CCME

Canadian Council of Ministers of the Environment | Le Conseil canadien des ministres de l'environnement

Charges critiques de dépôts acides dans les sols forestiers – Profil de la situation au Canada

PN 1413

ISBN 978-1-896997-83-4 PDF

© Conseil canadien des ministres de l'environnement, 2008

Charges critiques de dépôts acides dans les sols forestiers – Profil de la situation au Canada

Rapport préparé pour le Groupe de travail sur les pluies acides du CCME

S. Carou[1], I. Dennis[2], J. Aherne[3], R. Ouimet[4], P.A. Arp[5], S.A. Watmough[3], I. DeMerchant[6], M. Shaw[1], B. Vet[1], V. Bouchet[7], M. Moran[1]

[1] Direction générale des sciences et de la technologie, Environnement Canada, Toronto, ON
[2] Direction générale des sciences et de la technologie, Environnement Canada, Sackville, NB
[3]Environmental and Resource Studies, Université Trent, Peterborough, ON
[4]Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, Sainte-Foy, QC
[5]Faculty of Forestry and Environmental Management, Université du Nouveau-Brunswick, Fredericton, NB
[6]Service canadien des forêts – Centre de foresterie de l'Atlantique, Fredericton, NB
[7]Service météorologique du Canada, Environnement Canada, Montréal, QC

Octobre 2008

Introduction

Le principal objectif à long terme de la *Stratégie pancanadienne sur les émissions acidifiantes après l'an 2000* (la *Stratégie*) est d'« atteindre, dans tout le Canada, le seuil des charges critiques de dépôts acides admissibles pour l'environnement. » Une charge critique est une mesure fondée sur les effets que l'on définit comme « une estimation quantitative d'une exposition à un ou plusieurs polluants sous laquelle il n'y a pas d'effets nocifs importants sur des éléments sensibles spécifiés de l'environnement dans l'état actuel des connaissances ». En vue d'atteindre cet objectif, la *Stratégie* requiert qu'un certain nombre d'étapes soient franchies : il faut notamment chercher à réduire davantage les émissions acidifiantes au Canada et aux États-Unis, réprimer la pollution et garder « propres » les secteurs qui le sont (c.-à-d. protéger les écosystèmes qui n'ont pas encore été atteints par les émissions acidifiantes).

Depuis la signature de la *Stratégie*, l'état des connaissances sur les charges critiques au Canada et les mesures qui les étayent ont considérablement évolué. Les scientifiques sont maintenant en mesure d'estimer et de cartographier le dépôt acide (oxydes de soufre et d'azote) total (humide et sec), les charges critiques et les dépassements dans les écosystèmes terrestres (sols forestiers en terrain élevé) et aquatiques. Étant donné que le soufre et l'azote ont des masses atomiques différentes, les charges critiques de dépôt acide total sont données en équivalence de charge (éq/ha/an) et non plus sur la base de la masse (kg/ha/an) comme c'était le cas auparavant.

Au Canada, jusqu'à tout récemment, les efforts visaient à déterminer les charges critiques et les dépassements dans les sols forestiers et les lacs de l'Est du Canada (Jeffries et Ouimet, 2005) résultant des dépôts acides; toutefois, les inquiétudes en ce qui concerne les émissions toujours croissantes de polluants acidifiants et l'objectif de garder propres les secteurs qui le sont encore ont poussé à élargir la portée de manière à inclure l'Ouest du Canada. Comme les informations sur la situation dans l'Ouest étaient réduites, le Groupe de travail sur les pluies acides a financé un certain nombre de projets en vue de déterminer les charges critiques des sols forestiers en terrain élevé au Manitoba, en Saskatchewan et en Alberta. Par souci de cohérence, la méthode employée respectait les lignes directrices et le protocole mis en application précédemment dans l'Est du Canada et dans le nord-est des États-Unis (GNA/PMEC, 2001).

