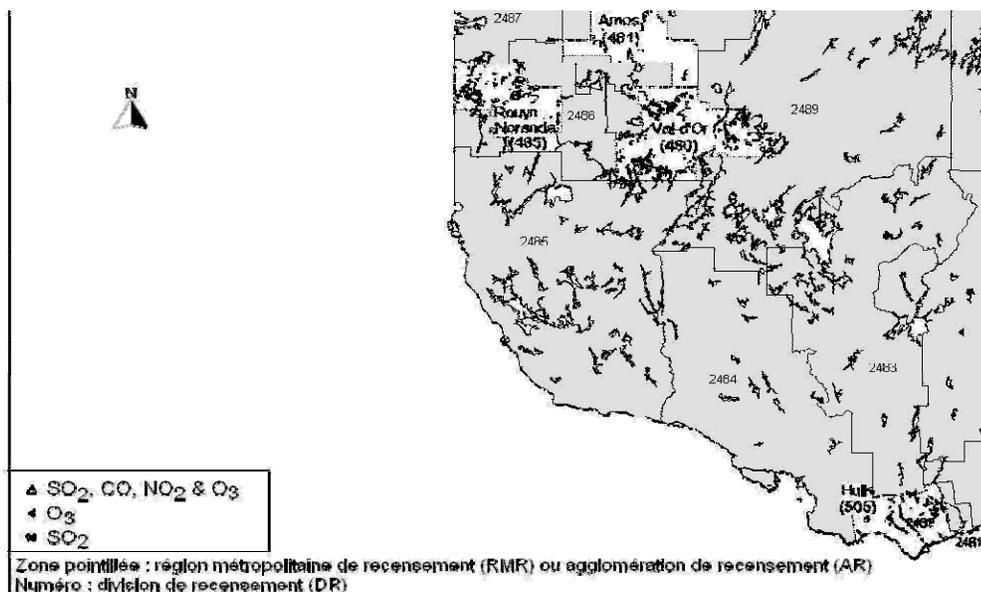
Cartes des divisions géographiques et des emplacements des stations d'échantillonnage

Découpage de la carte du Québec en cinq zones



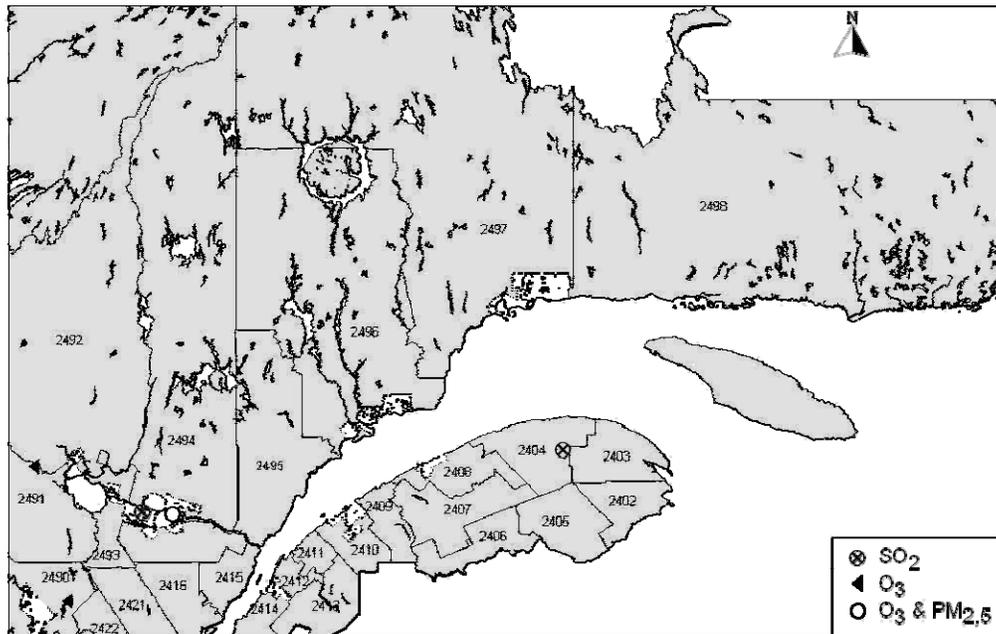
Zone pointillée : région métropolitaine de recensement (RMR) ou agglomération de recensement (AR)
Source : Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique et Recensement de 2001

