

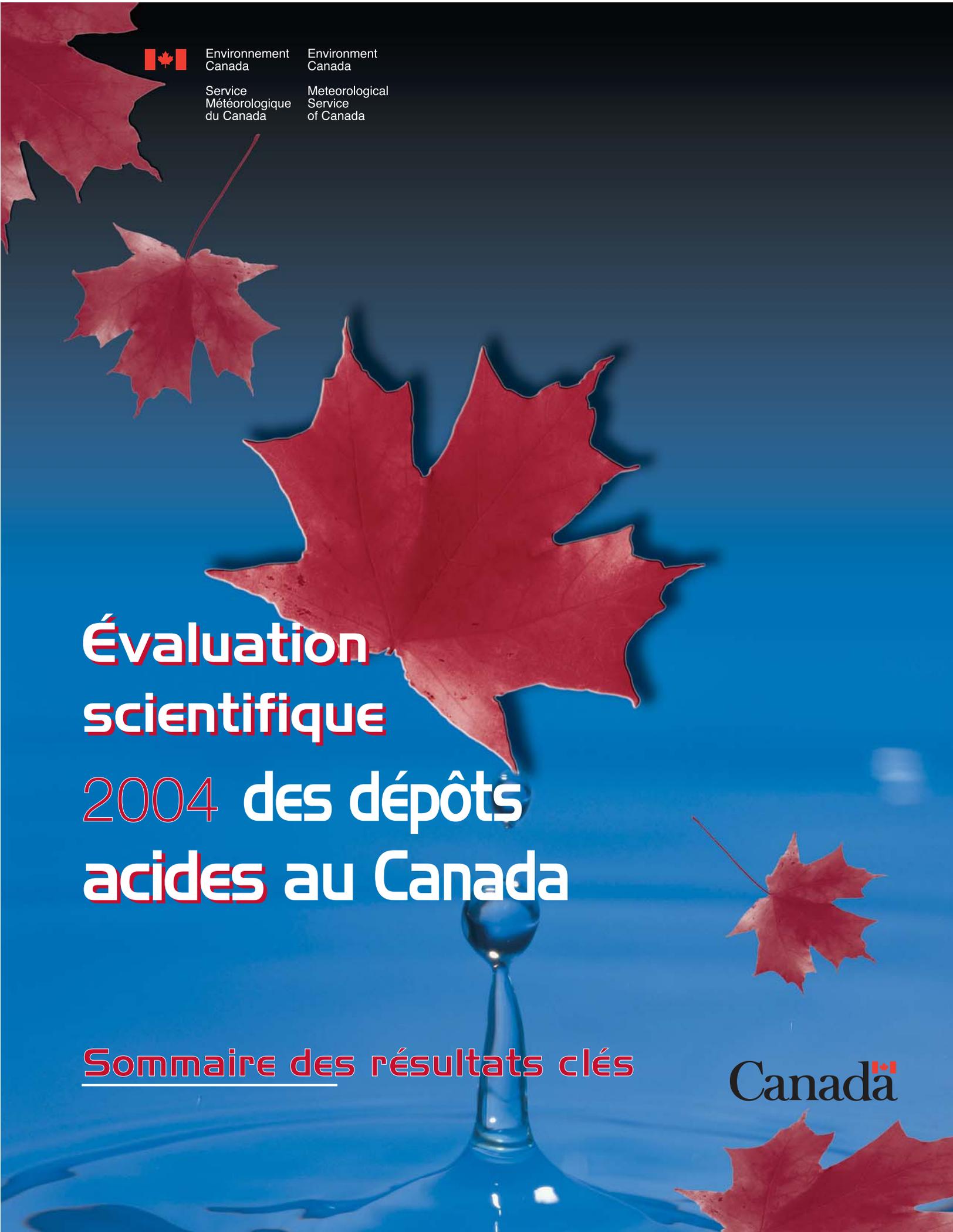


Environnement
Canada

Environment
Canada

Service
Météorologique
du Canada

Meteorological
Service
of Canada



Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada

Sommaire des résultats clés

Canada 

Catalogage avant publication de Bibliothèque et Archives Canada

Vedette principale au titre:

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada:
sommaire des résultats clés

Texte en français.

Comprend des références bibliographiques.

ISBN 0-662-68662-4

No. de cat. En4-46/2004

1. Pluies acides – Aspect de l'environnement – Canada.
2. Précipitations acides (Météorologie) – Aspect de l'environnement – Canada.
3. Dépôts acides – Aspect de l'environnement – Canada.
4. Acidification des cours d'eau, lacs, etc. – Aspect de l'environnement – Canada.
5. Environnement – Surveillance – Canada.
- I. Canada. Service météorologique.

TD195.54C3C32 2005

363.738'62'0971

C2005-98037-2

Au Canada, les retombées acides continuent d'affecter l'environnement et la santé des Canadiens, malgré les réductions qui ont été enregistrées à la suite de l'application des mesures de réductions des émissions acidifiantes. En effet, selon deux méthodes d'estimation de scénarios, allant du plus au moins optimiste, de 21 à 75 % du territoire de l'Est du Canada (ce qui correspond à 0,5-1,8 million km²) continuent de recevoir des dépôts acides qui en dépassent les charges critiques (c.-à-d. la quantité de dépôts acides que le territoire d'une région peut recevoir sans qu'il en soit affecté), et ce, malgré le fait que les taux de dépôts acides y aient diminué. Même avec l'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air (AQA) concernant la réduction d'ici 2010 des émissions de dioxyde de soufre (SO₂), on estime que les deux pays devront réduire d'un 75 % supplémentaire les émissions de ce polluant pour préserver les écosystèmes du Canada des dommages causés par les dépôts acides. Le soufre continue d'être l'agent acidifiant prédominant des dépôts acides qui touchent l'Est du Canada. Il est possible cependant que les émissions élevées et soutenues d'oxyde d'azote (NO_x) contribuent dans le futur à l'acidification des écosystèmes.

Dans l'Ouest canadien (défini ici comme le territoire appartenant au Canada situé à l'ouest de l'Ontario), de vastes portions de territoire présentent des géologies sensibles à l'acidité des dépôts atmosphériques. Ces secteurs géologiques sont situés au nord et au sud-est du Manitoba, au nord de la Saskatchewan, au nord-est de l'Alberta, au Nunavut et dans les Territoires du Nord-Ouest, et forment la chaîne côtière de la Colombie-Britannique. Actuellement, il n'est pas possible de déterminer si les écosystèmes qui s'y trouvent sont en danger, faute de données suffisantes sur leurs propriétés et sur les teneurs en acidité des dépôts. On ne peut donc dire pour l'instant, à quelques exceptions près, dans quelle mesure ces écosystèmes potentiellement vulnérables se trouvent affectés par les retombées acides.

Au Canada et aux É.-U., les sources majeures d'émissions acidifiantes émanent de la production d'électricité, de l'exploitation et de la fusion du minerai non ferreux, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et du transport. Les sources d'émissions majeures en provenance du Canada qui affectent l'est du pays arrivent de l'Ontario et du Québec. Les sources d'émissions majeures en provenance des É.-U. qui créent des impacts sur les écosystèmes de l'Est du Canada arrivent des régions du Midwest, des Grands Lacs, de la vallée fluviale de l'Ohio et de la Côte Est. L'Alberta, le sud de la Saskatchewan et le nord du Manitoba produisent la majorité des émissions qui affectent les écosystèmes de l'Ouest canadien.

La réduction des émissions acidifiantes n'a pas produit les effets escomptés. L'acidification des écosystèmes aquatiques et terrestres se poursuit, en raison de différents processus physico-chimiques et climatiques qui continuent de se produire. Les concentrations en cations basiques qui neutralisent l'acidité continuent de diminuer dans les sols en réaction aux précipitations encore acides, faisant du coup accroître la vulnérabilité de nombreuses régions à l'acidité des précipitations. La réduction des dépôts acides a eu pour effet de faire passer dans les lacs et les cours d'eau le soufre emmagasiné dans les sols forestiers bien drainés, ajoutant à la charge d'acidité dans ces écosystèmes. Après des périodes de sécheresse, le soufre – venu de l'atmosphère puis emmagasiné dans les sols des milieux humides – est libéré dans les lacs et les cours d'eau, ce qui a pour effet d'y déclencher des périodes d'acidification. En dépit des réductions des émissions acidifiantes, de l'azote en excès continue d'être largué des bassins versants, contribuant à acidifier leur réseau de lacs et de cours d'eau.

Malgré ces processus qui réduisent l'efficacité des mesures de réduction des émissions, on observe une amélioration de l'état de beaucoup de lacs, en particulier ceux situés dans les environs des fonderies qui ont

fortement réduit leurs émissions. Le processus de rétablissement de beaucoup de ces lacs est complexe et lent; des communautés biologiques pourraient être altérées de façon permanente. La capacité de bien des lacs à servir d'habitat propice au développement du biote aquatique s'est cependant améliorée; on a à cet égard observé que la présence d'oiseaux aquatiques augmentait, par exemple celle du plongeon huard.

Par ailleurs, les dépôts acides sont en rapport avec bien d'autres problèmes environnementaux. Ils se forment en présence des mêmes précurseurs acides (SO_2 and NO_x) que l'ozone troposphérique et les matières particulaires (le smog autrement dit). Les polluants responsables de l'acidité des dépôts contribuent au changement climatique qui a lui-même l'effet potentiel d'agir sur l'étendue territoriale, sur la gravité des dépôts acides et effets associés. De plus, en présence de dépôts acides, le mercure élémentaire – qui est non toxique directement – se transforme en méthylmercure, un composé bioaccumulatif extrêmement toxique. D'autres problèmes – d'ordre environnemental, économique et de santé humaine – peuvent ainsi bénéficier des réductions de l'acidité des retombées atmosphériques.

Étant donné l'ampleur des impacts causés par les dépôts acides sur les humains et leur environnement, il y a de nombreux avantages socio-économiques à tirer des mesures de réduction. Par exemple, les découvertes scientifiques récentes de l'existence de liens entre les dépôts acides et les baisses de productivité des forêts laissent suggérer que le secteur forestier pourrait grandement bénéficier, au plan économique, de l'application de mesures de réduction.

Le tour complet de la question des dépôts acides n'a pas encore été fait. D'autres efforts doivent être déployés pour réduire les émissions acidifiantes dans l'Est du Canada. Ce problème sera d'autant plus aisé à gérer dans le futur que s'améliorera notre compréhension de la

complexité des impacts qu'il produit à long terme. Les géologies sensibles à l'acidité et l'augmentation des émissions de SO_2 et de NO_x justifient l'établissement de stations de surveillance dans les provinces de l'Ouest canadien pour que l'on s'assure que les dépôts acides ne portent pas préjudice aux écosystèmes qui s'y trouvent.

Le Rapport d'évaluation scientifique de 2004 sur les dépôts acides au Canada a été préparé par des chercheurs des gouvernements fédéral et provinciaux et des universités. Cette évaluation s'appuie sur les résultats présentés dans le Rapport d'évaluation 1997 sur les pluies acides au Canada. On y présente les derniers progrès scientifiques qui concernent:

- ⇒ la réduction des émissions acidifiantes;
- ⇒ la réaction de l'atmosphère au changement des émissions passées, présentes et futures;
- ⇒ les estimations des charges critiques des écosystèmes aquatiques et terrestres;
- ⇒ les effets sur les forêts et les sols, les écosystèmes aquatiques, la faune et la santé humaine;
- ⇒ le rétablissement des écosystèmes aquatiques;
- ⇒ les relations entre les dépôts acides et les autres problèmes environnementaux;
- ⇒ l'identification d'aspects non compris du problème;
- ⇒ la quantification des coûts et avantages associés à la réduction des dépôts acides.

Le rapport se présente en deux documents. L'un intitulé « Sommaire des résultats clés » présente le résumé des résultats clés de l'évaluation, sous forme de réponses aux dix questions et sous-questions qu'ont posées les milieux politique et scientifique. L'autre document, l'évaluation proprement dite, rend compte des connaissances scientifiques sur les dépôts acides qui touchent le Canada.

Le rapport 2004 sur l'évaluation scientifique des dépôts acides au Canada constitue deux premières. Il s'agit en effet de la première synthèse sur la science des dépôts acides au Canada qui est publiée depuis le lancement de la Stratégie pancanadienne sur les émissions acidifiantes après l'an 2000. C'est aussi la première fois qu'on rapporte les réactions des écosystèmes aux réductions des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) entreprises en 1990 aux É.-U. sous la Phase I du titre IV des amendements de 1990 de la Clean Air Act.

Cette cinquième évaluation scientifique sur les dépôts acides publiée en 25 ans arrive à point nommé dans l'évolution du problème. Depuis la réalisation de la dernière évaluation¹, la science a mis en évidence des liens entre l'acidification chronique des sols forestiers et le dépérissement des forêts, et le rétablissement retardé des écosystèmes aquatiques. Les augmentations considérables d'émissions de SO₂ et d'oxydes d'azote (NO_x) (agents acidifiants des retombées atmosphériques) résultant de l'exploitation des sables bitumineux du nord de l'Alberta risquent de créer des impacts dans l'Ouest. En dépit de l'idée fautive véhiculée selon laquelle le problème des pluies acides serait résolu, les récents résultats de recherche montrent au contraire que le problème pourrait se faire sentir durant 60 ans encore dans l'Est du Canada². La publication de ces résultats arrive à point nommé dans un contexte où le public n'est que très peu conscientisé à ce problème. Il est temps de planifier pour l'avenir.

Que sont les dépôts acides? Les dépôts acides sont le produit final de réactions dans l'atmosphère entre les oxydes de soufre (SO_x), les oxydes d'azote (NO_x) et l'eau. Les dépôts acides atteignent la surface de la terre par le biais des précipitations (les pluies ou les brouillards

acides) et des gaz, des aérosols acides et des particules (dépôts secs ou sédimentation). Dans l'atmosphère, l'acidité (le pH) des dépôts acides est influencée par les concentrations en bases et en acides dérivés du soufre et de l'azote. Les concentrations atmosphériques des acides et des bases sont principalement déterminées par les émissions anthropiques de SO_x, de NO_x, d'ammoniac et de cations basiques provenant de sources telles que les fonderies des métaux communs, la génération thermique d'énergie électrique, le secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et le transport. Dans l'Est du Canada, les émissions de SO₂ sont responsables de la majorité de l'acidité des dépôts atmosphériques.

Les polluants qui engendrent les dépôts acides peuvent voyager sur des centaines, voire des milliers de kilomètres depuis la source qui les émet. En raison de ce transport à longue distance et de la nature destructrice des acides, les impacts des dépôts acides créés sur les humains, leur environnement et l'économie touchent de grandes étendues géographiques. Les dépôts acides affectent les lacs, les cours d'eau, les sols, les forêts, les édifices et la santé humaine. Ils réduisent la diversité biologique des écosystèmes aquatiques et ont le potentiel de modifier la composition des espèces dans les écosystèmes terrestres.

Les dépôts acides se forment avec les mêmes émissions de précurseurs (SO_x et NO_x) avec lesquelles se forment aussi l'ozone troposphérique et les matières particulaires (MP) (smog). Les oxydes d'azote (NO_x) peuvent contribuer à la formation d'ozone lorsqu'ils sont en présence de composés organiques volatils (par ex., les solvants) et de la lumière du jour. Les SO₂ et les NO_x peuvent réagir avec d'autres composés chimiques pour former des MP. Or, les MP et l'ozone sont reconnus pour

¹Environment Canada, 1998. 1997 Canadian Acid Rain Assessment. Vols. 1-5. ISBN 0-662-2598-6. En anglais seulement

²Selon les modèles de prévision de la réaction des écosystèmes à des scénarios optimistes de réduction des émissions de Clair et al. (2003) établis pour la Nouvelle-Écosse et de Aherne et al. (2003) pour l'Ontario. On n'a pas cependant tenu compte dans ces études des facteurs qui pourraient retarder le rétablissement des écosystèmes, tels les pratiques d'aménagement forestier, les incendies forestiers et le lessivage du nitrate.

affecter la santé des gens. De plus, le smog et certains de ses précurseurs se dispersent pour absorber la lumière qui traverse l'atmosphère, ce qui affecte la visibilité et contribue au changement climatique.

Au Canada, le problème des dépôts acides requiert la réduction des SO_x et des NO_x autant émis au Canada qu'aux É.-U. En effet, les É.-U., situés à proximité, émettent des émissions qui sont transportées au Canada sur de longues distances. Pour remédier à ce problème, le Canada a mis en œuvre le Programme de lutte contre les pluies acides dans l'Est du Canada (PLCPA), concrétisant en ce sens un premier effort coordonné du gouvernement fédéral et des sept provinces de l'Est. Ce programme, qui a été lancé en 1985, a atteint son objectif de réduire les émissions de SO₂ de 50 % en 1994 par rapport aux quantités qui ont été émises en 1980. Aux É.-U., des amendements ont été apportés à la Clean Air Act des É.-U. de 1990, lesquels spécifiaient qu'il y avait d'importantes réductions d'émissions de SO₂ à appliquer pour 1997 (Phase I), puis des supplémentaires pour 2010 (Phase II) de même que des réductions à faire en matière d'émissions de NO_x. L'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air (AQA), signé en 1991, a confirmé les engagements pris par les deux gouvernements de réduire les émissions de SO₂ et de NO_x, sur la tenue de consultations et sur la mise en œuvre de moyens pour régler d'autres questions de pollution atmosphérique transfrontalière.

Lorsque le PLCPA a été mis au point, on souhaitait que la réduction des émissions de SO₂ au Canada et aux É.-U. réduise les quantités de sulfate présentes dans les précipitations (c.-à-d. pluie et neige) d'une quantité aussi élevée que 40 kg par hectare par année à moins de 20 kg par hectare par année. Le « dépôt cible »³ de 20 kg par hectare par année, déterminé en 1983, était censé protéger les écosystèmes aquatiques de sensibilité modérée à l'acidité. Bien que l'on prévoit atteindre cette quantité cible en 2010, on conclut dans les rapports d'évaluation de 1990⁴ et de 1997⁵ sur les pluies acides au Canada que beaucoup de lacs et de forêts continueront d'être affectés par les dépôts acides. L'évaluation de 1990 a permis de confirmer la pertinence de se doter d'une

mesure plus appropriée de la capacité d'un écosystème à absorber des dépôts acides sans en subir de dommages : la « charge critique ». La charge critique est une estimation de la capacité qu'a un écosystème donné d'absorber de l'acidité, ou autrement dit, la quantité de dépôts acides (exprimée en eq/ha/a) qu'il est en mesure de recevoir sans qu'il en soit affecté.

L'accomplissement du PLCPA de 1985 a marqué la fin d'une première étape vers la résolution du problème des dépôts acides au Canada. En 1994, les gouvernements fédéral, provinciaux et territoriaux ont commencé à élaborer une stratégie de réduction des dépôts acides au Canada capable de mitiger les effets produits à long terme sur l'environnement et la santé humaine, autant associés aux dépôts acides eux-mêmes qu'aux émissions acidifiantes. Lancée en 1998, la Stratégie pancanadienne sur les émissions acidifiantes après l'an 2000 (appelée « la Stratégie ») avait pour objectif principal de « se conformer à long terme au seuil environnemental des charges critiques en matière de dépôts acides partout au Canada. » La Stratégie est présentement en application. Elle consiste à réaliser les engagements suivants :

- ⇒ négocier davantage de réductions d'émissions de la part des É.-U. ;
- ⇒ établir de nouveaux objectifs de réduction des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) pour l'Est du Canada;
- ⇒ prévenir la pollution et garder les milieux sains « propres »;
- ⇒ s'assurer de la pertinence des programmes de recherche scientifique et de surveillance des pluies acides;
- ⇒ rendre compte chaque année des émissions actuelles et prévues de SO₂ et de NO_x au regard du respect des engagements internationaux et des progrès réalisés dans la mise en œuvre de la Stratégie.

³Dans ce cas, le dépôt cible correspond à un objectif écologique qui est supérieur à la charge critique il permettrait autrement dit un certain degré de dommage écologique (Brydges, T. 2004. Acid Rain in Story and Song. Thomas and Marilyn Brydges Publ. Brampton, ON. Pp.131.)