L'objectif de ce rapport est de présenter un profil pancanadien (exception faite des Territoires du Nord-Ouest) de la situation concernant les charges critiques et les dépassements dans les sols forestiers, profil reposant sur les plus récentes estimations disponibles. Les cartes nationales de la sensibilité des écosystèmes constituent un moyen pratique pour illustrer à quel endroit et dans quelle mesure les écosystèmes forestiers risquent d'être endommagés par les dépôts de soufre et d'azote. À leur tour, ces renseignements sont utiles pour déterminer à quel endroit et dans quelle mesure il faudra limiter les émissions afin de protéger les écosystèmes fragiles contre des dommages éventuels ou autres.

Méthodologie

Charges critiques

Les charges critiques ont été déterminées et cartographiées pour les sols forestiers en terrain élevé de l'Est du Canada au sud du 49° parallèle (Nouveau-Brunswick, Nouvelle-Écosse, Île-du-Prince-Édouard, Terre-Neuve-et-Labrador, Québec et Ontario) par Ouimet *et al.* (2006) et, dans l'Ouest (Manitoba, Saskatchewan et Alberta), par Aherne et Watmough (2006) et par Aherne (2008a, 2008b), à l'aide du modèle de bilan massique à l'état d'équilibre. La méthode suivie dans chaque cas respectait le protocole établi par le groupe de travail sur l'environnement pour la cartographie des forêts des gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des premiers ministres de l'Est du Canada (GNA-PMEC, 2001). Des informations détaillées sur l'approche utilisée pour calculer les charges critiques sont données dans tous les rapports cités plus haut. De plus, il existe des estimations préliminaires pour la Colombie-Britannique et le nord de l'Ontario (Aherne, 2007; J. Aherne, communication personnelle) où, contrairement aux autres provinces, on a calculé les charges critiques uniquement sur la base des taux d'altération des cations basiques (plutôt que par l'approche de bilan massique, puisqu'on ne dispose pas d'estimations des dépôts de cations basiques).

Pour les besoins de ce rapport, toutes les sources d'informations citées ci-dessus ont été analysées, puis compilées en une couche normalisée de données SIG afin de créer une carte illustrant les charges critiques des sols forestiers en terrain élevé au Canada. Contrairement à certaines des évaluations de charges critiques dont il a été question précédemment, la nouvelle carte comprend uniquement les charges critiques des sols forestiers en terrain élevé (ce qui exclut les zones non boisées et les zones humides boisées). Cette méthode est considérée comme plus appropriée étant donné que le protocole du GNA-MPEC a été élaboré dans le but de déterminer les charges critiques de soufre et d'azote uniquement dans les sols forestiers en terrain élevé. Les régions boisées ont été définies à partir du modèle SiB (« Simple Biosphere ») de la base de données sur les caractéristiques de la couverture terrestre en Amérique du Nord (http://edcsns17.cr.usgs.gov/glcc/ – en anglais seulement). La délimitation des zones humides et des zones sèches a été établie à partir du modèle altimétrique numérique du Canada [Données numériques d'élévation du Canada (DNEC) NRCAN, 2007], et en circonscrivant tous les plans d'eau qui peuvent être définis topographiquement (Murphy *et al.*, 2007), de manière à repérer toutes les zones dont les sols sont ou resteraient humides (p. ex., les sols peu ou mal drainés), que les niveaux phréatiques s'élèvent ou s'abaissent. De plus, les zones humides sont constituées de sol organique; les cartes présentées excluent donc les sols forestiers organiques.

Dépassements

On a calculé les dépassements de la charge critique pour les sols forestiers en terrain élevé dans l'ensemble du Canada en cartographiant la différence entre la valeur de dépôt acide total et la valeur de la charge critique pour une unité géographique, ou maille cartographique, donnée (résolution de 35 km x 35 km). Le calcul a été fait en utilisant uniquement les données sur le dépôt total moyen (sec et humide) de soufre (SO_2 et SO_4^{2-})

et d'azote (NO_3^-, HNO_3 et NH_4^+) dans les zones boisées pour la période de 1994 à 1998 (M. Shaw, NAtChem, communication personelle). Les dépôts humides ont été évalués à partir de l'interpolation d'observations, alors que les dépôts secs ont été estimés indirectement (par une méthode qui combine des relevés et de la modélisation). Une description détaillée des méthodes d'évaluation des dépôts est donnée dans Vet *et al.* (2005). L'absence de données sur les dépôts dans le Nord de l'Ontario et en Colombie-Britannique a empêché d'évaluer les dépassements à partir de données de mesure.