Zone 1 : divisions de recensement et stations d'échantillonnage



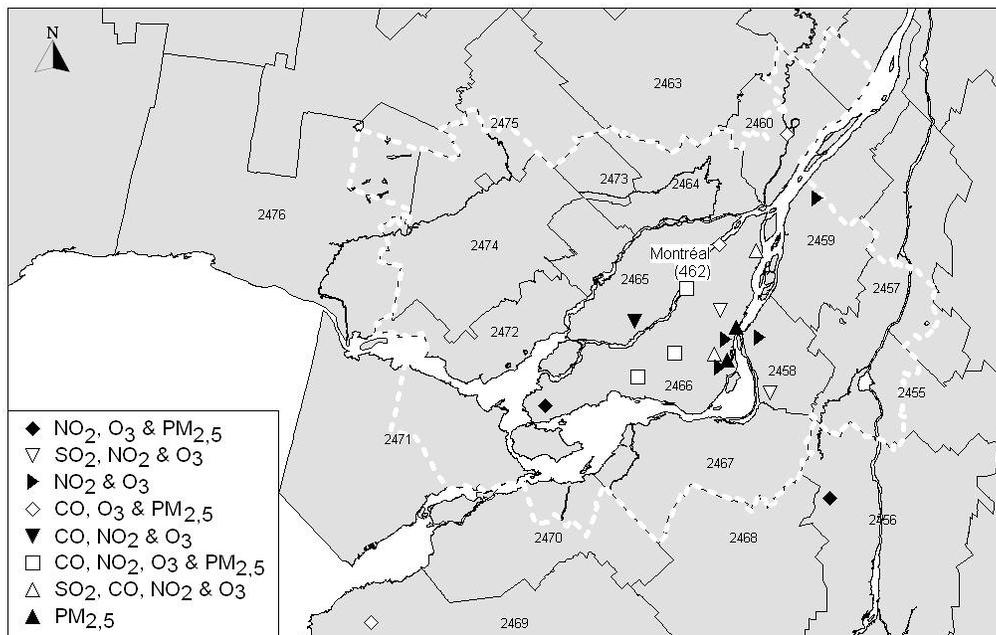
Source : Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique et Recensement de 2001

Zone 2 : divisions de recensement et stations d'échantillonnage



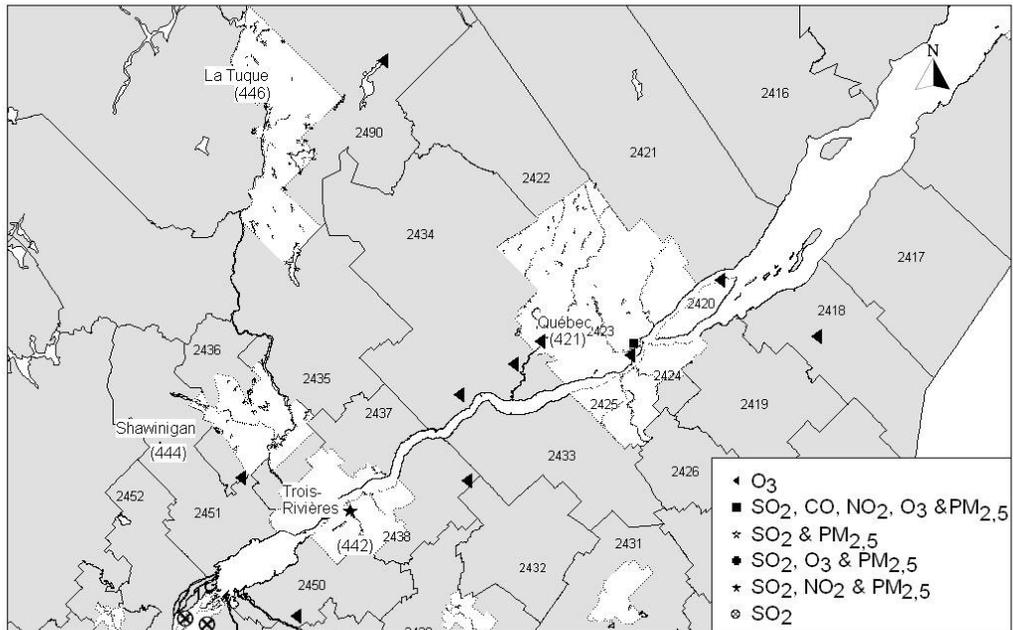
Zone pointillée : région métropolitaine de recensement (RMR) ou agglomération de recensement (AR)
 Source : Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique et Recensement de 2001