⁴CCRS (Comité fédéral-provincial de coordination de la recherche et de la surveillance). 1990. Rapport canadien d'évaluation de 1990 sur le transport à distance des polluants atmosphériques et sur les dépôts acides, Comité fédéral-provincial de coordination de la recherche et de la surveillance.

⁵Environnement Canada, 1998. 1997 Canadian Acid Rain Assessment. Vols. 1-5. ISBN 0-662-2598-6. En anglais seulement.

La présente évaluation sert d'appui scientifique à la justification des engagements de la Stratégie. L'évaluation est en effet fondée sur les résultats du Rapport d'évaluation de 1997 sur les pluies acides au Canada et sur les fondements scientifiques actuels. La préparation de cette évaluation a débuté en 2001 avec la tenue d'une série d'ateliers auxquels ont été conviés scientifiques et responsables de l'élaboration des politiques des gouvernements fédéral et provinciaux et de plusieurs universités. La tenue de ces ateliers a mené à la création de la table des matières de l'évaluation présente et à la formulation de dix questions touchant les besoins en information des communautés scientifique et politique :

1. Est-ce qu'au Canada, les dépôts acides affectent encore l'environnement et la santé des Canadiens ? Si oui, où, et dans quelle mesure cela les affectent-ils?
2. Quelles sont les tendances actuelles des émissions acidifiantes et celles prévues?
3. D'où proviennent les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens?
4. Faut-il réduire davantage les émissions au Canada et aux É.-U.? Si oui, de combien faut-il le faire et où sont situées les sources?
5. Réduire les NO_x peut-il compenser pour le besoin de réduire le SO₂ ? Est-ce que la saturation en azote présente un problème ? Quels sont les impacts de la réduction des émissions de NO_x sur les écosystèmes canadiens?
6. Existe-t-il d'autres facteurs qui pourraient faire diminuer l'efficacité des réductions des émissions?
7. Est-ce que les écosystèmes affectés montrent des signes de rétablissement à la suite des mesures de

réductions des émissions de SO₂ qui ont été appliquées dans le passé ? Dans l'affirmative, comment le rétablissement s'effectue-t-il? Sinon, pourquoi ? Et quand et à quelles conditions peut-on s'attendre à un rétablissement considéré acceptable au plan environnemental? Quel rôle jouent les émissions de NO_x?

8. Quels avantages socio-économiques peut-on tirer de l'atténuation des dépôts acides?
9. Quels liens relient les dépôts acides aux autres polluants ? Quelle est l'implication des dépôts acides dans la formation des matières particulaires et de l'ozone ? Dans la pollution par le mercure ? Et quelle part prennent-ils au phénomène des changements climatiques?
10. Où doit-on poursuivre les activités de surveillance de l'atmosphère et des écosystèmes? Vers quels aspects du problème des dépôts acides devrions-nous centrer les efforts de recherche?

L'objectif de cette évaluation était de synthétiser les connaissances scientifiques actuelles sur les dépôts acides au Canada. Ces connaissances résumées sont présentées sous forme de réponses aux dix questions et sous-questions rapportées dans ce sommaire sur les résultats clés. Publiée dans un document distinct, l'évaluation proprement dite rend compte pour sa part des connaissances scientifiques sur les dépôts acides qui touchent le Canada. L'évaluation scientifique et le présent sommaire sont disponibles dans le site Internet d'Environnement Canada (http://www.msc-smc.ec.gc.ca/saib/acid/acid_f.html) et à la Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration du Service météorologique du Canada, Environnement Canada, 4905 rue Dufferin, Downsview, Ontario, M3H 5T4.



1. Est-ce qu'au Canada les dépôts acides affectent encore l'environnement et la santé des Canadiens? Si oui, où, et dans quelle mesure les affectent-ils?

Les dépôts acides affectent encore l'environnement canadien et la santé des Canadiens.

L'ENVIRONNEMENT CANADIEN

Au Canada, le principal indicateur qui permet d'affirmer si oui ou non l'environnement est affecté par les dépôts acides est le dépassement de sa charge critique. Dans ce rapport, la charge critique se définit comme étant « une estimation quantitative de l'exposition d'éléments spécifiques de l'environnement à un ou plusieurs polluants, exposition qui ne leur causera pas d'effets nocifs, étant donné les connaissances actuelles⁶. Ses unités sont exprimées en équivalent d'hydrogène (H⁺) par hectare par année (eq/ha/a)⁷. Pour la première fois en Amérique du Nord, une carte combinée des charges critiques des écosystèmes aquatiques⁸ (les lacs) et terrestres (les sols forestiers bien drainés) vient d'être produite pour les régions du Canada pour lesquelles nous disposons de données sur les dépôts acides, la chimie des lacs ou des sols. Dans cette carte, on a considéré l'acidité des dépôts atmosphériques secs et humides dérivée des polluants et soufrés et azotés. La production de cette carte combinée repose sur la considération des composantes les plus sensibles de l'environnement – soit les écosystèmes aquatique ou

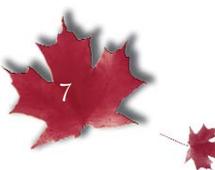
terrestre – pour déterminer la charge critique d'une zone particulière (c.-à-d. d'une maille de la grille cartographiée). Les dépassements des charges critiques des écosystèmes aquatiques et terrestres ont été calculés selon deux méthodes. La première, nommée « dépassement selon le lessivage actuel de l'azote » prend en compte l'acidité apportée par les dépôts atmosphériques secs et humides de soufre et par la composante des dépôts d'azote qui acidifie actuellement les écosystèmes (c.-à-d. le nitrate lessivé des bassins versants). Dans la deuxième méthode, nommée « dépassement à l'atteinte de l'équilibre avec les dépôts atmosphériques » ou, plus succinctement « dépassement à l'état d'équilibre », on assume que tous les dépôts de soufre et d'azote finiront par acidifier l'environnement.

Le dépassement des charges critiques selon le lessivage actuel de l'azote est un indicateur de l'intensité actuelle de l'acidité causée dans l'environnement par les dépôts acides. Ce n'est qu'un indicateur des dommages actuels que subit l'environnement. Pour avoir une idée des dommages que risque de subir l'environnement à plus long terme en raison des dépôts acides actuels, il faut se référer à l'indicateur du dépassement des charges critiques à l'état d'équilibre. Le dépassement de la charge critique d'un écosystème donné se produit lorsque l'acidité évaluée selon l'une ou l'autre méthode dépasse la charge qu'il peut absorber sans qu'il en subisse d'effets nocifs notables.

⁶Définition employée par la CEE-ONU (Nilsson, J. et Grennfelt, P., 1988. Critical loads for sulphur and nitrogen. Rapport d'un atelier tenu à Skokloster, Suède. Miljørapport 1988:15, Nordic Council of Ministers, Copenhagen, Denmark. 31pp.). En anglais seulement.

⁷Puisque S et N ont des masses atomiques différentes, on ne peut pas calculer les valeurs des charges critiques selon une unité de masse (par ex., en kg/ha/a); on rapporte les valeurs à une unité d'équivalent (eq), c.-à-d. de mole de charge électrique réactive (par ex., eq/ha/a)

⁸La chimie de l'eau de 3130 lacs a été compilée pour toutes les provinces et territoires du Canada (à l'exception de l'Î.-P.-É.) afin d'évaluer leur état actuel. Pour les provinces de l'Est (ON et plus à l'est), où la chimie des lacs est en train de changer en réaction à la réduction des dépôts acides, la période d'échantillonnage pour évaluer cet « état actuel » est d'au plus tard de 1997. Cette contrainte a été assouplie pour les provinces de l'Ouest et les territoires. La compilation fournit une population d'échantillonnage qui n'est pas représentative de la population entière des lacs. Du point de vue géographique, les lacs échantillonnés sont distribués irrégulièrement, se trouvent souvent en grappes et sont souvent absents dans beaucoup de régions en raison de l'absence ou la vétusté de données. Les lacs échantillonnés dans les provinces de l'Est tendent à être situés sur des terrains sensibles à l'acidité tandis que ceux dans l'Ouest et au Nord sont situés sur des terrains sensibles aussi bien que non sensibles. La population des échantillons disponibles était biaisée vers des lacs de grande superficie, bien qu'il soit probable que des effets plus importants se produisent dans les petits lacs.



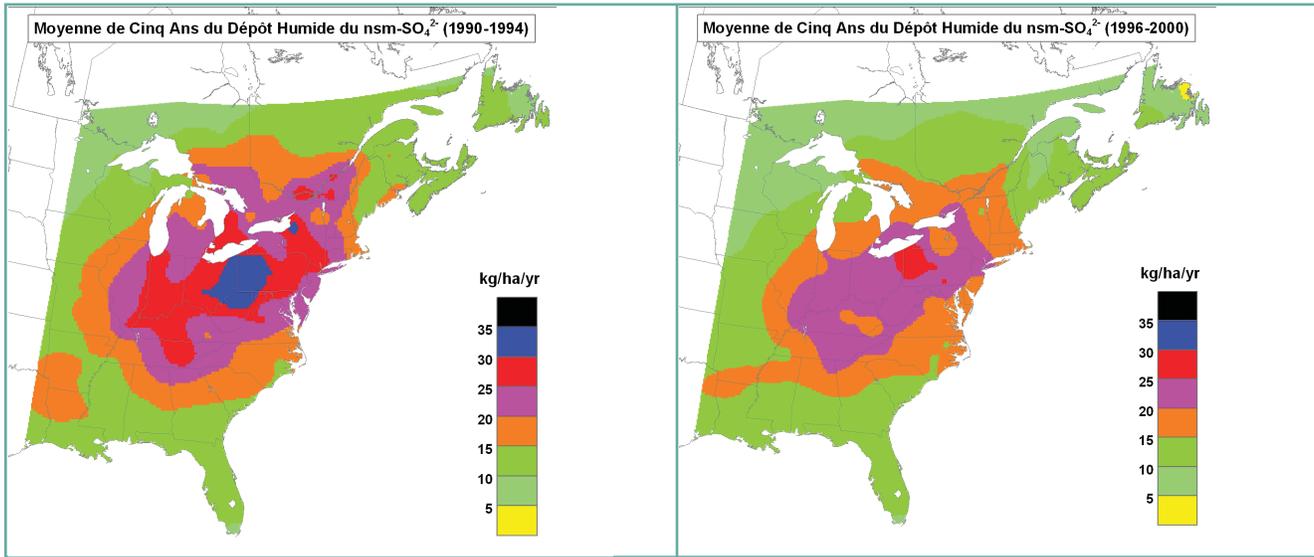


Figure 1.1 : Évolution de la distribution spatiale du sulfate (SO_4^{2-}) dans les dépôts humides (exprimé en kg/ha/a; et corrigé pour le sel de mer) dans l'Est de l'Amérique du Nord du début à la fin des années 1990. La carte à gauche montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1990-1994, tandis que celle à droite montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1996-2000. La zone qui reçoit plus de dépôts que la charge cible de 20 kg/ha/a à la suite des réductions des émissions de SO_2 a considérablement réduit. (Note: 1 kg SO_4^{2-} /ha/a équivaut à 20,8 eq/ha/a).

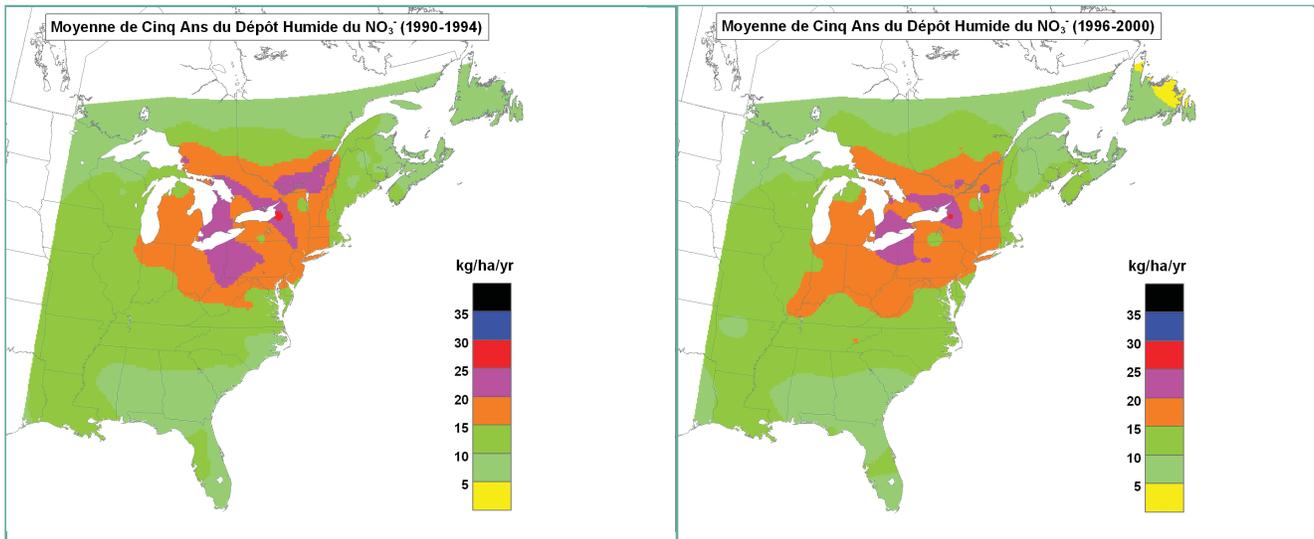
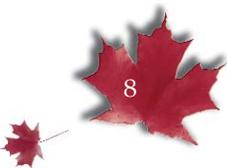


Figure 1.2 : Distribution spatiale des dépôts humides de NO_3^- dans l'Est de l'Amérique du Nord au début et à la fin des années 1990. La carte à gauche montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1990-1994, tandis que celle à droite montre la distribution de la moyenne de cinq ans de dépôts humides pour la période 1996-2000. Comparé au patron de la figure 1.1, ce patron-ci de distribution entre les deux périodes demeure constant, ce qui est en accord avec la constance relative des émissions de NO_x qui se sont déposées dans cette région au cours de cette période. (Note: 1 kg NO_3^- /ha/a équivaut à 16,1 eq/ha/a).



Les résultats de la présente évaluation confirme que, malgré la baisse des dépôts acides enregistrée dans l'Est du Canada au cours des dernières décennies (figures 1.1 et 1.2), de 21 à 75 % du territoire (correspondant à 0,5-1,8 million de km²) continuent de recevoir des dépôts acides qui dépassent ses charges critiques (figures 1.3 et 1.4). Ces valeurs proviennent des estimations du plus au moins optimiste des scénarios.

Il est à noter qu'il n'existe pas de données sur la chimie des lacs des territoires sensibles de certaines provinces, notamment dans le nord et le sud-est du Manitoba, le nord de la Saskatchewan, le Nunavut, les Territoires du Nord-Ouest et la chaîne côtière de la Colombie-Britannique. Ainsi, pour ces régions, les valeurs présentées à la figure 1.3 ne sont pas représentatives de

situations régionales; toutefois, il n'existe pas encore d'autres évaluations des charges critiques qui pourraient valider ces valeurs. Dans les autres provinces, notamment Terre-Neuve-et-Labrador, la Nouvelle-Écosse, le Nouveau-Brunswick, Québec et Ontario, les données de chimie des lacs ne représentent pas suffisamment de territoire et l'intensité d'échantillonnage n'y est pas suffisant pour que les valeurs de dépassement des charges critiques soient représentatives des situations régionales. Il faut aussi mentionner que dans le calcul des charges critiques des sols forestiers bien drainés, nous avons assumé qu'il n'y avait eu aucune exploitation forestière et aucun incendie forestier. Puisque ces deux phénomènes rendent les forêts plus sensibles aux dépôts acides, les valeurs des charges critiques rapportées ici pour les forêts sont probablement trop élevées. De plus, ce ne sont pas tous les composés d'azote présents dans les dépôts secs qui ont été tenus en considération dans

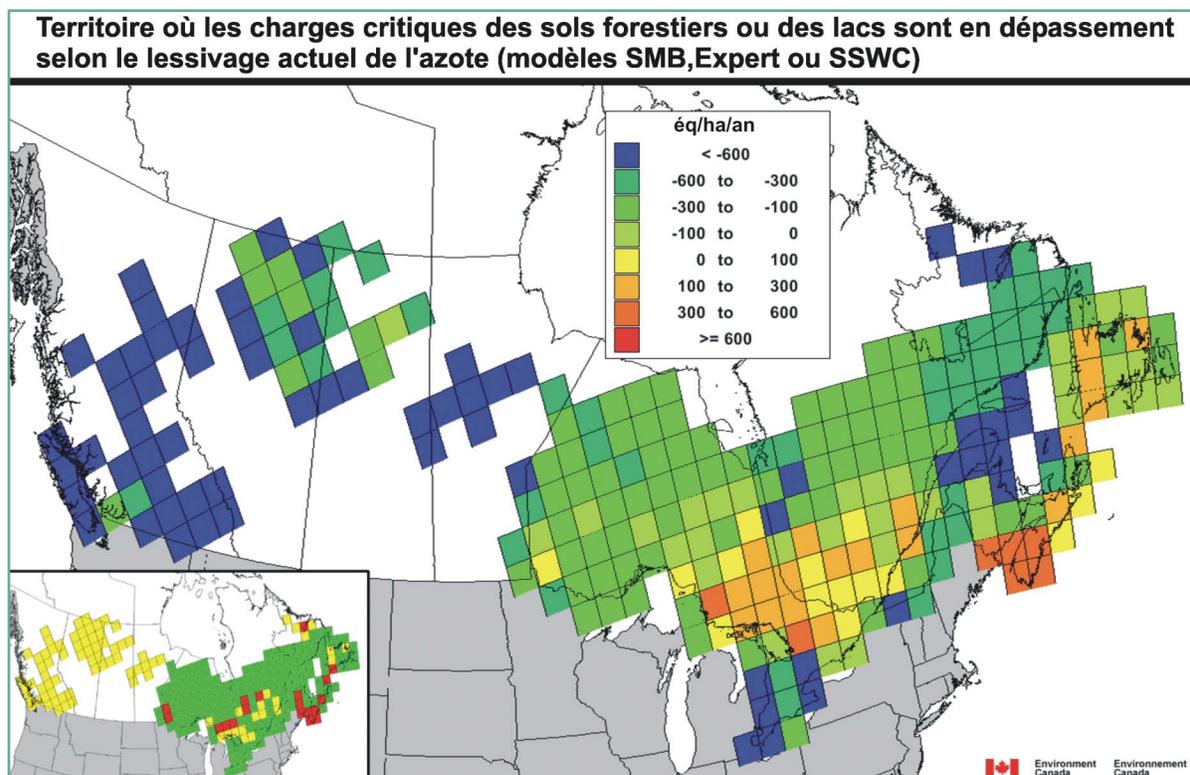


Figure 1.3 : Dépassement des charges critiques d'acidité (S+N) – selon le lessivage actuel de l'azote – des milieux aquatiques ou forestiers (dépôts humides et secs exprimés en eq/ha/a) basé sur les dépôts atmosphériques moyens pour la période 1994-1998. Les charges critiques ont été calculées soit à l'aide de modèles de la chimie de l'eau (Expert ou SSWC), soit à l'aide d'un modèle adapté aux sols forestiers (SMB). On a sélectionné comme charge critique, dans une maille donnée, la valeur la plus faible entre le 5^e percentile de la charge critique des lacs et le 5^e percentile des polygones de sol. La légende (en bas à gauche) indique le modèle qui a été sélectionné pour évaluer chaque maille de la grille : rouge = Expert (aquatique), jaune = SSWC (aquatique), vert = SMB (sols forestiers bien drainés). La composante des sols forestiers a été obtenue par la superposition de la grille sur la carte du dépassement des charges critiques des polygones de sol. La carte des charges critiques des sols forestiers a été produite par le Groupe de travail sur la cartographie forestière du secrétariat des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC) avec la collaboration de l'Ontario, d'Environnement Canada et du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada.