À l'aide du modèle du Système unifié de modélisation régionale de la qualité de l'air (AURAMS) d'Environnement Canada, on a créé une deuxième carte des dépassements des charges critiques, par simulation sur un an des données actuelles (2002) sur les dépôts. Ainsi, on dispose d'une base de comparaison et on peut évaluer la situation possible des zones où les dépôts ne font pas l'objet d'une surveillance (p. ex., en Colombie-Britannique). Pour la simulation, on a utilisé des fichiers comprenant les données horaires sur les émissions anthropiques, constitués à partir des inventaires nationaux d'émissions des principaux contaminants atmosphériques (PCA) du Canada (2002), des États-Unis (2002) et du Mexique (1999). Les quantités d'émissions biosynthétiques libérées chaque heure ont été prévues à l'aide du modèle de transport chimique d'AURAMS. Puis, toujours dans ce système, on a utilisé les champs des sorties horaires de dépôts secs et humides d'un certain nombre d'espèces soufrées (SO_2, p-SO_4 et H_2SO_4) et azotées (NO_2, HNO_3, p-NO_3, RNO_3, PAN, NH_3, p-NH_4) pour traiter les données de toute l'année, afin d'obtenir le dépôt total annuel de soufre (S) et d'azote (N). Le modèle AURAMS permet de prévoir les quantités de dépôts secs des différentes espèces soufrées et azotées à l'aide des concentrations de surface prévues et des vitesses de dépôt des matières sèches obtenues par paramétrisation de la résistance, celle-ci étant régie par les caractéristiques de la couverture des terres, l'humidité du sol et les conditions météorologiques de surface, telles que prévues par le modèle global environnemental multi-échelle, ou GEM (un modèle de prévision météorologique). On trouvera une description détaillée d'AURAMS et de la simulation pour 2002 dans Moran *et al.* (2008). Les résultats obtenus avec le scénario de dépôt de 2002 sont préliminaires et des révisions sont en cours.

Les cartes

Les résultats de la cartographie montrent que les charges critiques inférieures à 400 éq/ha/an (figure 1 : de rouge à jaune) se rencontrent le long des zones de haute altitude et du littoral de la Colombie-Britannique, dans de vastes zones du nord de l'Alberta, de la Saskatchewan, du Manitoba et de l'Ontario, dans le centre-sud du Québec, ainsi que dans le sud-est de la Nouvelle-Écosse et de l'île de Terre-Neuve. Ces zones sont surtout caractérisées par un substratum rocheux non carbonaté et, en terrain élevé, des sols peu profonds à texture grossière et de faible pouvoir tampon. La valeur de charge critique de 400 éq/ha/an est donnée à titre de point de référence, puisqu'elle est à peu près équivalente à la charge cible de 20 kg/ha/an définie en 1983 pour les dépôts de sulfate afin de protéger les lacs fragiles de l'Est du Canada; toutefois, comme on peut le constater, les nouvelles données scientifiques montrent que les charges critiques de soufre et d'azote sont nettement inférieures aux charges cibles fixées en 1983.