Zone 3 : divisions de recensement et stations d'échantillonnage



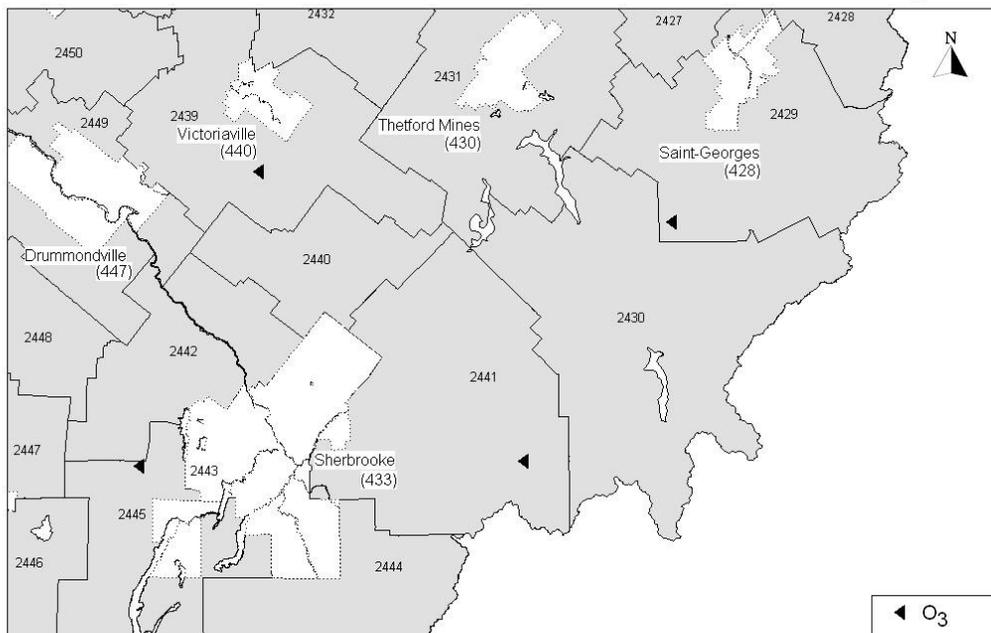
Zone pointillée : région métropolitaine de recensement (RMR) ou agglomération de recensement (AR)
 Numéro : division de recensement (DR)
 Source : Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique et Recensement de 2001

Zone 4 : divisions de recensement et stations d'échantillonnage



Zone pointillée : région métropolitaine de recensement (RMR) ou agglomération de recensement (AR)
Numéro : division de recensement (DR)
Source : Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique et Recensement de 2001

Zone 5 : divisions de recensement et stations d'échantillonnage



Zone pointillée : région métropolitaine de recensement (RMR) ou agglomération de recensement (AR)
Numéro : division de recensement (DR)
Source : Réseau national de surveillance de la pollution atmosphérique et Recensement de 2001

ANNEXE 3

MESURES DES CONCENTRATIONS DE CONTAMINANTS PAR UNITÉ GÉOGRAPHIQUE

Mesures des concentrations de contaminants par unité géographique

Tableau 5 : Concentrations moyennes de contaminants atmosphériques mesurées en 2002 dans AQBAT