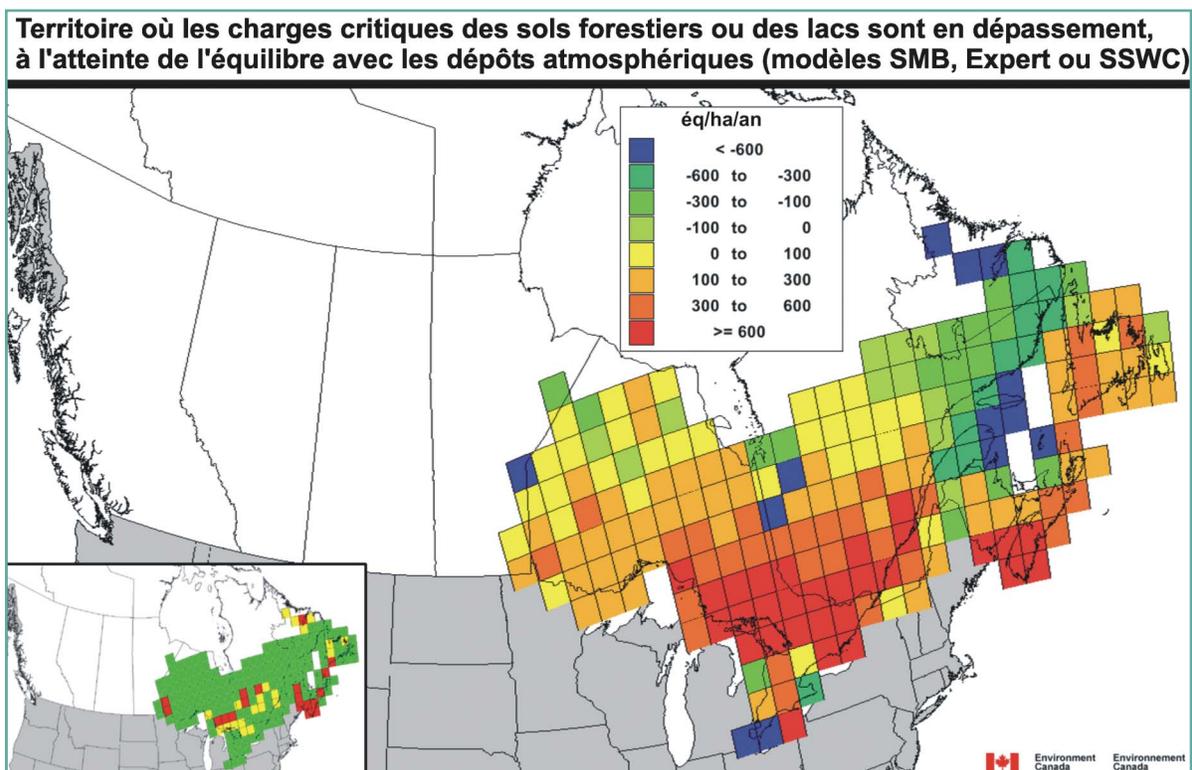


Figure 1.4 : Dépassement des charges critiques d'acidité (S+N) – à l'état d'équilibre avec les dépôts atmosphériques – des milieux aquatiques ou forestiers (dépôts humides et secs exprimés en eq/ha/a) basé sur les dépôts atmosphériques moyens pour la période 1994-1998. Les charges critiques ont été calculées soit à l'aide de modèles de la chimie de l'eau (Expert ou SSWC), soit à l'aide d'un modèle adapté aux sols forestiers (SMB). On a sélectionné comme charge critique, dans une maille donnée, la valeur la plus faible entre le 5^e percentile de la charge critique des lacs et le 5^e percentile des polygones de sol. La légende (en bas à gauche) indique le modèle qui a été sélectionné pour évaluer chaque maille de la grille : rouge = Expert (aquatique), jaune = SSWC (aquatique), vert = SMB (sols forestiers bien drainés). La composante des sols forestiers a été obtenue par la superposition de la grille sur la carte du dépassement des charges critiques des polygones de sol. La carte des charges critiques des sols forestiers a été produite par le Groupe de travail sur la cartographie forestière du secrétariat des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC) avec la collaboration de l'Ontario, d'Environnement Canada et du Service canadien des forêts de Ressources naturelles Canada.

le calcul du dépassement des charges critiques, d'où la possibilité de rapporter des valeurs de dépassement trop basses.

Dans les régions où il y a dépassement des charges critiques à l'état d'équilibre avec les dépôts atmosphériques, les effets suivants ont été observés :

EFFETS SUR LES FORÊTS

Les dépôts acides font partir des sols par lessivage des éléments nutritifs essentiels tels que les cations basiques calcium (Ca²⁺), magnésium (Mg²⁺) et potassium (K⁺). Cette perte d'éléments nutritifs affecte la santé et la

croissance des arbres et épuise la capacité des sols de neutraliser les futures retombées acides de la plus grande partie de l'Est du Canada. Les pertes nettes de cations basiques des bassins versants forestiers dans l'Est du Canada sont répandues, notamment pour ce qui est du Ca²⁺. Dans une station du centre-sud de l'Ontario, on a rapporté que les réserves en Ca²⁺ du sol avaient décliné jusqu'à 30 % depuis le début des années 1980⁹. Le déclin récent des dépôts atmosphériques de sulfate a entraîné une diminution des pertes nettes en Ca²⁺, ce qui a ralenti le taux d'acidification des sols; cependant, des pertes répandues de Ca²⁺ (et, dans certains cas, de Mg²⁺) se produisent encore aujourd'hui dans l'Est du Canada.

⁹ Watmough, S.A., Dillon, P.J. 2004. Major element fluxes from a coniferous watershed in central Ontario, 1983-1999. *Biogeochemistry* 67, 369-398. En anglais seulement.

Bien que le taux d'acidification des sols ait ralenti, des réductions supplémentaires des dépôts acides doivent s'appliquer pour que l'on atteigne la valeur des charges critiques des sols forestiers bien drainés et ainsi prévenir l'appauvrissement des teneurs en cations basiques de leurs sols sous le seuil considéré inadéquat pour maintenir la santé des forêts et leur productivité. Actuellement, de nombreuses régions forestières de l'Est du Canada reçoivent des retombées acides qui excèdent leur charge critique. En Ontario, on a observé que la croissance des érables à sucre était plus faible dans les régions où il y avait dépassement de la charge critique des sols¹⁰. L'analyse des données du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers du Québec a montré qu'entre les années 1970 et 1990, les peuplements forestiers feuillus et résineux, situés dans les régions où il y avait dépassement de la charge critique, affichaient un taux de croissance de 30 % plus faible que les peuplements forestiers situés dans les régions où il n'y avait pas eu ce dépassement de la charge critique¹¹. Même avec l'application de réductions importantes des émissions acidifiantes, le rétablissement des sols de l'acidification (c.-à-d. le remplacement des cations basiques perdus) sera probablement très lent en raison du processus lui-même très lent de l'altération des minéraux primaires, leur principale source de cations basiques.

LA CHIMIE DU MILIEU AQUATIQUE ET DU SOL

Beaucoup de lacs de l'Est du Canada sont encore acidifiés (c.-à-d. qu'ils ont perdu partiellement ou entièrement leur capacité de neutraliser l'acidité) et ne satisfont pas la condition du $\text{pH} \geq 6$ de la charge critique; voilà un seuil critique clé pour la nourriture des poissons et d'autres biotes du milieu aquatique. Dans l'Est du Canada, entre environ 25 % (Nouveau-Brunswick) et 40 % (Ontario) des lacs échantillonnés accusaient un $\text{pH} < 6$. Ces pourcentages comprennent les lacs qui sont naturellement acidifiés par les acides organiques associées au carbone organique dissout (COD). Ces types de lacs sont largement répandus en Nouvelle-Écosse et, dans une moindre mesure, à Terre-Neuve; par contre, ils ne sont pas communs dans les autres provinces. En Nouvelle-Écosse, 80 % des lacs échantillonnés affichaient un $\text{pH} < 6$ et on estime que 40 % de ces lacs sont acides

en raison de la présence d'acides organiques naturels, ce qui les rendraient incapables d'atteindre cette valeur de pH même si l'on réduisait considérablement des émissions acidifiantes. Dans la majorité des provinces, cependant, le pourcentage de lacs ayant un $\text{pH} < 6$ constitue un indicateur valable de l'effet acidifiant des dépôts acides. Les résultats des modèles de la chimie des lacs laissent entrevoir qu'il y aurait de 500 000 à 600 000 (soit environ 15 %) lacs sensibles à l'acidité dans l'Est du Canada (au sud du 52 °N de latitude). Ces lacs qui, historiquement, étaient caractérisés par un $\text{pH} > 6$, sont ou seront de $\text{pH} < 6$ sous des conditions de dépôts atmosphériques acides qui sont semblables aux conditions actuelles.

La chimie de beaucoup de lacs réagit à la réduction des émissions acidifiantes (c.-à-d. que les lacs deviennent moins acides), mais plusieurs facteurs viennent ralentir ou mitiger cette réaction. Par exemple, il y a de plus en plus de résultats de recherche qui apportent la preuve que ce sont les réserves de cations basiques neutralisateurs d'acidité dans les sols des bassins versants qui déterminent dans quelle mesure les dépôts acides acidifient les eaux de surface. Les pertes nettes en cations basiques sont très répandues dans les bassins versants forestiers de l'Est du Canada, notamment les pertes nettes en calcium (Ca^{2+}). Ainsi, on assiste à une baisse de la capacité des bassins versants de neutraliser les dépôts acides concomitante de la baisse de l'acidité des dépôts atmosphériques.

De plus, la charge en sulfate larguée dans les eaux de surface est plus grande que celle reçue par les dépôts atmosphériques dans la plupart des bassins forestiers de l'Est du Canada. Ce surplus de sulfate résulte probablement de la désorption du sulfate retenu dans les sols, du dégagement de sulfate lors de la décomposition de la matière organique et de l'oxydation attribuable à la sécheresse du soufre réduit stocké dans les milieux humides et autres milieux limités en oxygène. Tous ces phénomènes sont générateurs d'acidité. Ce soufre retenu dans les sols provient des dépôts acides antérieurs. Les modèles d'évaluation des charges critiques des eaux de surface, qui sont basés seulement sur les entrées actuelles de SO_4^{2-} en provenance des dépôts

¹⁰ Watmough, S.A. 2002. A dendrochemical survey of sugar maple in south-central Ontario. *Water, Air and Soil Pollution* 136, 165-187. En anglais seulement.

¹¹ Ouimet, R., Duschesne, D., Houle, D., Arp, P.A. 2001. Critical load and exceedances of acid deposition and associated forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Quebec, Canada. *Water, Air and Soil Pollution: Focus* 1, 119-134. En anglais seulement.

atmosphériques, se trouvent à sous-estimer le dépassement de la charge critique dans les bassins versants qui montrent des pertes nettes considérables en sulfate.

LA BIOLOGIE AQUATIQUE

Les algues, les invertébrés et la chaîne alimentaire des oiseaux aquatiques continuent de montrer des effets de l'acidification, notamment dans les lacs et les cours d'eau où les communautés de poissons ont subi des impacts. Les effets de l'acidification se répandent sur tous les réseaux trophiques, altérant la composition des communautés biologiques et la dynamique des écosystèmes. Les impacts comprennent les effets directs de l'acidité, la contamination par les métaux toxiques, la perte de proies et la diminution de la valeur nutritionnelle des proies restantes. Par exemple, la plupart des espèces d'invertébrés sensibles à l'acidité sont absentes des lacs acidifiés à des $\text{pH} < 6$. Les cyprins et autres petits poissons peuvent disparaître des petits lacs acidifiés et des milieux humides et causer ainsi d'importants changements chez les invertébrés, qui représentent une source de nourriture pour les oiseaux aquatiques nicheurs et d'autres prédateurs des derniers échelons de la chaîne alimentaire. En général, on a observé une augmentation du nombre d'oiseaux aquatiques nicheurs qui sont piscivores (par ex., le plongeon huard, le grand harle) dans une grande partie de l'Est du Canada (Ontario, Québec et Terre-Neuve). Des observations récentes dans la région de Sudbury en Ontario suggèrent que cette augmentation est en partie liée à l'amélioration des conditions d'habitat des lacs qui étaient auparavant endommagés.

Les teneurs élevées en mercure (Hg) trouvées dans les plongeurs huards, leur couvée et les poissons qu'ils consomment inquiètent toujours. L'acidification des écosystèmes aquatiques entraîne l'augmentation des concentrations de méthylmercure toxique dans l'eau, les sédiments, le biote, ce qui fait augmenter les teneurs en Hg dans les proies de la faune piscivore. Les concentrations en Hg dans les plongeurs huards adultes, leurs oeufs, leur couvée et leur proies tendent à être plus élevées dans les lacs de bas pH. Les concentrations en Hg les plongeurs huards s'accroît suivant un gradient qui va de l'ouest vers l'est dans le sud-est du Canada. Des teneurs élevées en Hg dans les huards sont associées à des impacts sur le rendement de la reproduction, dont des baisses du succès de reproduction, de la croissance des oisillons ainsi que des modifications du

comportement des oisillons, qui font augmenter leur risque de mortalité juvénile.

Les populations de saumon atlantique des rivières du bas-plateau du sud de la Nouvelle-Écosse continuent d'être gravement affectées par l'acidification. Dans les rivières qui présentent des pH près du seuil de toxicité (pH 5,0 à 5,4), les saumons risquent fort de mourir, en raison des effets subléthaux qui réduisent leur alimentation et leur croissance, qui augmentent les dommages à leurs branchies et qui perturbent leurs systèmes endocrinien et osmorégulateur. On prévoit que l'espèce saumon de la plupart des rivières du bas-plateau du sud de cette province s'éteindra si le taux de survie des adultes demeure aussi faible qu'actuellement et que si le rétablissement du pH de ces cours d'eau continue d'être retardé.

LA SANTÉ HUMAINE

Les études épidémiologiques récentes ont rapporté de faibles associations, quoique significatives, entre l'acidité des aérosols ambiants et les paramètres suivants: les symptômes respiratoires, les fonctions pulmonaires affaiblies, le nombre d'admissions dans les hôpitaux et de visites au service d'urgence ainsi que la mortalité prématurée. On a pu identifier à l'aide de différents paramètres de santé quelles étaient les sous-populations sensibles. La toxicité de l'acidité des aérosols peut contribuer à la relation existant entre les MP et la santé. Cependant, il est difficile de séparer les effets des MP de ceux de l'acidité des aérosols parce que les composants des MP mesurés sont généralement hautement corrélés entre eux.

Les nouvelles études cliniques indiquent que, comparativement aux gens normaux, les gens souffrant d'asthme ou d'allergies peuvent être particulièrement sensibles à l'exposition à court terme aux aérosols acides seuls ou à l'exposition séquentielle à de l'acide sulfurique et à l'ozone. Il est à noter cependant que les intensités d'exposition employées dans ces études étaient généralement plus élevées que celles mesurées dans les villes canadiennes.

Les résultats des études toxicologiques chez les animaux suggèrent que l'exposition aux aérosols acides, à des concentrations semblables à celles mesurées dans l'Est du Canada, peut avoir des effets sur les mécanismes de défense immunitaire. Les mélanges de polluants peuvent exercer un effet aggravant (mais pas toujours) sur la santé humaine, contrairement aux effets de l'exposition à des polluants individuels, quoique cela dépende encore

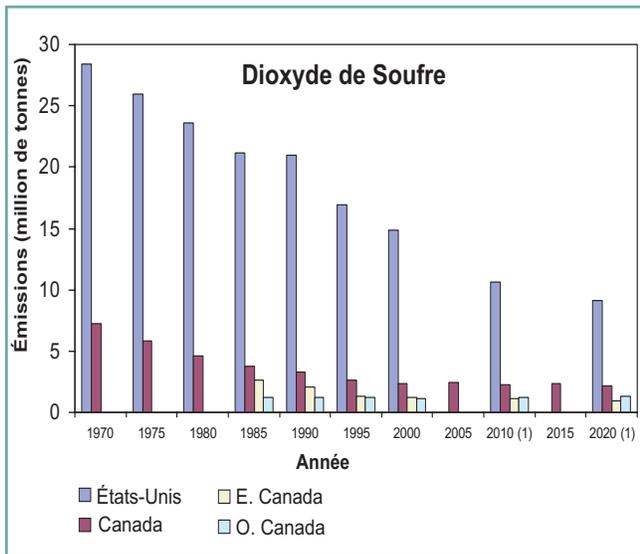


Figure 1.5 : Estimation des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) aux É.-U. et au Canada, comprenant l'Est (à l'est du Manitoba) et l'Ouest (à l'ouest de l'Ontario) du Canada. 1 – Les prévisions d'émissions aux É.-U. sont basées sur les résultats sommaires sur les émissions de REMSAD (*Regional Modelling System for Aerosols and Deposition*).

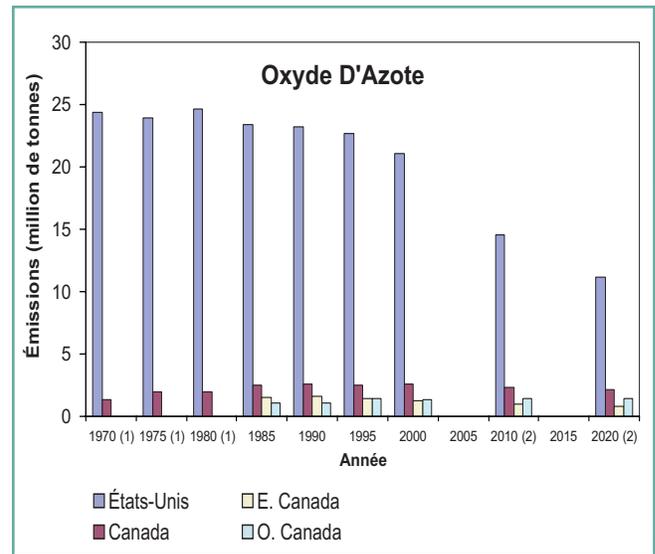


Figure 1.6 : Estimation des émissions des oxydes d'azote (NO_x) produites aux É.-U. et au Canada, comprenant l'Est (à l'est du Manitoba) et l'Ouest (à l'ouest de l'Ontario) du Canada. 1 – L'évaluation des émissions canadiennes de NO_x de 1970 à 1980 a été effectuée selon une méthodologie plus ancienne; on ne peut donc les comparer aux émissions de 1985 et aux plus récentes. 2 – Les prévisions d'émissions aux É.-U. sont basées sur les résultats sommaires d'émissions de REMSAD (*Regional Modelling System for Aerosols and Deposition*).

du polluant en cause, de la concentration relative de chaque polluant dans le mélange et des paramètres de santé mesurés.

2. Quelles sont les tendances actuelles des émissions acidifiantes et celles prévues?

LE DIOXYDE DE SOUFRE

Au Canada, les émissions de dioxyde de soufre (SO₂) ont diminué d'environ 50 % entre 1980 et 2000 et il est prévu qu'elles diminueront d'un 4 % supplémentaire entre 2000 et 2020 (figure 1.5). Ces prévisions d'émissions ne concernent aucune autre réduction d'émissions que celles entendues dès 2003 en vertu des accords canadiens. Dans l'Est du Canada, les émissions de SO₂ ont diminué de 53 % entre 1985 et 2000, tandis que celles de l'Ouest canadien ont diminué de 6 % au cours de cette période. Entre 2000 et 2020, on prévoit que les émissions de SO₂ diminueront de 21 % dans l'Est du Canada et augmenteront de 15 % dans l'Ouest canadien. On prévoit que dès 2010, les émissions de SO₂ dans l'Ouest canadien dépasseront celles produites dans l'Est du pays.

Aux É.-U., les émissions totales de SO₂ ont diminué d'environ 40 % entre 1980 et 2000 et il est prévu qu'elles baisseront d'environ 38 % entre les années 2000 et 2020 (figure 1.5). Dans ces prévisions d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles prévues par l'Accord Canada-Etats-Unis sur la qualité de l'air et acceptées depuis 2003.