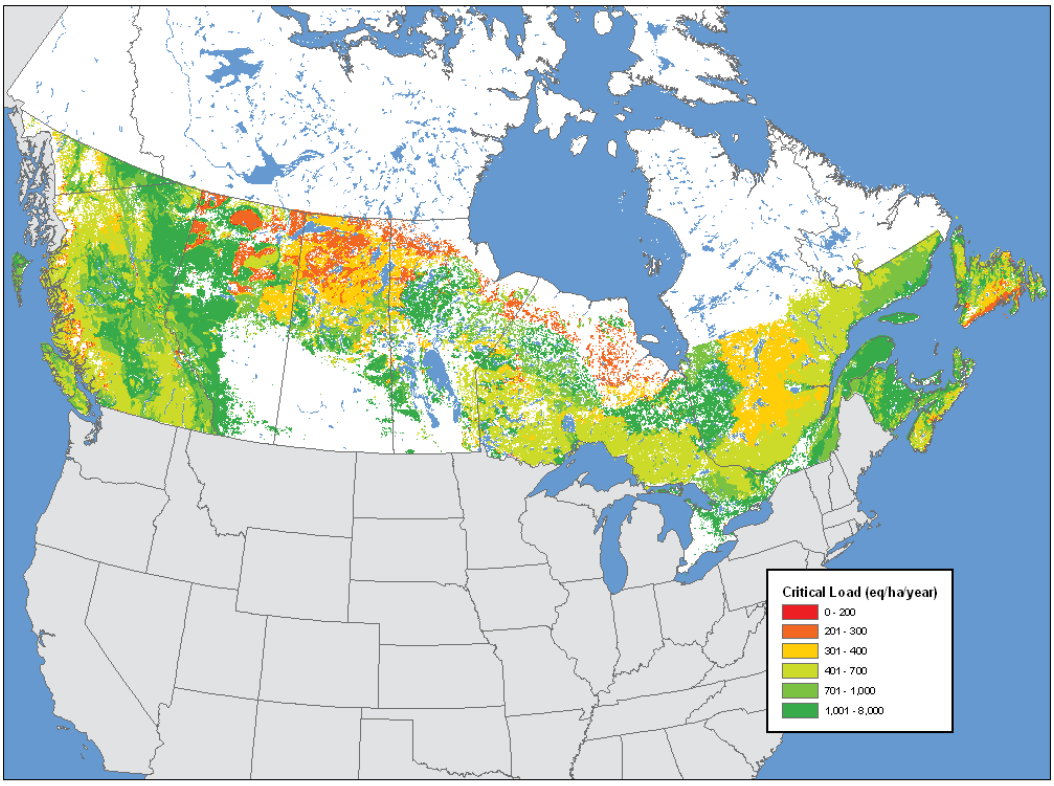

Figure 1. Charges critiques de soufre et d'azote des sols forestiers en terrain élevé au Canada.
[Critical Load = Charge critique
eq/ha/yr = éq/ha/an]

Les valeurs des charges critiques qui ont été cartographiées ont été déterminées à partir du protocole des GNA-PMEC. Cette approche exclut les effets de l'exploitation forestière et des feux de forêts, tient compte du fait que tous les processus d'élimination de l'azote du sol sont négligeables et utilise une limite chimique critique basée sur un rapport des cations basiques à l'aluminium de 10 (BC:Al = 10). On peut obtenir davantage de détails dans les rapports mentionnés à la section Méthodologie. À terme, il faudra revoir cette

approche de manière à évaluer correctement le critère chimique, la paramétrisation de l'azote et l'influence de l'exploitation forestière et des feux de forêt pour tout le Canada. Néanmoins, les charges critiques indiquées ci-dessous illustrent, à grande échelle, la constance de la sensibilité des sols forestiers aux acides.