	NO ₂ (ppb) moyenne sur 24 h	PM _{2,5} (µg/m ³) moyenne sur 24 h	Ozone (ppb) (moyenne sur une h, mai-septembre)
Saguenay (RMR408)	-	6,3	-
Québec (RMR421)	14,2	8,2	41,1
Trois-Rivières (RMR442)	7,3	8,3	42,0
Shawinigan (AR444)	-	11,2	-
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	5,9	7,1	47,5
Beauce-Sartigan (DR2429)	-	-	46,2
Portneuf (DR2434)	-	-	44,0
Le Centre-de-la-Mauricie (DR2436)	-	-	41,2
Arthabaska (DR2439)	-	-	46,4
Le Haut-Saint-François (DR2441)	-	-	45,7
Memphrémagog (DR2445)	-	-	46,8
Nicolet-Yamaska (DR2450)	-	-	47,0
Les Maskoutains (DR2454)	-	-	44,5
Les Laurentides (DR2478)	-	-	42,2
Antoine-Labelle (DR2479)	-	-	36,2
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	11,2	-	45,1
Les Collines-de-l'Outaouais (DR2482)	-	-	46,1
Le Haut-Saint-Maurice (DR2490)	-	-	37,9
Montmagny (DR2418)	-	-	42,3
La Jacques-Cartier (DR2422)	-	-	38,0
Le Domaine-du-Roy (DR2491)	-	-	38,7
Montréal (RMR462)	-	-	-
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	17,7	9,5	42,9
L'Assomption (DR2460)	-	8,1	44,8
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	-	6,9	48,6
Champlain (DR2458)	13,3	-	46,1
Lajemmerais (DR2459)	8,2	-	45,0
Laval (DR2465)	15,4	-	44,3

- : Mesure non disponible.

ANNEXE 4

TAUX ANNUELS DES INDICATEURS SANITAIRES

Taux annuels des indicateurs sanitaires

Tableau 6 : Taux annuels pour les impacts sanitaires (événements/million de population) dans AQBAT

	Mortalité non accidentelle	Visites à l'urgence pour des problèmes cardiaques	Visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires	Jours de symptômes d'asthme ¹	Cas de bronchite aiguë infantile ²
Saguenay (RMR408)	6 860	7 560	28 700	60 000 000	64 000
Québec (RMR421)	7 880	7 860	29 700	60 000 000	64 000
Trois-Rivières (RMR442)	9 200	8 850	32 100	60 000 000	64 000
Shawinigan (AR444)	11 000	10 600	36 100	60 000 000	64 000
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	7 480	7 490	29 500	60 000 000	64 000
Beauce-Sartigan (DR2429)	6 600	-	-	60 000 000	-
Portneuf (DR2434)	9 110	-	-	60 000 000	-
Le Centre-de-la-Mauricie (DR2436)	10 300	-	-	60 000 000	-
Arthabaska (DR2439)	8 080	-	-	60 000 000	-
Le Haut-Saint-François (DR2441)	8 150	-	-	60 000 000	-
Memphrémagog (DR2445)	9 150	-	-	60 000 000	-
Nicolet-Yamaska (DR2450)	11 000	-	-	60 000 000	-
Les Maskoutains (DR2454)	9 160	-	-	60 000 000	-
Les Laurentides (DR2478)	8 360	-	-	60 000 000	-
Antoine-Labelle (DR2479)	7 920	-	-	60 000 000	-
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	5 160	-	-	60 000 000	-
Les Collines-de-l'Outaouais (DR2482)	4 320	-	-	60 000 000	-
Le Haut-Saint-Maurice (DR2490)	7 030	-	-	60 000 000	-
Montmagny (DR2418)	9 970	-	-	60 000 000	-
La Jacques-Cartier (DR2422)	3 300	-	-	60 000 000	-
Le Domaine-du-Roy (DR2491)	6 700	-	-	60 000 000	-
Montréal (RMR462)	-	-	-	-	-
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	9 390	8 630	32 700	60 000 000	64 000
L'Assomption (DR2460)	4 750	5 820	24 700	60 000 000	64 000
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	8 990	8 940	32 800	60 000 000	64 000
Champlain (DR2458)	6 740	-	-	60 000 000	-
Lajemmerais (DR2459)	4 670	-	-	60 000 000	-
Laval (DR2465)	7 040	-	-	60 000 000	-

- : Donnée non présentée, car la mesure de contaminants nécessaire pour calculer l'impact sanitaire n'était pas disponible.