LES OXYDES D'AZOTE

Dans l'ensemble du Canada, les émissions d'oxydes d'azote (NO_x) sont demeurées relativement constantes entre 1985 et 2000, mais on prévoit qu'elles diminueront d'environ 17 % entre 2000 et 2020 (figure 1.6). Dans ces prévisions d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles devant être appliquées au Canada dès 2003 en vertu des accords. Dans l'Est du Canada, les émissions de NO_x ont diminué de 17 % entre 1985 et 2000 et on projette qu'elles diminueront d'environ 39 % entre 2000 et 2020. Dans l'Ouest canadien, les émissions de NO_x ont augmenté de 29 % entre 1985 et 2000 et on projette qu'elles augmenteront d'environ 5 % entre 2000 et 2020. Depuis l'an 2000, les émissions

de NO_x produites dans l'Ouest canadien ont dépassé celles produites dans l'Est du pays. On prévoit que jusqu'en 2020, les émissions de NO_x produites dans l'Ouest canadien continueront de dépasser celles produites dans l'Est du Canada.

Aux É.-U., les émissions de NO_x ont légèrement diminué entre 1985 et 2000 ; mais on prévoit qu'elles diminueront d'environ 47 % en 2020 par rapport aux quantités émises en l'an 2000 (figure 1.6). Dans ces prévisions d'émissions, on n'a considéré aucune autre réduction d'émissions que celles prévues par l'Accord Canada-Etats-Unis sur la qualité de l'air et acceptées depuis 2003.

3. D'où proviennent les sources industrielles majeures des émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens?

QUELLES SONT LES SOURCES INDUSTRIELLES MAJEURES DES ÉMISSIONS ACIDIFIANTES AU CANADA ET AUX É.-U.?

Au Canada, les sources majeures des émissions acidifiantes proviennent des secteurs de l'exploitation minière et la fusion des métaux non ferreux, de la production d'électricité, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et du transport.

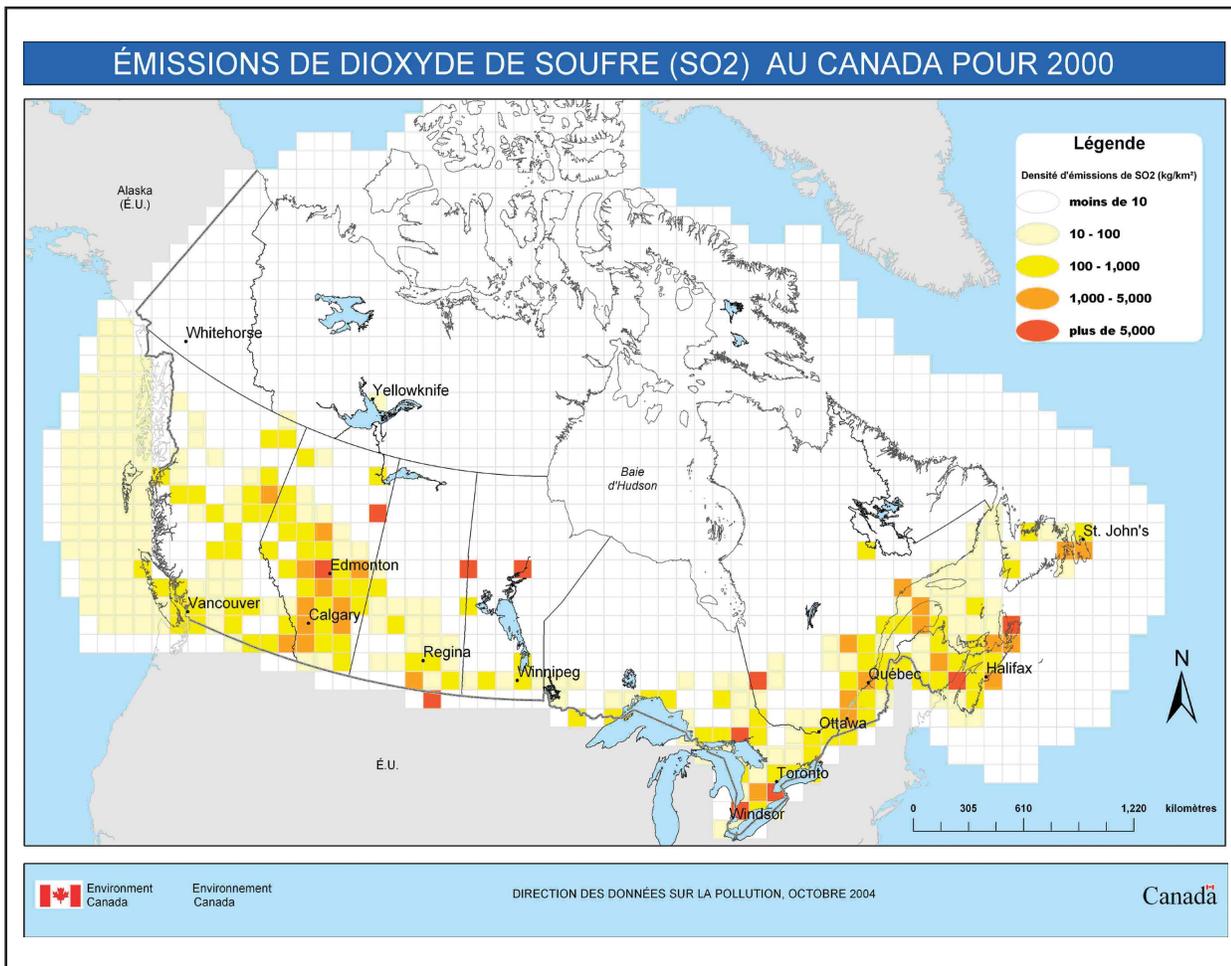


Figure 1.7 : Distribution des émissions de dioxyde de soufre (SO₂) au Canada en 2000 (kg/km²).

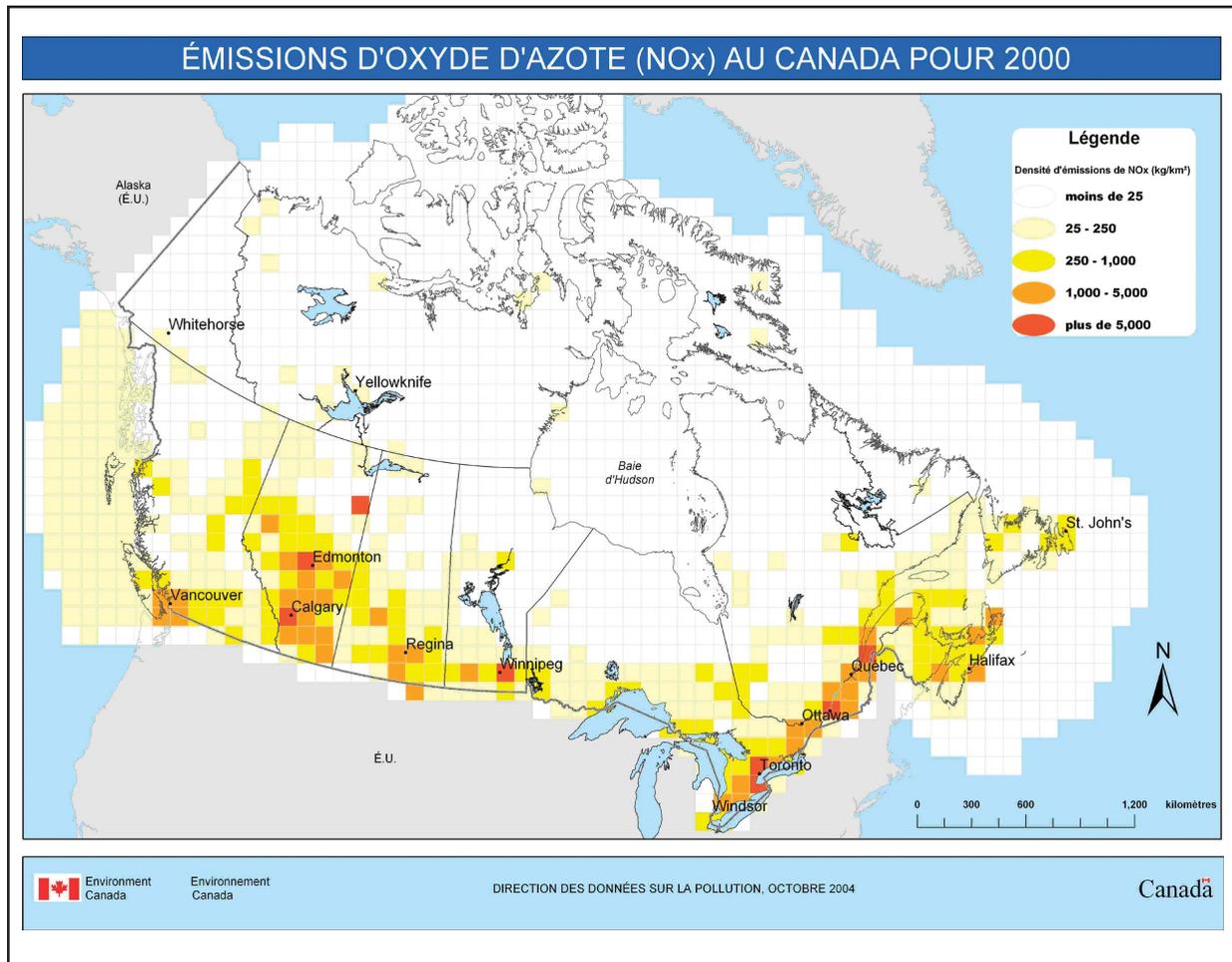


Figure 1.8 : Distribution des émissions des oxydes d'azote (NO_x) au Canada en 2000 ($\text{kg NO}_2/\text{km}^2$).

Les secteurs sources des émissions de SO_2 et de NO_x dans l'Est du Canada se concentrent le long du corridor Windsor-Québec, avec des points chauds situés dans le centre de l'Ontario, le centre du Québec, le centre-sud du Nouveau-Brunswick, le centre-est de la Nouvelle-Écosse et à Terre-Neuve (figures 1.7 et 1.8). Le corridor Windsor-Québec très urbanisé comprend des secteurs sources d'émissions tels que la génération thermique d'énergie électrique et le transport routier. Les points chauds du centre de l'Ontario et du centre du Québec sont là où il s'y fait de l'exploitation minière et de la fusion des métaux non ferreux. Les points chauds du centre-sud du Nouveau-Brunswick, du centre-est de la Nouvelle-Écosse et de Terre-Neuve sont associés à la production d'électricité et à la production d'autres émissions

industrielles (par ex., de l'exploitation minière et des pâtes et papiers).

Dans l'Ouest canadien, les grands secteurs sources d'émissions de SO_x et de NO_x se trouvent en Alberta et dans des points chauds situés au Manitoba et en Saskatchewan. Les émissions émanant de l'Alberta proviennent principalement de la génération thermique d'énergie électrique, du secteur amont de l'industrie pétrolière et gazière et des raffineries de pétrole. En Saskatchewan, les régions où les émissions sont les plus importantes sont celles où sont installées des stations de génération thermique d'électricité. Les régions où les émissions sont importantes au Manitoba sont associées à l'exploitation minière et à la fusion des métaux non ferreux.

Aux É.-U., les sources majeures des émissions acidifiantes proviennent des secteurs de la production d'électricité et des véhicules routiers. Les émissions majeures de SO₂ et de NO_x qui affectent l'Est des É.-U. prennent source dans la région très industrialisée et urbanisée qui s'étend du sud-est de l'Ohio à la partie ouest de la Virginie et de l'ouest du Kentucky au centre du Tennessee ¹².

QUELLES SONT LES PRINCIPALES RÉGIONS SOURCES DES ÉMISSIONS QUI AFFECTENT LES ÉCOSYSTÈMES CANADIENS?

Grâce aux analyses de données des dépôts humides et secs, à l'utilisation de techniques d'attribution des sources et de modèles de l'atmosphère, les chercheurs ont pu déterminer les régions d'où proviennent les émissions acidifiantes qui affectent les écosystèmes canadiens.

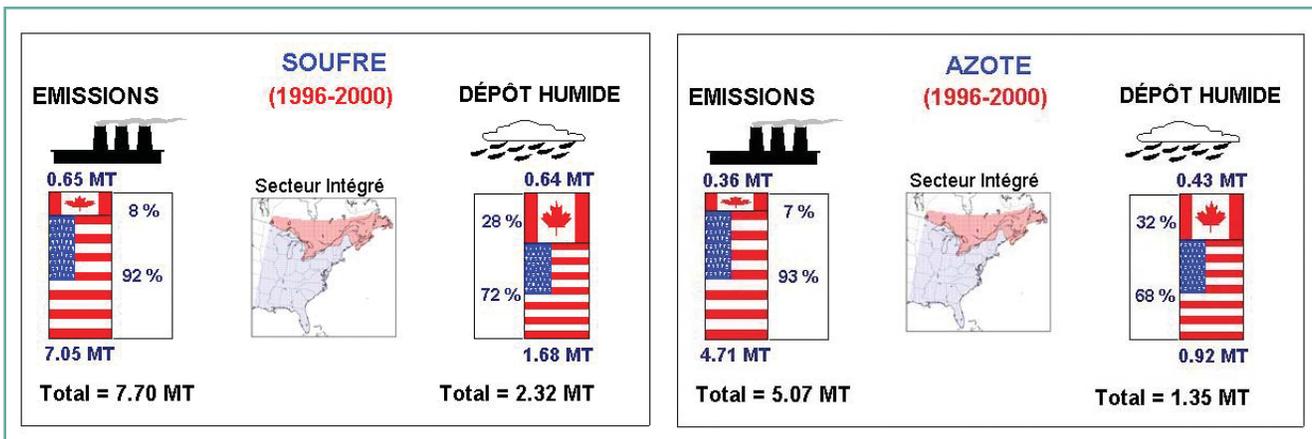


Figure 1.9 : Moyennes sur cinq ans (1996-2000) des émissions totales (mégatonnes; MT) et des dépôts humides (MT) de soufre et d'azote dans l'Est du Canada et l'Est des É.-U. (les superficies apparaissent dans l'encadré). Les valeurs en pourcentage indiquent les proportions des émissions totales et des dépôts humides produites par les deux pays.

À l'intérieur du territoire de l'Est du Canada, c.-à-d. dans la zone délimitée par la frontière Manitoba-Ontario, Terre-Neuve, la frontière Canada-É.-U. et le 51 °N de latitude, les sources canadiennes y émettent moins de 10 % des émissions totales de SO₂ et de NO_x de tout l'Est de l'Amérique du Nord. Cette zone reçoit pourtant approximativement 30 % des dépôts atmosphériques humides de sulfate et de nitrate émis dans l'Est de l'Amérique du Nord (figure 1.9). Ce déséquilibre important est dû aux émissions du Midwest et de l'Est des É.-U. transportées jusque dans l'Est du Canada puis retombant sous forme de retombées humides. On estime qu'entre 45 et 70 % des dépôts atmosphériques humides de sulfate et de nitrate de l'Est du Canada proviendraient de l'Est des É.-U. ¹³.

On a utilisé les données de dépôts atmosphériques humides et secs colligées par le Réseau canadien de surveillance des précipitations acides (RCSPA), combinées aux trajectoires des masses d'air, pour estimer la contribution des différentes régions sources des émissions en Amérique du Nord aux retombées en soufre et en azote à des endroits spécifiques au Canada. En Ontario, au Québec et en Nouvelle-Écosse, on estime que 50 à 70 % des dépôts de soufre et d'azote tombés dans toutes les stations de mesures du RCSPA, situées à l'intérieur de 200 km de la frontière américaine, proviennent des émissions américaines et du sud de l'Ontario et du Québec (figure 1.10). Les 30 à 50 % des dépôts restants reçus par ces stations sont issus des sources canadiennes situées au nord, à l'ouest et à l'est

¹²Sous-comité de la coopération scientifique (SC2) – Comité sur la qualité de l'air (2004) Canada-États-Unis évaluation scientifique des particules transfrontalières. 129pp.

¹³Basé sur le calcul du bilan de masse.

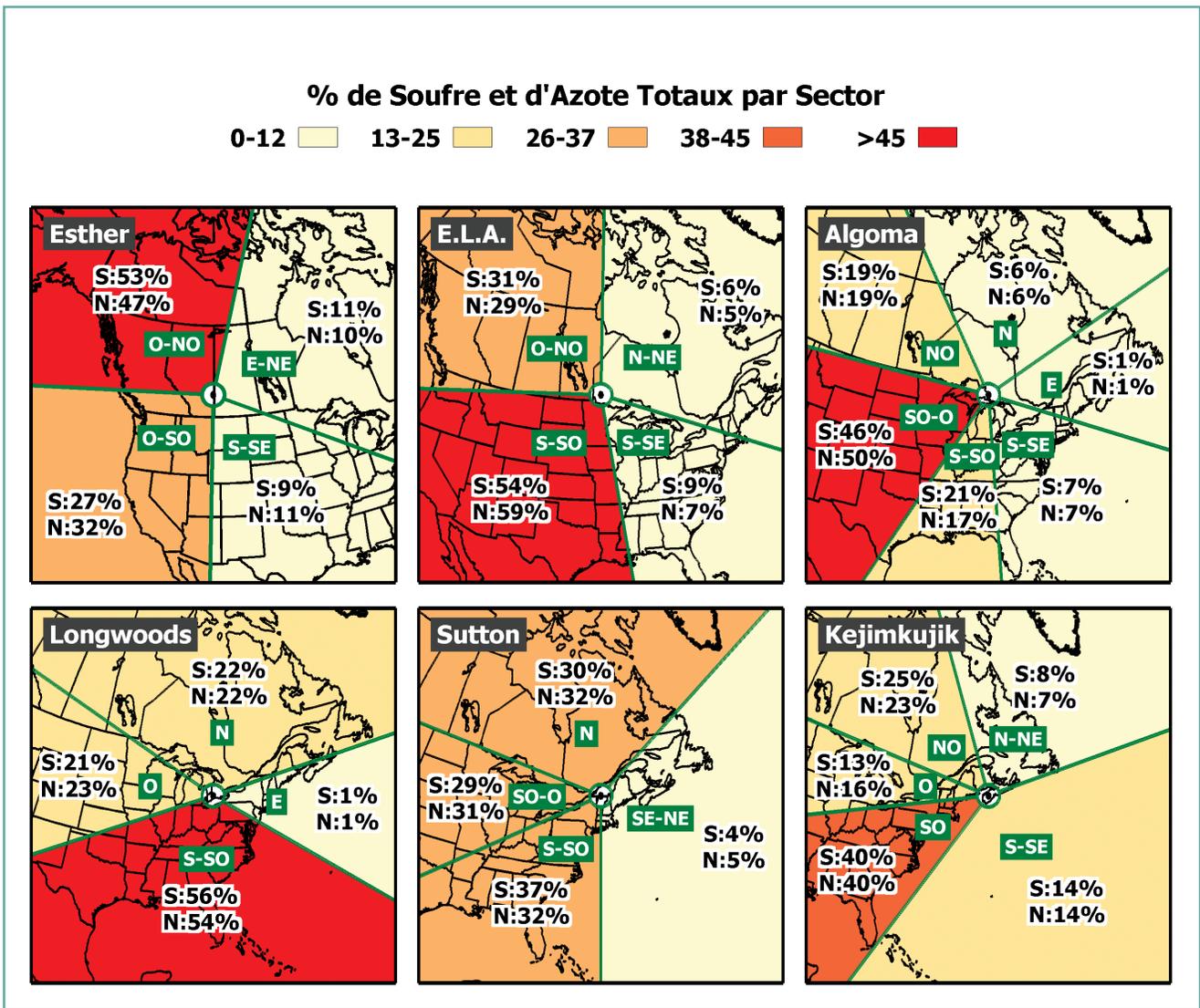


Figure 1.10 : La contribution (en pourcentage) des différentes régions sources aux dépôts atmosphériques totaux de soufre et d'azote dans les stations du RCSPA de tout le Canada.

de celles-ci; les régions situées à l'est des stations du RCSPA sont celles qui contribuent le moins aux dépôts acides quelle que soit la station. Les sources d'émissions américaines dans les états des Grands Lacs, de la vallée fluviale de l'Ohio et du Midwest sont les sources qui semblent exercer dans l'Est du Canada le plus grand impact sur les dépôts atmosphériques humides et secs (figure 1.10).