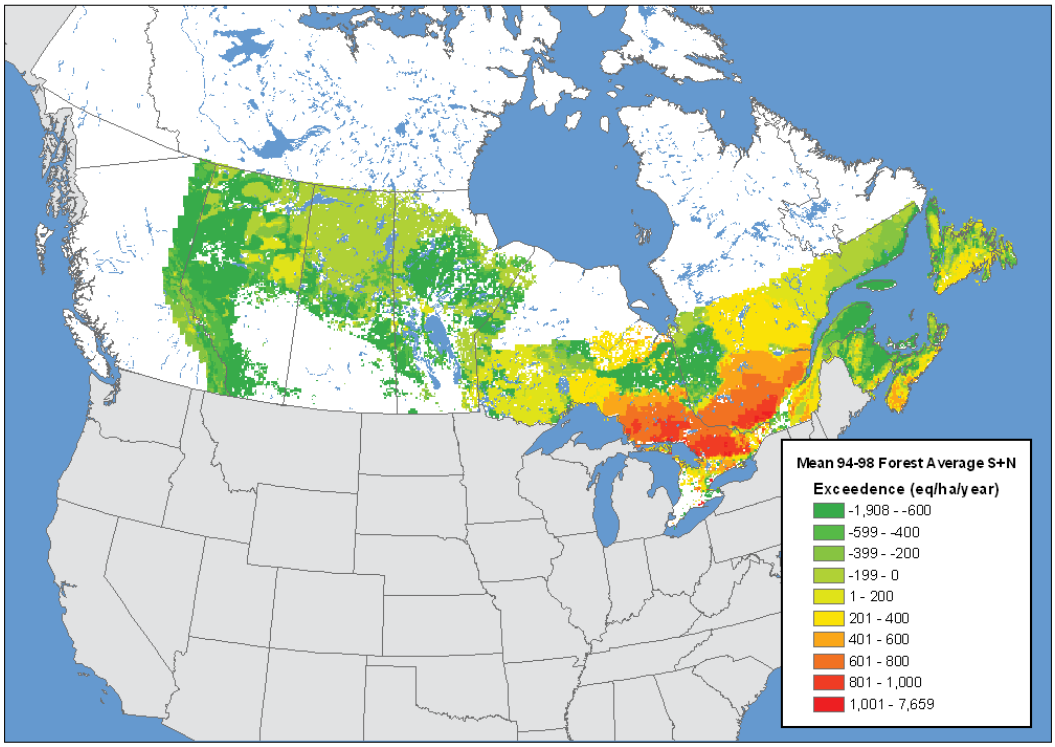

Figure 2. Dépassements des charges critiques de soufre et d'azote dans les sols forestiers en terrain élevé dans tout le Canada, calculés à partir de la moyenne des dépôts mesurés (1994-1998). Aucune estimation des dépôts n'était disponible pour la Colombie-Britannique et le nord de l'Ontario. **[Mean 94-98 Forest Average S+N = Moyenne 1994-1998 en zone forestière S+N Exceedance (eq/ha/year) = Dépassement (éq/ha/an)]**

Si l'on regarde les cartes du dépôt total moyen de soufre et d'azote pour la période de 1994 à 1998 au Canada, dans environ 38 % de la zone forestière en terrain élevé cartographiée, les dépôts acides dépassent les charges critiques (figure 2). Dans certains cas, les dépassements sont observés dans des zones où la charge critique est faible et les charges acides élevées (p. ex. dans de grands secteurs de l'Est du Canada). Dans d'autres cas, même si les charges critiques sont relativement élevées, les niveaux élevés de dépôt acide dépassent le pouvoir tampon naturel des sols. (p. ex. le sud de l'Ontario et du Québec). Sur une même carte, les dépassements dans l'Ouest du Canada apparaissent relativement faibles comparativement aux valeurs obtenues dans l'Est. Il convient de remarquer trois aspects essentiels en ce qui concerne l'incertitude des estimations des dépassements : (1) les valeurs des dépassements dans l'Ouest du Canada sont entachées de beaucoup plus d'incertitude que celles de l'Est à cause du manque de données sur les dépôts dans l'Ouest; (2) comme aucune donnée sur les dépôts n'était disponible pour les endroits proches des sources d'émissions importantes, l'incertitude pour ces zones est

exceptionnellement élevée; et, (3) les valeurs des dépassements dans l'ensemble du pays sont encore plus incertaines à cause de l'absence de données de mesure concernant certaines particules de la taille de cations basiques et divers composés d'azote (p. ex. organonitrates, NO_2 et NH_3). Cependant, dans une zone où on observe un dépassement de la charge critique (jaune-vert à rouge), il y a un risque potentiel de dommages nouveaux ou déjà survenus.