¹ Ces taux de jours de symptômes d'asthme s'appliquent seulement à la proportion d'asthmatiques dans la population, soit 6 %.

² Ce taux, pour les cas de bronchite infantile, s'applique seulement à la population âgée de moins de 20 ans. Le nombre de cas, pour chaque zone géographique, a été obtenu du recensement (comme tous les autres chiffres de population).

ANNEXE 5

IMPACTS SANITAIRES ASSOCIÉS À L'EXPOSITION AU CO ET AU SO₂

Impacts sanitaires associés à l'exposition au CO et au SO₂

Tableau 7 : Impacts sanitaires de l'exposition au CO estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Décès prématurés (mortalité par exposition aiguë)		Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques*	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Communauté-Urbaine-de-Québec (DR2423)	4	± 3	45	± 20
L'Assomption (DR2460)	0	± 0	4	± 2
Laval (DR2465)	2	± 2	28	± 13
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	14	± 13	196	± 89
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	0	± 0	1	± 0
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	1	± 1	11	± 5
Total	21	± 19	284	± 129

* Pour les personnes âgées seulement.

Tableau 8 : Impacts sanitaires de l'exposition au SO₂ estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Décès prématurés (mortalité par exposition aiguë)	
	Moyenne	Écart-type
La Côte-de-Gaspé (DR2403)	0	± 0
Communauté-Urbaine-de-Québec (DR2423)	5	± 2
Le Centre-de-la-Mauricie (DR2436)	1	± 1
Francheville (DR2437)	2	± 1
Bécancour (DR2438)	0	± 0
Le Bas-Richelieu (DR2453)	1	± 1
Champlain (DR2458)	1	± 1
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	32	± 15
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	1	± 0
Témiscamingue (DR2485)	1	± 1
Rouyn-Noranda (DR2486)	1	± 0
Le Fjord-du-Saguenay (DR2494)	6	± 3
Total	52	± 24

ANNEXE 6

IMPACTS SANITAIRES COMPLÉMENTAIRES POUR LES PM_{2,5} ET L'OZONE

Impacts sanitaires complémentaires pour les PM_{2,5} et l'ozone

Tableau 9 : Impacts sanitaires de l'exposition aux PM_{2,5} estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Jours de symptômes respiratoires aigus		Cas de bronchite chez les adultes		Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques		Admissions à l'hôpital pour des problèmes respiratoires		Jours d'activités réduites	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Saguenay (RMR408)	69 358	± 52 273	42	± 22	3	± 1	3	± 1	45 886	± 9 734
Québec (RMR421)	426 070	± 325 773	276	± 143	19	± 4	19	± 3	296 673	± 63 208
Trois-Rivières (RMR442)	87 910	± 67 110	57	± 30	4	± 1	4	± 1	60 869	± 12 973
Shawinigan (AR444)	52 074	± 40 271	37	± 19	3	± 1	3	± 1	37 710	± 8 090
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	42 187	± 31 577	25	± 13	2	± 0	2	± 0	27 219	± 5 785
L'Assomption (DR2460)	66 745	± 49 427	39	± 20	2	± 0	2	± 0	40 979	± 8 729
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	1 353 455	± 1 043 756	899	± 470	65	± 16	86	± 12	961 767	± 205 528
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	11 283	± 8 467	7	± 4	1	± 0	1	± 0	7 275	± 1 545
Total	2 109 082	± 1 618 654	1 382	± 721	99	± 23	102	± 18	1 478 378	± 2 109 082

Tableau 10 : Impacts sanitaires de l'exposition à l'ozone estimés par AQBAT pour l'année 2002

	Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques		Visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires		Jours de symptômes respiratoires aigus		Jours d'activités réduites	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
Québec (RMR421)	18	± 8	72	± 39	141 707	± 92 595	42 069	± 55 235
Trois-Rivières (RMR442)	4	± 2	17	± 9	30 507	± 19 946	9 076	± 11 926
Saint-Jean-sur-Richelieu (AR459)	3	± 1	12	± 7	24 476	± 16 062	7 377	± 9 739
Montmagny (DR2418)	1	± 0	3	± 2	5 283	± 3 456	1 572	± 2 066
L'Île-d'Orléans (DR2420)	0	± 0	1	± 0	1 628	± 1 059	483	± 635
La Jacques-Cartier (DR2422)	0	± 0	2	± 1	4 167	± 2 719	1 228	± 1 608
Communauté-Urbaine-de-Québec (DR2423)	14	± 6	58	± 32	110 370	± 72 180	32 802	± 43 097
Beauce-Sartigan (DR2429)	2	± 1	7	± 4	13 715	± 8 994	4 120	± 5 433
Portneuf (DR2434)	2	± 1	6	± 4	11 321	± 7 414	3 382	± 4 452
Le Centre-de-la-Mauricie (DR2436)	2	± 1	8	± 4	13 513	± 8 835	4 011	± 5 268
Francheville (DR2437)	4	± 2	17	± 9	30 706	± 20 085	9 133	± 12 003
Bécancour (DR2438)	1	± 0	3	± 2	5 787	± 3 797	1 742	± 2 300
Arthabaska (DR2439)	2	± 1	10	± 5	18 574	± 12 182	5 581	± 7 362
Le Haut-Saint-François (DR2441)	1	± 0	3	± 2	5 957	± 3 905	1 787	± 2 356
Memphrémagog (DR2445)	2	± 1	7	± 4	12 429	± 8 154	3 738	± 4 933
Nicolet-Yamaska (DR2450)	1	± 0	4	± 2	7 026	± 4 610	2 114	± 2 790
Les Maskoutains (DR2454)	3	± 1	11	± 6	20 589	± 13 489	6 160	± 8 113
Le Haut-Richelieu (DR2456)	4	± 2	16	± 9	30 990	± 20 340	9 338	± 12 330
Champlain (DR2458)	11	± 5	43	± 24	89 198	± 58 494	26 788	± 35 329
Lajemmerais (DR2459)	3	± 1	11	± 6	26 715	± 17 506	8 001	± 10 540

Tableau 10 : Impacts sanitaires de l'exposition à l'ozone, estimés par AQBAT pour l'année 2002 (suite)

	Admissions à l'hôpital pour des problèmes cardiaques		Visites à l'urgence pour des problèmes respiratoires		Jours de symptômes respiratoires aigus		Jours d'activités réduites	
	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type	Moyenne	Écart-type
L'Assomption (DR2460)	3	± 1	12	± 6	27 388	± 17 945	8 198	± 10 799
Laval (DR2465)	11	± 5	45	± 25	88 031	± 57 663	26 322	± 34 660
Communauté-Urbaine-de-Montréal (DR2466)	59	± 26	240	± 132	426 978	± 279 449	127 264	± 167 380
Le Haut-Saint-Laurent (DR2469)	1	± 0	4	± 2	7 090	± 4 656	2 141	± 2 830
Les Laurentides (DR2478)	1	± 1	5	± 3	8 649	± 5 658	2 574	± 3 383
Antoine-Labelle (DR2479)	1	± 0	2	± 1	4 346	± 2 833	1 275	± 1 668
Communauté-Urbaine-de-l'Outaouais (DR2481)	7	± 3	27	± 15	61 069	± 40 023	18 297	± 24 109
Les Collines-de-l'Outaouais (DR2482)	1	± 0	4	± 2	10 005	± 6 561	3 004	± 3 962
Le Haut-Saint-Maurice (DR2490)	0	± 0	1	± 1	2 470	± 1 611	727	± 953
Le Domaine-du-Roy (DR2491)	1	± 0	3	± 2	5 573	± 3 638	1 645	± 2 156
Total	163	± 69	654	± 359	± 1 246 257	± 815 859	371 949	± 489 415