Dans l'Ouest canadien, il existe peu de données disponibles pour évaluer l'attribution des sources d'émissions. Dans une station de mesures située dans

les prairies près de la frontière entre l'Alberta et la Saskatchewan, environ 45 à 55 % des dépôts humides et secs sont attribuables à des sources d'émissions qui proviennent du centre et du nord de l'Alberta et de la Colombie-Britannique (figure 1.10). Les sources d'émissions du sud de l'Alberta et de la Colombie-Britannique et du nord-ouest des É.-U. comptent pour environ 30 % des dépôts humides et secs dans cette station, tandis que les sources d'émissions à l'est de la station comptent pour environ 30 % des dépôts humides et secs restants.

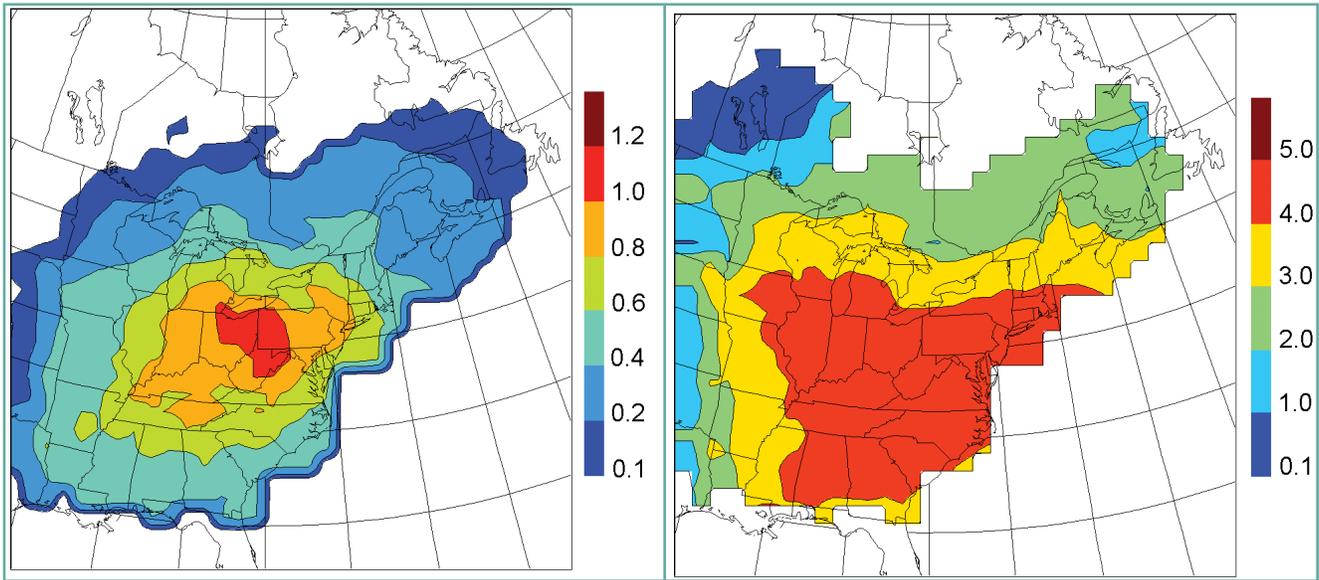


Figure 1.11 : Illustration de la différence dans les quantités de sulfate présentes dans les dépôts atmosphériques humides exprimées (a) kg $\text{SO}_4^{2-}/\text{ha}/\text{a}$ et en b) pourcentage (calculé selon $(\text{PST2010A} - \text{PST2010B}) / \text{CCUSA2}$), établies d'après deux scénarios MDAO de contrôle des émissions de SO_2 : le scénario « PST2010A »¹⁴ et le scénario « PST2010B »¹⁵. Exprimée en termes d'émissions annuelles de SO_2 , la différence de quantités prévues aux É.-U. entre les deux scénarios correspond à 611 ktonnes/a, soit 5% des émissions des É.-U. considérées dans le scénario « CCUSA2 »¹⁶. (Note: 1 kg $\text{SO}_4^{2-}/\text{ha}/\text{a}$ équivaut à 20,8 eq/ha/a).

On a utilisé les modèles de chimie de l'atmosphère pour déterminer quelles sources démissions affectaient les écosystèmes canadiens. Les résultats du Modèle de dépôts acides et de polluants oxydants (MDAO) laissent suggérer que les émissions de SO_2 et de NO_x du Canada et des É.-U. contribuent à acidifier les dépôts atmosphériques dans l'Est du Canada. On en est arrivé à cette conclusion après avoir comparé les diminutions de sulfate présent dans les retombées humides résultant de différents scénarios de réduction d'émissions de la part du Canada et des É.-U. La figure 1.11 illustre l'exemple d'un scénario de réduction où 1) les É.-U. réduiraient d'un 5 % supplémentaire leurs émissions par rapport aux réductions prévues en 2010 dans l'AQA (les réductions équivalent à 611 ktonnes/a) et où 2) le Canada ne contribuerait pour aucune réduction supplémentaire que celles prévues dans cet accord. Selon ce scénario, les

réductions de sulfate contenu dans les retombées atmosphériques humides de l'Est du Canada seraient de plus de 0,8 kg $\text{SO}_4^{2-}/\text{ha}/\text{a}$ dans le sud-ouest de l'Ontario et jusqu'à 0,1 – 0,4 kg $\text{SO}_4^{2-}/\text{ha}/\text{a}$ dans les provinces de l'Atlantique et le centre du Québec et de l'Ontario. En termes de pourcentage (figure 1.11b), ces réductions correspondent à des diminutions de 1 à 4 % de sulfate dans les précipitations humides que reçoivent l'Est du Canada par rapport au scénario 2010 de l'AQA, avec les diminutions relatives les plus importantes prévues dans le sud de l'Ontario, le sud du Québec, le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse.

La figure 1.12 illustre ce qu'il adviendrait du scénario inverse, c'est-à-dire 1) si le Canada réduisait d'un 32 % supplémentaire ses émissions de SO_2 par rapport aux émissions projetées de 2010 (qui équivalent à

¹⁴Dans le scénario PST2010A, on assume que l'Ontario a réduit ses émissions annuelles de SO_2 d'un 50 % supplémentaire par rapport au plafond établi dans le Programme de lutte contre les pluies acides dans l'Est du Canada (885 contre 443 ktonnes SO_2/a), le Québec, d'un 45 % supplémentaire (500 contre 275 ktonnes/a) et le Nouveau-Brunswick et la Nouvelle-Écosse d'un 25 % supplémentaire (respectivement 175 contre 131 et 194 contre 146 ktonnes/a). On assume que les É.-U. réduiront les émissions annuelles de SO_2 de 55 % supplémentaire par rapport aux concentrations d'émissions projetées en 2010 tels qu'elles sont prévues selon l'Accord Canada-É.-U. sur la qualité de l'air (12,446 contre 5,578 ktonnes/a).

¹⁵Ce scénario est très semblable au scénario PST2010A. La seule différence est que les émissions de SO_2 des É.-U. sont réduites de 40 % par rapport aux concentrations d'émissions prévues de 2010, ce qui équivaut à une réduction de 60 %, comparativement à la réduction de 55 % considérée dans le scénario PST2010A.

¹⁶Le scénario CCUSA2 prévoit les dépôts atmosphériques en 2010 à partir des concentrations d'émissions de SO_2 qui se produiront lorsque sera complété le Programme 1985 de lutte contre les pluies acides dans l'Est du Canada et les exigences du « Titre IV » et des Phases 1 et 2 des amendements du Clean Air Act de 1990 aux É.-U.

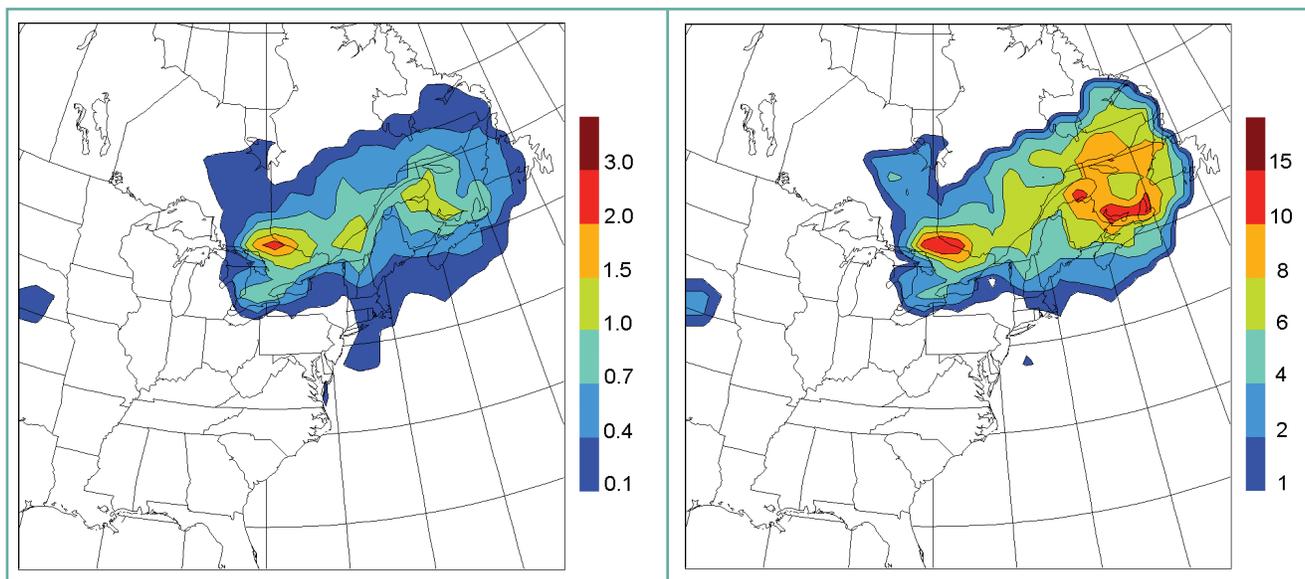


Figure 1.12 : Pllustration de la différence dans les quantités de sulfate présentes dans les dépôts atmosphériques humides exprimées en a) $\text{kg SO}_4^{2-}/\text{ha/a}$ et en b) pourcentage (calculé selon $(\text{CCUSA2} - 5\text{CONLY}) / \text{CCUSA2}$), établies d'après deux scénarios MDAO de contrôle des émissions de SO_2 : le scénario « CCUSA2 » (voir note de bas de page no. 16) et le scénario « 5CONLY »¹⁷. Exprimée en termes d'émissions annuelles de SO_2 , la différence de quantités prévues au Canada à partir des deux scénarios correspond à 619 ktonnes/a ou à 32 % des concentrations d'émissions du scénario « CCUSA2 ». (Note: 1 $\text{kg SO}_4^{2-}/\text{ha/a}$ équivaut à 20,8 eq/ha/a).

619 ktonnes/a) et 2) les É.-U. ne contribuaient pour aucune autre réduction supplémentaire que celles prévues par l'AQA. Dans ce cas, les sulfates diminueraient jusqu'à 15 % dans les précipitations de l'Est du Canada (de 0,1 à 3,0 $\text{kg SO}_4^{2-}/\text{ha/a}$), les diminutions étant prévues le long du corridor Sudbury, ON – Rouyn, QC et près de l'Île-du-Prince-Édouard. Des diminutions aussi importantes que 5 % s'enregistreraient aussi dans le nord-est des É.-U. à la suite des réductions d'émissions réalisée par le Canada. Étant donné que la réduction totale des émissions de SO_2 est presque identique dans ces deux scénarios, ces résultats montrent que la réduction d'une tonne de SO_2 des émissions canadiennes créerait un plus grand impact au Canada que la réduction d'une tonne de SO_2 des émissions arrivant des É.-U.

Pour l'Ouest canadien, les résultats du RELAD (modèle régional lagrangien des dépôts acides) et du modèle lagrangien du SEA pour le soufre (MLSS) permettraient

d'affirmer que les principaux agents responsables de l'acidité des retombées atmosphériques émanent des émissions canadiennes de SO_2 et de NO_x . Cette affirmation est basée sur l'examen des cartes continentales des émissions et de la comparaison des prévisions des modèles avec des données observées. La figure 1.13 donne l'exemple des prévisions estimées par RELAD de 30 ans de retombées annuelles moyennes de sulfate et de nitrate basées sur les données d'émissions de 1995. Les pics de la figure 1.13a indiquent la présence de retombées humides de sulfate suivant, de l'ouest vers l'est, le corridor Calgary-Edmonton puis les régions de Fort McMurray en Alberta et de Flin Flon et de Thompson au Manitoba. La figure 1.13b indique que des pics d'émissions de retombées humides chargées en nitrate se produiront en Alberta le long et à l'est du corridor Calgary-Edmonton, ce qui est cohérent avec les observations relevées sur les différentes sources de SO_2 et de NO_x émises dans l'Ouest canadien.

¹⁷Ce scénario simple est très semblable à celui du CCUSA2. La seule différence est que les émissions canadiennes de SO_2 dans l'Est du Canada (la zone de gestion des oxydes de soufre (ZGOS) ont baissé de 50 % par rapport aux plafonds provinciaux accordés par le Programme de lutte 1985 contre les pluies acides de. Le domaine du modèle MDAO est approximativement le même que la ZGOS dans le sud-est du Canada.

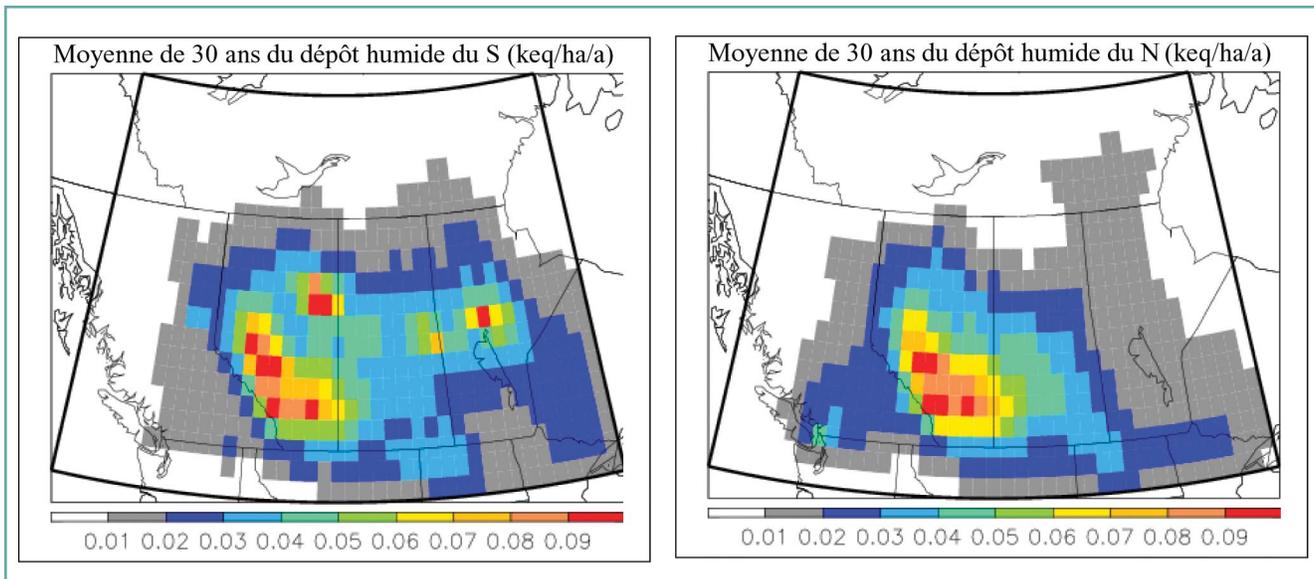


Figure 1.13 : Dépôts atmosphériques de soufre et d'azote (keq/ha/a) prévus par RELAD; prévisions basées sur les conditions météorologiques moyennes du cours des années 1971 à 2000 et sur les données d'émissions canadiennes de 1995. Le domaine couvert par RELAD est indiqué par la ligne noire pleine. Chaque maille de la grille représente 1° de latitude par 1° de longitude. (Note: 1 keq/ha/a de dépôt atmosphérique humide de soufre équivaut à 48,1 kg/ha/a tandis que 1 keq/ha/a de dépôt atmosphérique d'azote équivaut à 62,1 kg/ha/a).

4. Faut-il réduire davantage les émissions produites au Canada et aux É.-U.? Si oui, de combien faut-il le faire et où sont situées les sources?

Il est clair qu'il faille réduire les émissions de SO₂ et de NO_x qui affectent l'Est du Canada : les dépôts atmosphériques de soufre et d'azote dépassent actuellement les charges critiques des milieux aquatiques et des forêts d'un vaste territoire de cette région. Dans l'Ouest canadien, le manque de données pour évaluer les charges critiques ne permet pas de déterminer s'il y a nécessité de réduire les émissions.

Le modèle MDAO prévoit que les charges critiques de sulfate des écosystèmes aquatiques¹⁸ seront encore dépassées dans le centre de l'Ontario et au Québec, même si l'on utilise les données les plus vraisemblables dans l'estimation des émissions futures de SO₂, et ce, même si on réduisait les émissions de SO₂ du Canada et des É.-U. de 50 % de plus que les réductions prévues d'ici 2010 dans le cadre de l'AQA. Ces estimations correspondent aux prévisions données par le modèle MDAO d'après des scénarios similaires présentés dans le rapport d'évaluation de 1997¹. On prévoit que le dépassement des charges critiques en sulfate du milieu aquatique calculés en 1997 ne pourrait être évité qu'en envisageant le scénario de

contrôle des émissions qui exige une réduction supplémentaire des émissions de SO₂ de 75 % par rapport aux réductions actuellement prévues au Canada et aux É.-U. dans le cadre de l'AQA en 2010. Il est important de souligner que les charges critiques calculées en 1997 ont été révisées dans le cadre de l'évaluation 2004 et que de nouvelles estimations des charges critiques des écosystèmes aquatiques et forestiers ont été effectuées. Ces nouvelles estimations se révèlent plus faibles que celles publiées dans le rapport d'évaluation de 1997 dans beaucoup de régions, et plus élevées dans quelques autres. Par conséquent, on considère que des réductions des émissions de SO₂ plus importantes que 50 ou 75 % seraient nécessaires pour ne pas dépasser ces nouvelles estimations de charges critiques.

Pour que l'on atteigne dans l'Est du Canada et l'Est des É.-U. les 75 % de réductions d'émissions nécessaires pour ne pas dépasser les charges critiques de 1997 des milieux aquatiques, les É.-U. devraient contribuer, en termes de mégatonnes (MT), à une baisse plus importante que le Canada. Cette différence de contribution entre les deux pays s'explique par le fait que les émissions de SO₂ dans l'Est du Canada constitue seulement 9 % des émissions nord-américaines (selon l'estimation des émissions de l'an 2000; voir la figure 1.9).

¹⁸Selon les charges critiques publiées dans le rapport d'évaluation de 1997 des pluies acides au Canada. En anglais seulement.

Les estimations résultant du modèle MDAO donnent à penser que sur la base de tonne par tonne, la réduction d'une MT d'émissions dans l'Est du Canada les réduirait davantage dans cette région que si on réduisait un MT d'émissions issues de l'Est des É.-U. Cela s'explique par le fait qu'au Canada, il y a une plus grande proportion des émissions de sources canadiennes qui s'y redéposent par rapport aux sources américaines. Ainsi, bien que les émissions de l'Est des É.-U. doivent être réduites pour atteindre les charges critiques de l'Est du Canada (puisque 45 % ou plus des dépôts en sulfate dans l'Est du Canada sont attribuables à l'apport des émissions américaines), il reste qu'il est plus profitable de réduire l'émission d'une tonne de SO₂ en Ontario et au Québec qu'une tonne de SO₂ en provenance des états de la vallée fluviale de l'Ohio ou du nord-est. Toutefois, réduire les émissions dans les deux pays s'avère la seule mesure capable d'éliminer complètement le dépassement des charges critiques des milieux aquatiques de l'Est du Canada.