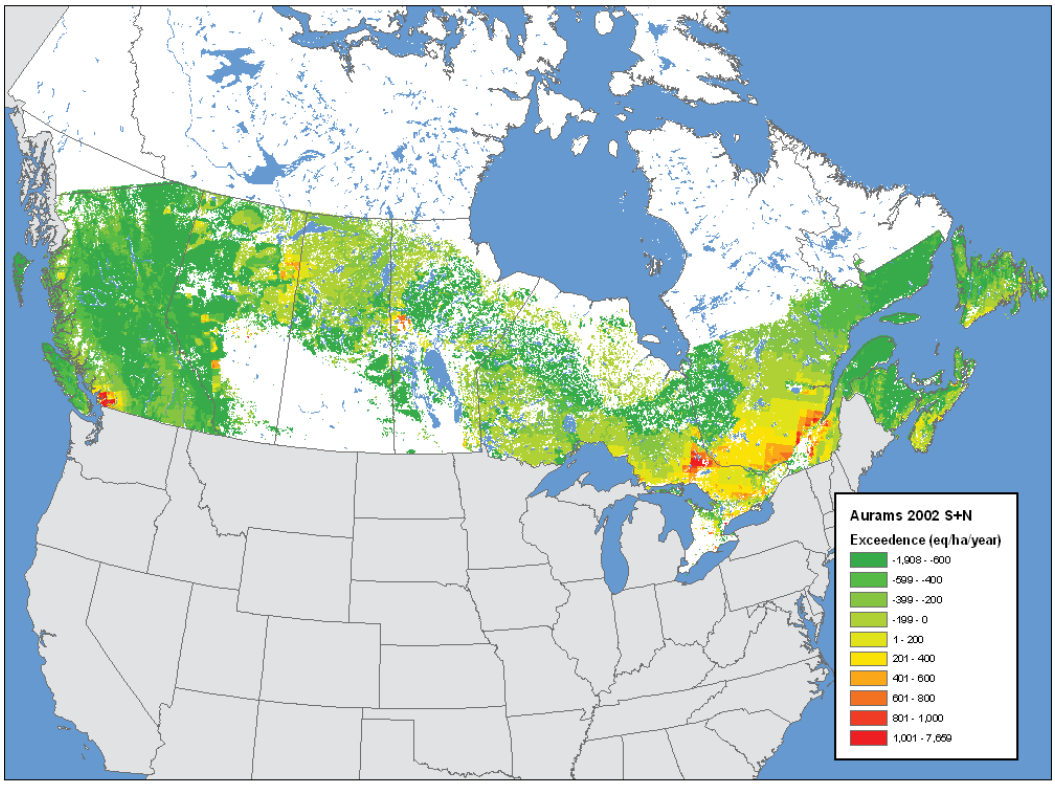

Figure 3. Dépassements des charges critiques de soufre et d'azote dans les sols forestiers en terrain élevé au Canada, à partir d'estimations préliminaires des dépôts actuels (2002) calculées à l'aide du modèle AURAMS.
[Aurams 2002 S+N = AURAMS 2002 S+N
Exceedance (eq/ha/year) = Dépassement (éq/ha/an)]

À l'échelle du pays, les sols forestiers en terrain élevé qui présentent les dépassements des charges critiques les plus élevées selon les estimations obtenues par modélisation des dépôts (figure 3) sont dans l'ensemble conformes à ceux illustrés à la figure 2, même si, dans certains cas, l'importance des dépassements est différente. Ainsi, le degré de dépassement dans le centre-sud de l'Ontario et dans le sud-ouest du Québec indiqué à la figure 2 est plus élevé que ce qui est présenté pour la même région à la figure 3. De plus, lorsqu'on examine l'ensemble de la carte, les dépassements les plus élevés (orange et rouge) surviennent près des sources d'émissions importantes (p. ex. vallée du bas Fraser, sables bitumineux de l'Athabasca, fonderies du Manitoba, Sudbury, corridor Windsor-Québec). Les différences entre les deux cartes de dépassements peuvent être attribuées à divers facteurs : (1) la diminution des dépôts de soufre et d'azote qui est survenue dans

l'Est du Canada depuis la période de mesure de 1994 à 1998 et n'est pas représentée à la figure 2; (2) le fait que les stations de surveillance des dépôts sont situées dans des régions éloignées des sources d'émissions importantes, alors que les estimations par modélisation sont calculées à partir des émissions à la source même; (3) les estimations du dépôt total présentées à la figure 2 concernent uniquement les zones boisées, alors qu'à la figure 3, le dépôt total est donné pour tous les types de couvertures terrestres de chaque maille d'AURAMS (en conséquence, les mailles modélisées d'AURAMS qui combinent des forêts et d'autres couvertures terrestres ont des taux de dépôt inférieurs); et (4) les incertitudes relatives aux mesures de dépôt (expliquées précédemment) ainsi que les incertitudes concernant les données sur les émissions.