Les analyses des données des dépôts atmosphériques sont cohérentes avec les résultats de la modélisation par le modèle MDAO, bien qu'elles ne permettent pas d'estimer l'intensité des réductions des émissions de SO₂ et de NO_x requises pour ne pas dépasser les charges critiques. Les résultats des analyses nous permettent d'affirmer qu'il y aurait lieu de réduire les émissions acidifiantes dans l'Est du Canada, le Midwest et l'Est des É.-U. et l'Ouest canadien si l'on veut réduire l'acidité des retombées atmosphériques dans l'Est du Canada. Dans l'Est du Canada, les plus grandes réductions des émissions doivent avoir lieu en Ontario et au Québec. Aux É.-U., les plus grandes réductions des émissions doivent être appliquées 1) dans les états du Midwest si l'on veut réduire les retombées acides dans le Nord-ouest de l'Ontario; 2) dans les états riverains des Grands Lacs et de la vallée fluviale de l'Ohio si l'on veut aussi réduire les retombées acides dans le reste de l'Ontario et au Québec et 3) dans les états de la vallée fluviale de l'Ohio et la Côte Est si l'on veut réduire les retombées acides du Canada atlantique. Pour réduire le plus efficacement les émissions qui affectent le Canada, il faudrait, selon des résultats d'estimations complémentaires, que les mesures de réduction s'appliquent dans les régions suivantes : le tier nord des états du Midwest, les états riverains des Grands Lacs et dans les états de la vallée fluviale de l'Ohio et de la Côte Est. En fait, la réduction des émissions dans le tier sud des états américains ne contribuerait pour le Canada que très peu en définitive à la désacidification des retombées atmosphériques.

5. Réduire les NO_x peut-il compenser pour le besoin de réduire le SO₂? Est-ce que la saturation en azote présente un problème? Quelles sont les impacts de la réduction des émissions de NO_x sur les écosystèmes canadiens?

Le soufre contenu dans les dépôts atmosphériques demeure le principal agent acidifiant des bassins versants de l'Est du Canada; il existe seulement un petit nombre de bassins versants dont l'acidification est attribuable à l'azote, et ce phénomène déclinerait selon l'information scientifique nouvelle. Les charges critiques ont été déterminées par l'analyse séparée des deux composés acidifiants. Les résultats indiquent que réduire les dépôts de sulfate seul peut se révéler dans certains cas une mesure efficace pour réduire le dépassement de la charge critique, tandis que dans d'autres cas, réduire à la fois les dépôts de sulfate et d'azote se révèle nécessaire (par ex., le bassin versant de la rivière Muskoka en Ontario). Ainsi, selon notre compréhension actuelle du rôle de l'azote dans l'acidification, réduire les émissions de NO_x ne compensera pas pour le besoin de réduire les émissions de SO₂.

Bien que la saturation en azote ne semble pas se poser en problème dans l'Est du Canada, nous savons que la capacité de la portion terrestre des bassins versants de retenir les retombées en azote a des limites. Il est raisonnable de croire qu'une forte réduction des dépôts atmosphériques d'azote préservera plusieurs stations du phénomène de saturation en azote. Pour l'instant, il n'est pas possible d'établir de seuil critique de dépôts atmosphériques d'azote pour le Canada au-dessous duquel ce phénomène ne risquerait aucunement de se produire.

6. Existe-t-il d'autres facteurs qui pourraient faire diminuer l'efficacité des réductions des émissions (par ex., la diminution ou l'augmentation des retombées en cations basiques)?

Ces facteurs existent. Ils se rapportent aux phénomènes suivants :

- ➡ Le lessivage des cations basiques diminue la capacité des sols à neutraliser l'acidité des retombées futures; autrement dit, il accroît la vulnérabilité des sols aux dépôts acides.
- ➡ Dans les conditions limitées en oxygène prévalentes dans les sédiments des milieux humides, le sulfate

des dépôts atmosphériques est converti en sulfures, des composés d'entreposage stables de cet élément. Lorsque la nappe phréatique s'abaisse aux périodes de sécheresse, l'oxygène pénètre dans ces sols auparavant anaérobiques, oxyde les sulfures et cela les libère sous forme de sulfate. De tels changements climatiques pourraient brouiller la relation attendue entre la baisse des dépôts atmosphériques de sulfate et les concentrations en sulfate dans les lacs et les rivières en causant des variations temporelles des flux de sulfate des bassins versants dominés par les milieux humides.

- ⇒ On prévoit que la diminution des entrées de sulfate dans les sols, résultant de la réduction des dépôts acides, entraînera le largage (désorption) du sulfate entreposé. Le largage du sulfate dans les lacs et les rivières contrecarre donc les effets de la réduction des émissions de SO₂. La quantité de sulfate entreposée dans les sols susceptible d'être larguée dépend des caractéristiques des sols et de la concentration de sulfate contenue dans les dépôts atmosphériques. Dans les bassins versants, tel que celui de Plastic Lake situé dans la région de Muskoka-Haliburton de l'Ontario, on prévoit que pour des décennies à venir le sulfate entreposé dans les sols continuera d'être largué dans les eaux de surface¹⁹.
- ⇒ La minéralisation (transformation de soufre organique en sulfate inorganique) et l'immobilisation (transformation de sulfate inorganique en soufre organique) sont des processus microbiens qui se produisent simultanément dans les sols. La minéralisation peut devenir une source de sulfate pour les eaux de drainage, à condition que le sulfate largué des composés de soufre organique dépasse son taux d'immobilisation. Un certain nombre d'études ont montré que la minéralisation était responsable de l'exportation nette du sulfate des sols des bassins versants du Canada.
- ⇒ Lorsque les écosystèmes terrestres deviennent saturés en azote (c.-à-d. qu'ils reçoivent plus d'azote que ce qu'il peuvent en utiliser), ce dernier forme un acide qui peut être lessivé des sols et acidifier les eaux de surface.

7. Est-ce que les écosystèmes affectés montrent des signes de rétablissement à la suite des mesures de réduction des émissions de SO₂ qui ont été appliquées dans le passé ? Dans l'affirmative, comment le rétablissement s'effectue-t-il? Sinon, pourquoi? Et quand et à quelles conditions peut-on s'attendre à un rétablissement considéré acceptable au plan environnemental ? Quel rôle jouent les émissions de NO_x?

On a pas observé jusqu'à présent de rétablissement chimique et biologique à grande échelle dans aucun écosystème, mais certains signes encourageants prouvent que du rétablissement se produit.

Dans l'Est du Canada, aux alentours des fonderies qui ont fortement réduit leurs émissions depuis un certain temps (par ex., à Sudbury et, dans une moindre mesure, à Rouyn-Noranda), on observe une remontée du pH ou d'alcalinité des lacs, une preuve manifeste de rétablissement chimique. Par ailleurs, les lacs du sud-est du Canada qui sont principalement affectés par les sources des dépôts acides transportés sur de longues distances voient leur concentration en sulfate diminuer, malgré la remontée relativement faible de leur pH (ou de l'alcalinité). Cependant, des phénomènes tels que le déclin des cations basiques dans les précipitations et les sols des bassins versants, le largage du soufre induit par les épisodes de sécheresse et les dommages causés aux phénomènes générateurs d'alcalinité dans les lacs limitent – et plus probablement reportent – le rétablissement chimique; le rétablissement biologique devant nécessairement se produire après le rétablissement chimique. En définitive, les lacs se trouveront dans un état plus « dilué » (c.-à-d. à des concentrations ioniques plus basses et ainsi plus sensibles) qu'ils ne l'étaient avant le début de l'acidification.

Il est probable que beaucoup de lacs se rétablissent selon un état différent que leur état d'origine. Dans certains lacs hautement endommagés (par ex., dans la région de Sudbury), les communautés d'algues et de zooplancton réagissent favorablement à la remontée du pH, mais le rétablissement global demeure limité par la présence de métaux toxiques et par des épisodes de réacidification. La recherche expérimentale sur l'acidification a démontré que les écosystèmes aquatiques pouvaient être résilients au stress d'acidité; mais certaines communautés biologiques pourraient demeurer altérées à tout jamais à

¹⁹Eimers, M.C., Dillon, P.J., Schiff, S.L.. 2004. Sulphate flux from an upland forested watershed in south-central Ontario, Canada. *Water Air and Soil Pollution* 152, 3-22.

la suite du processus lent et complexe de rétablissement. L'augmentation du nombre de huards et d'autres oiseaux aquatiques, qui viennent se reproduire dans le sud-est du Canada marque un signe encourageant du rétablissement, mais le taux de reproduction des huards déclinera d'après les dernières observations; ce phénomène deviendrait inquiétant s'il se poursuivait et se répandait. On prévoit que la qualité de l'habitat des oiseaux aquatiques qui nichent dans les petits lacs et les milieux humides du sud-est du Canada s'améliorera au bénéfice des oiseaux piscivores (par ex., le plongeon huard et le grand harle) et des petits poissons (par ex., les cyprins), mais ne profitera pas à certains canards plongeurs insectivores (par ex., le garrot à oeil d'or), compte tenu de l'ampleur des modifications chimiques qui prévaudront.

Ces preuves de rétablissement des lacs dans certaines régions corroborent l'hypothèse selon laquelle les propriétés chimiques des sols (concentrations en cations basiques) se rétablissent aussi, puisque ce sont elles qui sont en cause dans la régulation de l'acidité des eaux de surface. Cependant, des données empiriques de même que des résultats de modélisation nous font supposer que les réserves en cations basiques dans les sols continuent à diminuer dans tout le sud-est du Canada, un phénomène qui menace autant le caractère durable des forêts que le rétablissement des lacs et des rivières. Pour qu'il y ait rétablissement des écosystèmes terrestres, il faudrait que les quantités de dépôts acides baissent au point que l'apport de cations basiques dans les sols issu de leur altération chimique et les apports atmosphériques équivalent, voire dépassent, la perte de ces cations par le lessivage d'acides.

Les émissions de NO_x ont aussi un rôle à jouer dans l'acidification des sols des bassins versants de l'Est du Canada, mais dans une moindre mesure que les émissions de soufre, qui demeurent l'agent acidifiant prédominant (représentant en général >90 % du lessivage d'acides des sols). Le nitrate contribue à l'acidification des sols de certains bassins versants, tels que le bassin versant de la rivière Muskoka situé en Ontario.

8. Quels avantages socio-économiques peut-on tirer de l'atténuation des dépôts acides?

Les dépôts acides créent des impacts négatifs sur les lacs, les rivières, les sols, les forêts, la faune sauvage, la diversité biologique, les édifices et la santé humaine. Les

avantages socio-économiques de réduire ou d'éviter ces impacts négatifs pourraient être considérables. De plus, les réductions des MP et de l'ozone, engendrées par les réductions des émissions acidifiantes, présenteraient une large gamme d'avantages pour l'environnement, l'économie et la santé humaine.

Les dépôts atmosphériques actuels d'acides qui tombent dans les forêts font, chaque année, perdre au Canada atlantique plus d'un demi million de mètres cubes de bois, en raison des pertes d'éléments minéraux nutritifs que ces dépôts causent. Selon les prix du marché, la valeur de ce bois perdu se chiffre en centaines de millions de dollars par an.

Le déclin des poissons dans les lacs et les rivières de l'Est du Canada crée des impacts considérables sur l'industrie de la pêche, du saumon atlantique en particulier. Le déclin des populations de poissons aura aussi des répercussions non négligeables dans le domaine de la pêche récréative, pour laquelle il s'est dépensé 1,9 milliards \$ en 1996.

Les effets corrosifs des dépôts acides peuvent être considérables, notamment pour les pylônes des lignes de transport d'électricité. Les dépôts acides peuvent réduire de 50 % la durée de leur vie espérée et faire grandement augmenter les besoins en réparation et en entretien, qui coûtent des milliers de dollars par an par pylône.

Tout indique que les dommages causés par les dépôts acides à l'intégrité de l'environnement et des écosystèmes causeraient des impacts économiques des plus considérables. En 1996, les Canadiens ont dépensé plus de 12 milliards \$ pour des activités reliées à la nature. Ce montant ne représente probablement que la pointe de l'iceberg de la valeur entière que les Canadiens accordent à l'environnement.

Les aérosols acides, les MP et l'ozone peuvent provoquer toute une variété d'effets néfastes pour la santé humaine, qui vont de l'apparition de changements subtils et de symptômes légers jusqu'à des effets plus graves (nécessitant l'hospitalisation), voire jusqu'à la mort prématurée. Les personnes âgées, les enfants et les gens souffrant de problèmes cardiorespiratoires tel que l'asthme semblent constituer le groupe le plus vulnérable aux effets des polluants en circulation dans l'air ambiant. Ces effets font augmenter les coûts des soins médicaux.

La réduction des émissions de SO₂ et de NO_x présentera aussi des avantages considérables qui vont au-delà de la réduction des dépôts acides (voir ci-dessous).

9. Quels liens relient les dépôts acides aux autres polluants? Quelle est l'implication des dépôts acides dans la formation des matières particulaires et de l'ozone? Dans la pollution par le mercure? Et quelle part prennent-ils au phénomène des changements climatiques?

LES MATIÈRES PARTICULAIRES

Les précurseurs (SO₂ et NO_x) émis dans l'atmosphère entrent tous les deux dans la formation des MP et des dépôts acides. La relation entre les matières particulaires fines (MP_{2,5}) et les différentes concentrations de ces gaz présents dans l'air ambiant est complexe. Les concentrations ambiantes de SO₂ et des MP_{2,5} tendent à long terme à évoluer dans le même sens. La réduction des émissions de SO₂ aurait donc pour effet de réduire les concentrations des MP_{2,5}.

La relation entre les concentrations ambiantes de NO_x et les MP_{2,5} est aussi complexe. Cependant, on sait que dans des conditions où le NH₃ est limitatif, la réduction des émissions de SO₂ – sans changement concomitant des émissions de NO_x et de NH₃ – peut se traduire par une augmentation des concentrations des MP, en raison de la formation de particules de nitrate d'ammonium qui se trouve favorisée. Ainsi, les réductions des émissions de SO₂ et de NO_x devraient être réalisées au même moment si l'on veut réduire les MP.

L'OZONE

Le précurseur NO_x émis dans l'atmosphère est autant impliqué dans la formation de l'ozone troposphérique (O₃) que des dépôts acides. L'ozone troposphérique se forme par suite de réactions chimiques, les plus communes impliquant les oxydes d'azote, les composés organiques volatils (COV; par ex., les solvants), et la lumière du soleil. De manière générale, l'augmentation des émissions de NO_x fait augmenter l'ozone troposphérique à l'échelle régionale. Mais dans les zones urbaines, ce sont les émissions de COV qui semblent davantage influencer les concentrations d'ozone (les mesures de contrôle des émissions de COV se révèlent plus efficaces pour réduire l'ozone que les mesures qui concernent les NO_x), l'augmentation des émissions de NO_x les faisant plutôt diminuer, un phénomène appelé en

anglais « NO_x disbenefit ». Il devient ainsi difficile de prévoir les effets des réductions des émissions de NO_x sur les concentrations d'ozone formé, compte tenu de la relation non linéaire qui existe entre les concentrations de NO_x, de COV et de l'ozone formé.

LES CHANGEMENTS CLIMATIQUES

Les dépôts acides et les changements climatiques sont reliés de différentes façons : 1) la combustion des carburants fossiles constitue la principale source anthropique i) de dioxyde de carbone (CO₂) – un gaz à effet de serre important – ii) et de SO₂ et de NO_x, précurseurs des dépôts acides. Par conséquent, réduire l'utilisation des carburants fossiles aidera à remédier aux deux problèmes; 2) le SO₂ et le NO_x contribuent à la formation de MP et d'ozone troposphérique, lesquels influencent directement – sinon indirectement – le bilan radiatif de l'atmosphère (c.-à-d. la quantité de chaleur et de lumière qui sont réfléchies dans l'espace ou en direction de la terre). La plupart du temps, l'ozone troposphérique produit un effet réchauffant sur le climat, tandis que les particules de sulfate exercent sur lui un effet refroidissant à l'échelle saisonnière; 3) un climat changeant peut modifier les quantités et les patrons de précipitations, lesquels pourraient influencer le transport, la dispersion et les apports atmosphériques des polluants acidifiants; et 4) un climat plus chaud peut favoriser l'augmentation des émissions biosynthétiques de NO_x, de SO_x et de COV. Par exemple, l'augmentation de la température à la surface du sol peut favoriser les émissions des NO_x produites par les bactéries du sol. Notre capacité de prévoir les effets de l'augmentation ou de la réduction des émissions de SO₂ et de NO_x demeure limitée bien que l'on sache qu'un lien existe entre les dépôts acides et les changements climatiques.

LE MERCURE

L'émission de mercure et autres émissions polluantes dangereuses agissent en synergie avec le SO₂ et le NO_x pour accroître les effets néfastes des dépôts acides sur les faune aquatique et terrestre. Le taux de conversion du mercure (Hg) en méthylmercure (MeHg) biodisponible toxique augmente avec l'acidité des eaux de surface. Des études récentes ont démontré que la baisse marquée des dépôts atmosphériques de sulfate et de Hg était corrélée aux baisses des teneurs en Hg des poissons et de la faune piscivore, telle que le plongeon huard. C'est pourquoi la réduction des émissions acidifiantes aiderait à atténuer le problème du mercure.

10a. Où doit-on poursuivre les activités de surveillance de l'atmosphère et des écosystèmes ?

La surveillance de l'atmosphère doit se poursuivre dans toutes les stations de surveillance existantes. On doit de plus l'accroître dans l'Ouest et l'Est du Canada afin 1) de vérifier l'efficacité des mesures de contrôle des émissions 2) de fournir des données nécessaires à l'évaluation du dépassement des charges critiques et 3) d'appuyer les études qui portent sur la santé humaine. De nouvelles stations de surveillance des dépôts atmosphériques doivent être établies en priorité en Ontario et à Terre-Neuve, faute d'un nombre insuffisant de stations. L'établissement de stations dans l'Ouest canadien constitue une priorité élevée, car on prévoit que les émissions acidifiantes y augmenteront d'une part et que d'autre part, il en existe très peu.

On doit poursuivre la surveillance des sols et de la chimie aquatique et augmenter la surveillance aux stations dont la charge critique en dépôts acides est dépassée ou risque de l'être. Des données sur la chimie des eaux de surface (par ex., les petits et grands lacs, les rivières et les milieux humides) doivent être collectées pour connaître les tendances du pH et des concentrations en sulfate et en cations basiques. Ces données sont essentielles pour évaluer le degré d'acidification des écosystèmes, leur capacité de s'en rétablir ou leur vulnérabilité à une éventuelle période d'acidification. Elles peuvent également servir à déterminer dans quelle mesure les dépôts acides affectent ou pourraient affecter la diversité biologique.

Les biotes aquatiques, la faune sauvage et les forêts doivent continuer d'être suivis dans les régions où il y a, ou eu, dépassement des charges critiques. Des systèmes de surveillance capables d'intégrer des données de nature chimique et biologique sont nécessaires pour déterminer de quelle façon les changements observés dans les eaux de surface et dans la chimie des sols affectent la diversité biologique et la productivité des écosystèmes et, si nécessaire, pour justifier la mise sur pied d'une gestion de rétablissement des écosystèmes affectés.

10b. Vers quels aspects du problème des dépôts acides devrions-nous centrer les efforts de recherche?

LES ÉMISSIONS

Les efforts de recherche doivent porter sur le développement et l'amélioration de statistiques, de méthodologies et de coefficients d'émission afin de caractériser les émissions qui proviennent des secteurs du transport routier, de l'agriculture et du chauffage au bois résidentiel.

Actuellement, une forte proportion des débits d'émissions employés pour estimer les émissions en provenance des sources industrielles et domestiques est basée sur d'anciennes mesures effectuées aux É.-U. Ces données auraient besoin d'être ajustées à la réalité canadienne des conditions du temps, des caractéristiques des carburants, des exploitations, des procédés industriels et des pratiques de contrôle des émissions et équipements associés.

On doit améliorer les inventaires d'émissions des composantes qui régissent l'acidité totale des dépôts atmosphériques. Dans le cas de certaines modélisation des effets, on utilise l'acidité totale plutôt que le sulfate, par exemple, comme variable de l'atmosphère. Malheureusement, il est difficile de prévoir adéquatement la variable pH parce que sa mesure requiert la mesure (en concentration ou en dépôts) de tous les composés acidifiants présents dans l'atmosphère, incluant l'ammoniac total et les cations basiques. Or les cations basiques posent un problème particulier à mesurer du fait de leur présence en proportions variables dans le matériel crustal (c.-à-d. les poussières libres), la nature de cette forme d'émission n'étant de plus pas encore bien caractérisée.

LA SURVEILLANCE ET L'ANALYSE DES DÉPÔTS ATMOSPHÉRIQUES

Les dépôts de soufre et d'azote constituent la cible vers laquelle doivent être dirigées les efforts de surveillance de l'atmosphère et des précipitations; ils doivent être mieux caractérisés. L'azote est particulièrement visé parce qu'actuellement, on se trouve à sous-estimer systématiquement les quantités qui se déposent, faute de ne pouvoir mesurer toutes les espèces chimiques qui composent les dépôts. Actuellement, la modélisation peut fournir une estimation des dépôts acides secs et

humides; cependant jusqu'à tout récemment il n'était pas possible de mesurer sur le terrain les dépôts secs seuls sur une base régulière dans de multiples stations. Pour cette raison, il n'a pas été possible de déterminer ni la part précise des dépôts secs contenus dans les dépôts acides, ni la contribution du soufre et de l'azote à l'acidité totale des dépôts atmosphériques, ni de valider par des mesures directes les prévisions des dépôts secs seuls. En améliorant la précision des mesures des dépôts atmosphériques totaux, nous pourrions mieux déterminer où et quand il y a dépassement des charges critiques au Canada.

Nous devons augmenter dans l'Est et l'Ouest du Canada le nombre de stations où mesurer les dépôts secs et humides de manière à caractériser les dépôts atmosphériques avec exactitude pour tout le pays. Grâce à ces nouvelles données, on pourra déterminer la distribution spatiale des dépôts secs et humides de tout le Canada et, combinée aux données américaines, de toute l'Amérique du Nord. Ces données aideront à combler notre manque de connaissances sur les régions où les charges critiques des écosystèmes sont dépassées et à améliorer nos évaluations sur l'exposition des humains aux aérosols acides. Enfin, elles constitueront la base nécessaire pour déterminer si les programmes de réduction des émissions au Canada et aux É.-U. se révèlent efficaces à réduire l'acidité des dépôts dans les régions là où c'est nécessaire. Cela est particulièrement important dans l'Ouest canadien où de telles questions demeurent sans réponse, faute de données suffisantes.

De plus, les efforts de recherche devraient davantage être centrés sur le développement de techniques d'analyses statistiques plus élaborées afin qu'on établisse les relations source-récepteur. Il sera ainsi plus facile d'évaluer l'efficacité de nouvelles mesures de réduction des émissions au Canada et aux É.-U.

LES FORÊTS ET LES SOLS

Les effets négatifs de la baisse de la fertilité des sols sur la santé des forêts sont de plus en plus rapportés dans les études récentes. Les chercheurs s'inquiètent des effets des dépôts acides sur la productivité des forêts canadiennes situées sur les sols faiblement tamponnés. Il leur est encore difficile de quantifier la relation entre les dépôts acides et la santé des forêts. C'est pourquoi ils veulent intensifier les efforts de recherche en ce sens.

Par ailleurs, il leur est aussi difficile d'évaluer le temps que mettront les sols forestiers et les eaux de surface à se rétablir, car il leur faut connaître le taux d'altération des minéraux des sols et quantifier les réserves en cations basiques des sols pour suivre leur évolution. La recherche doit s'orienter vers l'étude de ces variables du sol et de leur validation.

L'excès de soufre largué des sols peut être en partie responsable du délai observé dans le rétablissement des lacs et des rivières de l'Est du Canada; cet élément acidifiant supplémentaire n'est pas considéré dans les modèles de calcul des charges critiques. Par conséquent, les processus qui contrôlent la transformation et l'exportation du soufre des sols des bassins versants vers les eaux de surface doivent être étudiés, dans un contexte de diminution des dépôts atmosphériques de soufre.

Par ailleurs, même si le problème de saturation en azote ne semble pas encore affecter l'Est du Canada, il reste que la capacité des forêts à absorber les apports atmosphériques d'azote demeure limitée. La saturation en azote des eaux de surface compte parmi les phénomènes à surveiller dans les stations de recherche existantes de l'Est et de l'Ouest du Canada.

LA CHIMIE AQUATIQUE

À cet égard, les activités de recherche doivent consister dans la mise sur pied d'un cadre d'inventaire pour tout le Canada et dans l'acquisition de connaissances sur les sols.

Actuellement, notre capacité d'évaluer l'état de la chimie des lacs du Canada est fortement limitée par le manque de données qui proviendraient d'un dispositif d'échantillonnage adéquat. Idéalement, il faudrait, pour évaluer l'état actuel des lacs, réaliser un inventaire statistique régional de ceux-ci selon un dispositif tel que les dispositifs d'échantillonnage aléatoire stratifié adoptés aux É.-U. et en Europe du Nord. Si un tel inventaire des lacs était répété (approximativement une fois par décennie – un horaire tournant d'échantillonnage des lacs serait institué pour qu'un dixième des lacs soit échantillonné chaque année) et intégré dans une organisation hiérarchisée de réseaux de surveillance temporelle et de stations spécifiques pour la recherche, il fournirait toute l'information exigée pour évaluer l'état des ressources, leur évolution et les facteurs en cause, enfin, prévoir ce qu'il en adviendrait.

LE BIOTE TERRESTRE ET AQUATIQUE

Le rétablissement des écosystèmes constitue le principal objectif visé par l'application de mesures de réduction des émissions. Pour l'atteindre, il nous faut connaître les réactions de nature biologique induites par les réductions d'émissions, la capacité de les prévoir, et du rétablissement des habitats qui s'ensuit pour évaluer la justesse des mesures de contrôle et diriger les efforts de gestion et de conservation. Déterminer la nature et le taux du rétablissement biologique requiert la mise sur pied d'une équipe de recherche multidisciplinaire, un système de surveillance capable d'intégrer des données de biologie et d'habitat et des modèles de prévision robustes. L'information amassée servira à déterminer comment la perte continue de diversité biologique influence les fonctions des écosystèmes, information qui permettra de proposer les mesures de réduction des émissions nécessaires à l'atteinte des objectifs de rétablissement fixés.

Beaucoup d'autres facteurs de stress environnementaux viennent influencer la nature du rétablissement des écosystèmes et le rythme auquel ils se rétablissent. Les interactions qui se produisent entre l'acidification et d'autres phénomènes agressants pour les écosystèmes devraient être considérés dans l'amélioration des modèles. Les stress importants comprennent, entre autres, ceux reliés aux problèmes de l'atmosphère et du climat, aux métaux et autres substances toxiques, à l'utilisation des terres et aux pratiques d'aménagement forestier ainsi qu'aux espèces invasives. La connaissance des interactions entre l'acidification et les autres facteurs de stress permettra de fournir des prévisions plus réalistes sur le rétablissement des écosystèmes.

Un système de biosurveillance compatible avec l'inventaire de la chimie des lacs tel qu'on l'a décrit ci-dessus permettrait de constituer une base de données idéale pour évaluer l'état des ressources, déterminer leur évolution et prévoir les conditions biologiques à venir. De telles données nous permettraient d'étudier certains mécanismes spécifiques au rétablissement biologique et certains facteurs, agressants pour les écosystèmes. Les résultats de ces études plus intensives sont requis pour que l'on puisse interpréter adéquatement les tendances observées et raffiner les modèles de prévision.

Peu d'attention jusqu'à présent a été portée sur l'impact que l'acidification produit sur la faune sauvage terrestre.

La perte de sources de calcium a le potentiel d'affecter les invertébrés terrestres et la faune sauvage qui en dépendent (par ex., les oiseaux chanteurs). Les effets potentiels de l'acidification sur eux pourraient être évalués avec les données actuelles, bien que ces évaluations gagneraient à être complétées par des études de terrain ciblées.

On devrait déterminer les options de gestion des lacs acidifiés, des milieux humides et des cours d'eau et de leur rétablissement rapide en les analysant sous l'angle de leur efficacité, leur coût et leur rendement global.

Le modèle d'évaluation intégrée (MEI) est employé pour prévoir les réactions chimiques et biologiques de divers scénarios de réduction des émissions de SO₂. Ce modèle représente un outil d'évaluation intégrateur important et il nécessite d'être mis à jour et amélioré de manière à ce qu'il puisse intégrer les connaissances à venir.

LES MODÈLES DE LA CHIMIE DE L'ATMOSPHÈRE

La modélisation des dépôts acides au Canada touche un nombre de domaines pour lesquels il y a des besoins en recherche. Depuis peu, les modèles peuvent fournir des prévisions des dépôts atmosphériques secs. Pour valider ces prévisions, nous avons besoin d'observations appropriées de dépôts secs de soufre et d'azote.

Quelques-unes des propriétés clés de l'ammoniac et de l'acide nitrique représentent un champ d'investigation nécessaire pour prévoir plus précisément les dépôts atmosphériques secs et humides ainsi que la formation du smog. Ces prévisions gagnent en importance à mesure que les responsables de l'élaboration des politiques réclament des prévisions « scientifiquement défendables » sur les effets des émissions de multiples polluants sur la qualité de l'air y compris les effets des dépôts atmosphériques acides.

À mesure que les scénarios de contrôle des émissions reflètent davantage la réalité, les efforts nécessaires à la préparation des données d'émissions de manière à les rendre utilisables par les modèles de prévision des dépôts acides s'intensifient. Pour ce faire, nous avons besoin de systèmes plus complexes et plus flexibles de traitement des émissions, de même que de données sur les émissions des principales MP, y compris le matériel crustal (les poussières).

La performance des modèles de prévision sera évaluée sur la base des comparaisons entre les prévisions obtenues avec les données météorologiques compilées de toute l'année utilisées comme variables d'entrée dans les modèles et les nouvelles observations sur la chimie de l'air et des précipitations.

Dans la présente évaluation, les dépôts ont été calculés par des modèles de prévision selon une grille dont les mailles font de 91 à 127 km. Dans certains cas (par ex., près des sources majeures d'émission), l'emploi d'une grille plus fine et d'une meilleure résolution spatiale des émissions améliorerait l'exactitude des prévisions.

LES ASPECTS SOCIO-ÉCONOMIQUES

Bien que la recherche en économie de l'environnement évolue, nous devons chercher à connaître la valeur des impacts que causent les dépôts acides. Les quelques modèles d'évaluation économique des dépôts acides existants (par ex., le Modèle d'évaluation de la qualité de l'air d'Environnement Canada) ne permettent pas de considérer adéquatement les avantages environnementaux qui résultent de la réduction des émissions. Les prochains travaux de recherche devraient porter sur l'évaluation des avantages et coûts associés aux effets des dépôts acides sur la croissance forestière et leur rendement, la pêche récréative, la consommation de la faune sauvage et la diversité biologique.

CONCLUSION

Les réductions des émissions acidifiantes de la part du Canada se sont révélées efficaces. Cependant les dépôts acides continuent encore d'affecter l'environnement et la santé des Canadiens. En effet, selon les estimations allant des scénarios des plus aux moins optimistes, de 21 à 75 % du territoire de l'Est du Canada (ce qui correspond à 0,5-1,8 million km²) continuent de recevoir des dépôts acides qui dépassent ses charges critiques, malgré le fait que les taux de dépôts acides y aient diminué. On estime qu'une réduction des émissions de SO₂ de l'ordre d'un 75 % supplémentaire sera requise de la part du Canada et des É.-U. – en plus des réductions prévues d'ici 2010 en vertu de l'AQA – si l'on veut préserver les écosystèmes canadiens de l'Est des dommages que les dépôts acides leur causent. Actuellement, les données manquent pour déterminer la capacité des écosystèmes de l'Ouest canadien à absorber des dépôts acides sans qu'ils subissent de dommages; il n'est donc pas possible d'évaluer avec précision dans quelle mesure les dépôts acides les affectent. Les activités de surveillance et de recherche doivent nécessairement se poursuivre si l'on veut acquérir la connaissance de la complexité des impacts subis à long terme par les écosystèmes – certains s'avérant irréversibles – et vérifier l'efficacité des mesures de réduction des émissions. Ces activités de surveillance doivent s'étendre aux provinces de l'Ouest; on doit s'assurer que les dépôts acides n'endommagent pas les écosystèmes de ces régions à la géologie sensible à l'acidité et où les émissions de SO₂ et de NO_x sont en hausse.

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada: Sommaire des résultats clés

Éditrice/Auteure principale:

Heather A. Morrison

Conseillère scientifique principale,
Pluies acides
Direction de l'évaluation et de
l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Contributeurs:

Auteurs principaux de l'évaluation (listés ci-dessous)

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada

Éditrice:

Heather A. Morrison

Conseillère scientifique principale,
Pluies acides
Direction de l'évaluation et de
l'intégration scientifiques

Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Assistante éditrice:

Silvina Carou

Agente scientifique de la qualité de l'air
Direction de l'évaluation et de
l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 1 - Introduction

Heather A. Morrison

Conseillère scientifique principale,
Pluies acides Direction de l'évaluation
et de l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario,
Canada

Chapitre 2 - Les émissions polluantes liées aux dépôts acides de l'Amérique du Nord

David Niemi

Gestionnaire
Rapports et sensibilisation de
l'information Données sur la pollution
Environnement Canada
351, boul. St-Joseph

Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Chapitre 3 - Les réactions de l'atmosphère suite aux changements des émissions antérieures

Auteur principal:

Robert Vet

Spécialiste des sciences physiques
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité
de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Contributeurs:

Jeff Brook

Chercheur scientifique
Recherche sur les processus
Direction de la recherche sur la
qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chul-Un Ro

Physical Scientist
Measurements and Analysis Research
Air Quality Research Branch
Environnement Canada
4905, Dufferin Street

Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Mike Shaw

Spécialiste des sciences physiques
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la
qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Julie Narayan

Spécialiste à l'analyse des données
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la
qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Leiming Zhang

Spécialiste à l'analyse des données
Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la
qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Michael D. Moran

Chercheur scientifique
Recherche en modélisation et
intégration Direction de la recherche
sur la qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Maris Lusis

Chef, Recherche en mesure et en analyse
Direction de la recherche sur la qualité
de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 4 - Les programmes de mesures de contrôle des émissions, actuels et proposés: comment affecteront-ils les dépôts acides?

Michael D. Moran

Chercheur scientifique
Recherche en modélisation et
intégration
Direction de la recherche sur la
qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapter 5 - Effets sur les forêts et les sols des bassins versants

Auteur principal:

Daniel Houle

Chercheur, Pluies acides
Environnement Canada
105, rue McGill, 8^{ème} étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada
et
Direction de la recherche forestière
Complexe scientifique
Ministère des Ressources naturelles, de
la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Contributeurs:

Shaun Watmough

Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Études en ressources
environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Rock Ouimet

Chercheur en pédologie et nutrition des forêts
Professeur associé,
Département des sciences
du bois et de la forêt,
Université Laval
et
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Catherine Eimers

Chercheur
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Robert Boutin

Agent de recherche
Processus sols forestiers
SCF/CFL/REC

Ressources naturelles Canada
1055, rue du P.E.P.S. C.P. 3800
Ste-Foy, Québec, G1V 4C7
Canada

Rodney J. Foster

Chercheur scientifique
Ressources forestières
Ressources naturelles Canada
C.P. 4000, Fredericton,
Nouveau-Brunswick, E3B 5P7
Canada

Mike B. Lavigne

Écophysiologue
Ressources forestières
Ressources naturelles Canada
C.P. 4000, Fredericton,
Nouveau-Brunswick, E3B 5P7
Canada

David Paré

*Chercheur scientifique - Sols
forestiers* Forest Ecosystems Program
Centre de Foresterie des Laurentides
Service canadien des forêts
Ressources naturelles Canada
1055, rue du PEPS, C.P. 3800
Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7
Canada

Catherine Sainte-Marie

*Groupe de recherche en écologie forestière-
interuniversitaire*
Université du Québec à Montréal
C.P. 8888, Succ. Centre-ville
Montréal, Québec, H3C 3P8
Canada

Suzanne Couture

Chargée de projets, Pluies acides
Recherche sur les écosystèmes fluviaux
Environnement Canada
105, rue McGill, 7^{ème} étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Christian Gagnon

Chercheur scientifique,
Centre Saint-Laurent
Environnement Canada
105, rue McGill, 7^{ème} étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Jean-David Moore

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Fanie Corbeil-Labonté

Diplôme d'Études supérieures en
Toxicologie Environnementale
Département de Biologie,
Université du Québec à Montréal
P.B. 8888, Succ. Centre-Ville
Montréal, Québec H3C 3P8
Canada

Chapitre 6 - Les effets sur la chimie et la biologie aquatiques

Éditeurs/Auteurs principaux:

Dean S. Jeffries

Chercheur scientifique
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Donald K. McNicol

Chef des programmes intégrés,
Service canadien de la faune –
Région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

Russ C. Weeber

Biologiste des pluies acides
Service canadien de la faune –
Région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

Contributeurs:

Peter G. Amiro

Biologiste
Division des Poissons Diadromes
Institut océanographique de Bedford
1, Challenger Drive
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 4A2
Canada

Dermot Antoniades

Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Département de géologie
Université de Toronto
22, Russell Street
Toronto, Ontario, M5S 3B1
Canada

Michelle F. Bowman

Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Centre des sciences environnementales
de Dorset
Université de Toronto & Ministère de
l'environnement de l'Ontario
1026, Bellwood Acres Road
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Rodney W. Brook

Anatidae Consulting
11, Cremona Place
Ottawa, Ontario, K2G 1A2
Canada

Alexandra Bourne

Spécialiste de la qualité des eaux
Section de la gestion de la
qualité de l'eau
Gestion de l'eau du Manitoba
123, Main Street
Winnipeg, Manitoba, R3C 1A5
Canada

Neil Burgess

Toxicologiste faunique
Service canadien de la faune –
Région de l'Atlantique
Environnement Canada
6, Bruce Street
Mount Pearl, Terre-Neuve et Labrador,
A1N 4T3
Canada

Richard Carignan

Professeur
Département des sciences biologiques
Université de Montréal, C.P. 6128
Montréal, Québec, H3C 3J7
Canada

Louise Champoux

Écotoxicologiste
Division des espèces en péril
Environnement Canada
1141, route de l'Église, 9^{ème} étage
Sainte-Foy, Québec, G1V 4H5
Canada

Lo Chiang Cheng

Gaz provoquant l'effet de serre
Environnement Canada
351, boul. St. Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Thomas A. Clair

Chercheur scientifique
Service canadien de la faune,
Science biologique
Environnement Canada
17, Waterfowl Lane
Sackville, Nouveau-Brunswick, E4L 1G6
Canada

Suzanne Couture

Chargée de projets, Pluies acides
Recherche sur les écosystèmes fluviaux
Environnement Canada
105, rue McGill, 7^{ème} étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Peter J. Dillon

Professeur
Études en ressources
environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Marianne S.V. Douglas

Professeur agrégé
Département de géologie
Université de Toronto
22, Russell Street
Toronto, Ontario, M5S 3B1
Canada

Jacques Dupont

Chef de service
Service de l'information sur les milieux
aquatiques
Direction du suivi de l'état de
l'environnement
Ministère de l'Environnement
675, boul. René-Lévesque Est, 7^{ème} étage
Québec, Québec, G1R 5V7
Canada

Jill Franklyn

Écologiste aquatique
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Christian Gagnon

Chercheur scientifique,
Centre Saint-Laurent
Environnement Canada
105, McGill, 7^{ème} étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Mallory Gilliss