Même si l'objectif de ce rapport est d'établir un profil national de la sensibilité aux dépôts acides, il faut faire preuve de prudence lorsque l'on compare les provinces entre elles, puisqu'elles ont été cartographiées à des échelles différentes et que les données sous-jacentes utilisées pour calculer les charges critiques présentent elles aussi des différences. De plus, les cartes présentées doivent être vues comme une première étape d'un processus qui sera raffiné et mis à jour à mesure que des méthodes plus perfectionnées et des données plus récentes sont mises à disposition.

Conclusion

Les récentes évaluations sur la sensibilité aux dépôts acides entreprises pour l'est de l'Alberta montrent que, dans chaque province, il y a des sols forestiers en terrain élevé qui reçoivent actuellement des dépôts acides supérieurs à leur charge critique à long terme. Le sud-est du Canada est particulièrement à risque d'essuyer des dommages constants à l'environnement malgré les récentes diminutions des émissions acidifiantes.

Références

Aherne, J., Watmough, S. (2006). Calculating Critical Loads of Acid Deposition for Forest Soils in Manitoba and Saskatchewan: Data Sources, Critical Load, Exceedance and Limitations. Rapport final préparé pour le CCME. Études de l'environnement et des ressources naturelles, Université Trent, Peterborough (Ontario).

Aherne, J. (2007). Assessment of the Impact on Canadian Coastal Ecosystems from Marine Vessel SOx Emissions: Exceedance of Critical Loads of Acidic Deposition in British Columbia and Ontario. Rapport intérimaire. Études de l'environnement et des ressources naturelles, Université Trent, Peterborough (Ontario).

Aherne, J. (2008a). Calculating Critical Loads of Acid Deposition for Forest Soils in Alberta: Critical load, exceedance and limitations. Rapport final. Études de l'environnement et des ressources naturelles, Université Trent, Peterborough (Ontario).

Aherne, J. (2008b). Critical Load and Exceedance Estimates for Upland forest Soils in Manitoba and Saskatchewan: Comparinng Exceedance Outputs of Different Models. Rapport final. Études de l'environnement et des ressources naturelles, Université Trent, Peterborough (Ontario).

Jeffries, D., Ouimet, R. (2005). Chapitre 8 : Les charges critiques : sont-elles dépassées? Dans Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada. Environnement Canada, Ottawa..

Ouimet, R., P.A. Arp, S.A. Watmough, J. Aherne, I. Demerchant (2006). Determination and mapping critical loads of acidity and exceedances for upland forest soils in eastern Canada. Water, Air, and Soil Pollution 172: 57-66.

Moran, M.D., Q. Zheng, R. Pavlovic, S. Cousineau, V.S. Bouchet, M. Sassi, P.A. Makar, W. Gong, et C. Stroud (2008). Predicted acid deposition critical-load exceedances across Canada from a one-year simulation with a regional particulate-matter model. *Proc. 15th Joint AMS/A&WMA Conference on Applications of Air Pollution Meteorology*, Jan. 21-24, New Orleans, 20 pp. [Disponible sur le site : http://ams.confex.com/ams/pdfpapers/132916.pdf]

Murphy, P.N.C., J. Ogilvie, F.-R. Meng et P.A. Arp. (2007). Stream network modelling using LiDAR and photogrammetric DEMs: a comparison and field verification. Hydrological Processes.

NEG-ECP (2001). Critical load of sulphur and nitrogen assessment and mapping protocol for upland forests. Groupe de travail des Gouverneurs de la Nouvelle-Angleterre et des Premiers ministres de l'Est du Canada, Plan d'action visant les pluies acides,, Halifax (Nouvelle-Écosse).

RNCan (2007). Canada3D – Modèle numérique d'élévation de la masse continentale canadienne. http://www.geogratis.gc.ca/geogratis/fr/option/select.do?id=8880

Vet, R., J. Brook, C. Ro, M. Shaw, J. Narayan, L. Zhang, M. Moran, M. Lusis (2005). Chapitre 3 : Les réactions de l'atmosphère suite aux changements dans les émissions. Dans Évaluation scientifique 2004 des dépôts acides au Canada. Environnement Canada, Ottawa. (Ontario).