Coordonnatrice
Section des sciences de l'air
Ministère de l'Environnement et des
Gouvernements locaux
Place Marysville
20, McGloin Street, Frédéricton,
Nouveau-Brunswick, E3A 5T8
Canada

Murray Hilderman

Écologiste environnemental
Sciences de l'air et sols
Environnement Saskatchewan
224 – 3211, Albert Street
Regina, Saskatchewan, S4S 5W6
Canada

Bronwyn Keatley

Chercheur
Évaluation paléocéologique
environnementale et laboratoire de
recherche
Département de biologie
Université de Queen's
Kingston, Ontario, K7L 3N6
Canada

Wendel (Bill) Keller

*Spécialiste de l'environnement –
Northern Lakes*
Section de la surveillance biologique
Direction de la surveillance
environnementale
Ministère de l'environnement de
l'Ontario
Unité conjointe – écologie de l'eau
douce
Université Laurentienne de Sudbury
1222, Ramsey Lake Road
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

David A. Kirk

Directeur général
Aquila Applied Ecologists
C.P. 87
Carlsbad Springs, Ontario, K0A 1K0
Canada

Stéphane Légaré

Biologiste des pluies acides
Service canadien de la faune
Région du Québec
Environnement Canada
1141, route de l'Église C.P. 10100
Sainte-Foy, Québec, G1V 4H5
Canada

Shannon A. MacPhee

Programme de premier cycle de
l'environnement
Département des sciences
environnementales
Université de Guelph
Guelph, Ontario, N1G 2W1
Canada

Mark L. Mallory

Biologiste des oiseaux de mer
Service canadien de la faune
Environnement Canada
C.P. 1714
Iqaluit, Nunavut X0A 0H0
Canada

Preston M. McEachern

Limnologue, spécialiste de la qualité de l'eau
Gestion de l'environnement
Région du Nord
Environnement Alberta
4999-98th Ave.
Edmonton, Alberta T6B 2X3
Canada

Neal Michelutti

Boursier postdoctoral
Département des sciences terrestres et
atmosphériques
University of Alberta
1-26 Earth Sciences Bldg.
Edmonton, Alberta T6G 2E3
Canada

Katrina A. Moser

Professeure adjointe
Département de géographie
University of Utah
260 South Central Campus Dr., Rm. 270
Salt Lake City, UT 84112-915
USA

Denis Masse

Responsable de la gestion de la faune
et des habitats
Parc national de la Mauricie
2141, chemin St-Paul
Saint-Mathieu-du-parc, Québec,
G0X 1N0
Canada

Fariborz Norouzi

Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Andrew Paterson

Chercheur scientifique,
Centre des sciences environnementales
de Dorset
Ministère de l'environnement de
l'Ontario
1026, Bellwood Acres Road, C.P. 39
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Reinhard Pienitz

Professeur
Laboratoire de paléolimnologie et de
paléocéologie
Centre d'études nordiques et du
département de géographie
Université de Laval
Québec, Québec, G1K 7P4
Canada

Bev Raymond

*Scientifique environnemental de directives
de qualité*
Recherche de coordination et d'application
Environnement Canada

700, 1200 West 73rd Avenue
Vancouver, Colombie-Britannique,
V6P 6H9
Canada

Ron A. Reid

Centre des sciences environnementales
de Dorset
Ministère de l'environnement
de l'Ontario
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Kathleen M. Ruhland

Évaluation environnementale
paléocéologique et laboratoire de
recherche
Département de biologie
Université de Queen's
Kingston, Ontario, K7L 3N6
Canada

Anton M. Scheuhammer

Chercheur spécialisé en métaux
Toxicologie de la faune
Environnement Canada
1125, Colonel By Drive, Raven Road
Carleton University
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

John P. Smol

Professeur
Département de Biologie
Université de Queen's
116, Barrie Street
Kingston, Ontario, K7L 3N6
Canada

Ed Snucins

Biologiste – Réhabilitation des lacs
Unité conjointe – écologie de
l'eau douce
Université Laurentienne de Sudbury
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

Keith M. Somers

Bio-statisticien
Université de Trent et le Centre des
sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de
l'Ontario
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Michael A. Turner

Chercheur scientifique,
Limnologie
Division des sciences
environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Alexander P. Wolfe

Professeur agrégé de la géologie du quaternaire
University Centre in Svalbard
C.P. Box 156
Longyearbyen, N-9171
Norway

**CHAPITRE 7 - LE RÉTABLISSEMENT
DES ÉCOSYSTÈMES AQUATIQUES**

Éditeurs/Auteurs principaux:

Russ C. Weeber

Biologiste, pluies acides
Service canadien de la faune –
région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa, Ontario, K1A 0H3
Canada

Dean S. Jeffries

Chercheur scientifique
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Donald K. McNicol

Chef, programmes intégrés
Service canadien de la faune –
région de l'Ontario
Environnement Canada
49, Camelot Drive
Ottawa Ontario, K1A 0H3
Canada

Contributeurs:

Peter G. Amiro

Biologiste
Division des poissons diadromes
Institut océanographique de Bedford
1, Challenger Drive
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 4A2
Canada

Rod G. Bradford

Biologiste
Évaluations des poissons diadromes,
espèces menacées
Division des poissons diadromes
Pêches et Océans Canada
C.P. 1006
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 4A2
Canada

Rodney W. Brook

Anatidae Consulting
11, Cremona Place
Ottawa, Ontario, K2G 1A2
Canada

Thomas A. Clair

Chercheur scientifique
Service canadien de la faune, science
biologique
Environnement Canada
17, Waterfowl Lane
Sackville, Nouveau-Brunswick E4L 1G6
Canada

Suzanne Couture

Chargée de projets, Pluies acides
Environnement Canada
Recherche sur les écosystèmes fluviaux
105, rue McGill, 7^{ème} étage
Montréal, Québec, H2Y 2E7
Canada

Peter J. Dillon

Professeur
Études en ressources
environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Dave L. Findlay

Écologiste, Algues
Division des sciences
environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Jill Franklyn

Écologiste aquatique
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Ray H. Hesslein

Chercheur scientifique principal,
Opérations de REL
Division des sciences
environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Wendel (Bill) Keller

*Spécialiste de l'environnement -
Lacs Nordiques*
Unité conjointe – écologie de l'eau douce
Ministère de l'environnement de
l'Ontario
1222, Ramsey Lake Road
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

David Lam

Chef de projets
Projet d'intégration et de modélisation
de l'information sur la surveillance de la
qualité

Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Ken H. Mills
Chercheur scientifique
Division des sciences
environnementales
Pêches et Océans Canada
501 University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Michael D. Moran
Chercheur scientifique
Recherche en modélisation et
intégration
Direction de la recherche sur la
qualité de l'air
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Fariborz Norouzi
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Andrew Paterson
Scientifique, lacs intérieurs
Centre des sciences environnementales
de Dorset
Ministère de l'environnement de
l'Ontario
1026, Bellwood Acres Road, C.P. 39
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Michael J. Paterson
Écologiste
Communautés d'invertébrés
Division des sciences
environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Ed Snucins
Biologiste-Réhabilitation des lacs
Unité conjointe – écologie de l'eau douce
Université Laurentienne de Sudbury
Sudbury, Ontario, P3E 2C6
Canada

Keith M. Somers
Biostatisticien
Université de Trent et le Centre des
sciences environnementales de Dorset
Ministère de l'environnement de
l'Ontario
Dorset, Ontario, P0A 1E0
Canada

Vincent L. St. Louis
Maître de conférences
écologiste aquatique
Département des sciences biologiques
Université d'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9
Canada

Charles G. Trick
Professeur
Département de biologie
Université d'Ontario occidental
London, Ontario, N6A 5B7
Canada

Michael A. Turner
Chercheur scientifique
Limnologie
Division des sciences
environnementales
Pêches et Océans Canada
501, University Crescent
Winnipeg, Manitoba, R3T 2N6
Canada

Rolf Vinebrooke
Professeur agrégé
Laboratoire de biodiversité et
d'eau douce
Département des sciences biologiques
Université d'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9
Canada

Jennifer G. Winter
Membre auxiliaire du corps professoral
Département de biologie
Université de Waterloo
200, University Avenue West
Waterloo, Ontario, N2L 3G1
Canada

Isaac Wong
Gestionnaire, Tech environnementales
intelligentes de pointe
Projet d'intégration et de modélisation
de l'info sur la surveillance de la qualité
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Norman D. Yan
Professeur agrégé en sciences biologiques
Université de York
4700, Keele Street
Toronto, Ontario, M3J 1P3
Canada

**Chapitre 8 - Les charges critiques:
sont-elles dépassées?**

Auteurs principaux:
Dean S. Jeffries
Chercheur scientifique
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Rock Ouimet
Chercheur en pédologie et nutrition des forêts et
Professeur associé
Département des sciences du bois et
de la forêt,
Université Laval
et
Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles,
de la Faune et des Parcs du Québec
2700, rue Einstein
Sainte-Foy, Québec, G1P 3W8
Canada

Contributeurs:
Julian Aherne
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Études en ressources
environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Paul A. Arp
Professeur, Sols forestiers
Faculté en sciences forestières et en
gestion environnementale
Université du Nouveau-Brunswick

28, Dineen Drive, C.P. 44555
Frédéricton, Nouveau-Brunswick,
E3B 6C2
Canada

Vincent Balland
Associé de recherches
Ressources naturelles Canada, C.P. 4000
Frédéricton, Nouveau-Brunswick,
E3B 5P7
Canada

Ian DeMerchant
Recherche en méthodologie
Taxonomie et en applications du SIG
Natural Resources Canada
P.O. Box 4000
Fredericton, New Brunswick E3B 5P7
Canada

Jacques Dupont
Chef de service
Service de l'information sur les milieux
aquatiques
Direction du suivi de l'état de
l'environnement
Ministère de l'Environnement
675, boul. René-Lévesque Est, 7^e étage
Québec, Québec, G1R 5V7
Canada

Jill Franklyn
Écologiste aquatique
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

David Lam
Chef de projets
Direction de la Surveillance de la
qualité de l'eau
Institut national de la recherche
sur les eaux
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Fariborz Norouzi
Impacts des activités humaines sur les
processus dans les écosystèmes
aquatiques
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

Shaun Watmough
Titulaire d'une bourse de recherche postdoctorale
Études en ressources environnementales
Université de Trent
Peterborough, Ontario, K9J 7B8
Canada

Isaac Wong
Gestionnaire, Technologies
environnementales intelligentes
de pointe
Direction de la Surveillance de la
qualité de l'eau
Institut national de la recherche sur
les eaux
Environnement Canada
867, Lakeshore Road, C.P. 5050
Burlington, Ontario, L7R 4A6
Canada

**Chapitre 9 - Les effets des dépôts
acides sur la santé humaine**

Auteurs principaux:
Marie-Ève Héroux
Biologiste
Section des carburants et de la
qualité de l'air
Santé Canada
400, Cooper Street
Ottawa, Ontario, K1A 0K9
Canada

Barry Jessiman
Chief, Section des carburants et de la
qualité de l'air
Santé Canada
400, Cooper Street
Ottawa, Ontario, K1A 0K9 Canada

**Chapitre 10 - Les avantages socio-
économiques et les coûts de réduire
les dépôts acides**

Auteurs principaux:
Yves Bourassa
Gestionnaire des politiques
Direction des Analyses Réglementaire
et Économique
Environnement Canada
10, rue Wellington, 24^e étage
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Michael Donohue
Économiste
Direction des Analyses Réglementaire
et Économique
Environnement Canada
10, rue Wellington, 24^e étage
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Contributeur:
Fadi W. Balesh
Économiste Principal
Direction des Analyses Réglementaire
et Économique
Environnement Canada
10, rue Wellington, 24^e étage
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

**Chapitre 11 - Les cobénéfices et les
liens avec d'autres questions de
qualité de l'air**

Magda Little
Conseillère en politiques scientifiques
Service météorologique du Canada
Politiques et affaires internationales
Environnement Canada
10, rue Wellington
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale, Pluies acides
Direction de l'évaluation et de
l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

**Chapitre 12 - Les réponses de la
science aux questions clés, y compris
sur les lacunes scientifiques et les
recherches à venir**

Auteure principale:
Heather A. Morrison
Conseillère scientifique principale, Pluies acides,
Acid Rain
Direction de l'évaluation et de
l'intégration scientifiques
Environnement Canada
4905, Dufferin Street
Downsview, Ontario, Canada

Contributeurs:
Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

RÉVISEURS

Je tiens à remercier les réviseurs suivants dont le temps, l'effort et l'expertise ont compté pour une large part dans la réalisation de cette évaluation.

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada: Sommaire des résultats clés

Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

Kerri Timoffee

Gestionnaire, Programme des pluies acides
Questions atmosphériques transfrontalières
Environnement Canada
351, Boulevard Saint-Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada

Chapitre 1 – Introduction

Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

Kerri Timoffee

Gestionnaire, Programme des pluies acides
Questions atmosphériques transfrontalières
Environnement Canada
351, Boulevard Saint-Joseph
Gatineau, Québec, K1A 0H3
Canada

Chapitre 2 – Les émissions polluantes reliées aux dépôts acides de l'Amérique du Nord

Gregory Stella

Alpine Geophysics, LLC
387, Pollard Mine Road
Burnsville, Caroline du Nord, 28714
É.-U.

Paul J. Miller

Coordonnateur de programme de qualité de l'air
Commission de coopération environnementale
393, rue Saint-Jacques Ouest,
Bureau 200
Montréal, Québec, H2Y 1N9
Canada

Chapitre 3 – Les réactions de l'atmosphère suite aux changements des émissions antérieures
Critique Anonyme

Van C. Bowersox

Coordonnateur National Acid Deposition Program
Illinois State Water Survey
2204, Griffith Drive
Champaign, Illinois, 61820
É.-U.

Neville Reid

Surveillant
Modélisation et qualité des données
Direction de la surveillance environnementale
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
125, Resources Road
Etobicoke, Ontario, M9P 3V6
Canada

CHAPITRE 4 – Les programmes de mesures de contrôle des émissions, actuels et proposés: comment affecteront-ils les dépôts acides?

Robert Bloxam

Chef de programme, Modélisation atmosphérique
Direction de la surveillance environnementale
Ministère de l'Environnement de l'Ontario
125, Resources Road
Etobicoke, Ontario, M9P 3V6
Canada

Michael Hingston

Chef temporaire - Section de la pollution atmosphérique
Direction de la protection de l'environnement
Environnement Canada – Région de l'Atlantique
45, Alderney Drive, 5^e étage
Dartmouth, Nouvelle-Écosse, B2Y 2N6
Canada

Chapitre 5 – Les effets sur les forêts et les sols des bassins versants

Myron J. Mitchell

Professeur
et Directeur du Conseil de la science des systèmes hydrologiques
SUNY-ESF
1, Forestry Drive
Syracuse, New York, 13210-2788
É.-U.

David Paré

Chercheur scientifique, processus des sols forestiers
Programme des écosystèmes forestiers
Ressources naturelles Canada
1055, rue du P.E.P.S., Boîte postale 3800
Sainte-Foy, Québec, G1V 4C7
Canada

Chapitre 6 – Les effets sur la chimie et la biologie aquatiques

John L. Stoddard

Chercheur scientifique
Bureau de recherche et de développement
U.S. Environmental Protection Agency
200, 35^e rue SW
Corvallis, Oregon, 97333
É.-U.

Rolf Vinebrooke

Maître de conférences
Laboratoire de la biodiversité de l'eau douce
Département des sciences biologiques
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9

Chapitre 7 – Le rétablissement des écosystèmes aquatiques

Alan Jenkins

Professeur et Directeur de la science
Water Programme
CEH Wallingford Site
Macleans Building, Crowmarsh Gifford
Wallingford, Oxon., OX10 8BB
Angleterre

Bjørn Olav Rosseland

Professeur d'écotoxicologie
Coordonnateur de l'Akvaforsk-alliance,
Environment and Production Technology
Rédacteur associé, Wildlife Biology
Department of Ecology and Natural Resource Management & Department of Plant and Environmental Sciences
Norwegian University of Life Sciences, UMB
Urbygningen, Ole Sverres plass 1
Boîte postale 5003, N-1432 Ås
Norvège

Tom Brydges

Retraité, Environnement Canada
39, rue Elizabeth Sud
Brampton, Ontario, L6Y 1R2
Canada

Rolf Vinebrooke

Maître de conférences
Laboratoire de la biodiversité de l'eau douce
Département des sciences biologiques
Université de l'Alberta
Edmonton, Alberta, T6G 2E9
Canada

Chapitre 8 – Les charges critiques: sont-elles dépassées?

Arne Henriksen

Chercheur scientifique
Norwegian Institute for Water Research (NIVA)
Brekkeveien 19
Boîte postale 173, Kjelsaas
Oslo, N-0411
Norvège

Eric K. Miller

Président et chercheur scientifique principal
Ecosystems Research Group, Ltd.
Boîte postale 1227
Norwich, Vermont, 05055
É.-U.

Chapitre 9 – Les effets des dépôts acides sur la santé humaine

Mark S. Goldberg

Maître de conférences
Département de médecine et
Département commun d'épidémiologie, de biostatistiques et de médecine du travail
Université McGill
1020, Avenue du Pin Ouest
Montréal, Québec, H3A 1A2
Canada

Claude Viau

Professeur
Département d'hygiène du milieu
Université de Montréal
2375, chemin de la Côte
Sainte-Catherine
Montréal, Québec, H3T 1A8
Canada

Joan Saary

Médecin de la santé du travail
Boursier post-doctoral du IRSC
Investigateur clinicien
Université de Toronto
St. Michael's Hospital
Clinique de la médecine du travail
4^e étage, Aile Shuter
30, rue Bond
Toronto, Ontario, M5B 1W8
Canada

Roohi Oureshi

Occupational Medicine Physician and Lecturer
Université de Toronto
St. Michael's Hospital
Clinique de la médecine du travail
4^e étage, Aile Shuter
30, rue Bond
Toronto, Ontario, M5B 1W8
Canada

Chapitre 10 – Les avantages socio-économiques et les coûts de réduire les dépôts acides

Peter N. Nemetz

Professeur de stratégie et de science de l'économie d'entreprise
Sauder School of Business
Université de la Colombie-Britannique
Vancouver, Colombie-Britannique,
V6T 1Z4
Canada

Alan Krupnik

Chargé principal et directeur
Resources for the Future
1616, rue P NW
Washington, DC, 20036
É.-U.

Chapitre 11 – Les cobénéfices et les liens avec d'autres questions de qualité de l'air

David Plummer

Chercheur scientifique
Environnement Canada
à Ouranos
550 rue Sherbrooke Ouest, 19^e étage
Montréal, Québec, H3A 1B9
Canada

Knut von Salzen

Chercheur scientifique
Centre canadien de la modélisation et de l'analyse climatique
Environnement Canada
Université de Victoria
Victoria, Colombie-Britannique,
V8W 2Y2
Canada

Paul A. Arp

Professeur, Processus des sols forestiers,
Département des sciences de la forêt et la gestion environnementale
28 Dineen Drive
Université du Nouveau-Brunswick
Boîte postale 44555
Fredericton, Nouveau-Brunswick,
E3B 6C2
Canada

Henry Hengeveld

Eminentus associé
Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Carrie Lillyman

Conseillère scientifique sur la qualité de l'air
Direction de l'évaluation scientifique et de l'intégration
Environnement Canada
4905, rue Dufferin
Downsview, Ontario, M3H 5T4
Canada

Chapitre 12 – Les réponses de la science aux questions clés, y compris sur les lacunes scientifiques et les recherches à venir

Auteurs principaux de l'évaluation
(listés ci-dessous)

Traduction

Hélène D'Avignon

Traductrice
546 rue de la Tourelle
Québec, Québec G1R 1E3
Canada

ENVIRONNEMENT CANADA
SERVICE MÉTÉOROLOGIQUE DU CANADA
4905 rue Dufferin, Downsview (Ontario) M3H 5T4
Tél : 416.739.4761 · Téléc : 416.739.4882