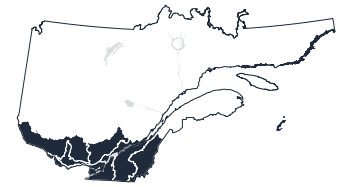


Quelles sont les conséquences à long terme de l'ajout répété d'azote sur la vigueur de l'érable à sucre?

Par *Jean-David Moore*¹, ing.f., M. Sc., Daniel Houle², biol., Ph. D.
et *Marie-Eve Roy*¹, ing.f., MBA



Territoires où les résultats s'appliquent.

Les effets cumulatifs des dépôts atmosphériques d'azote (N) dans les forêts tempérées du nord-est de l'Amérique du Nord sont préoccupants. L'augmentation des dépôts d'azote peut stimuler la croissance des forêts et la séquestration du carbone. En revanche, cette augmentation peut aussi entraîner une baisse de la fertilité des sols en cations basiques. Du nitrate d'ammonium ($\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$), a été appliqué pendant 13 ans à des taux de 3 et de 10 fois supérieurs aux dépôts atmosphériques dans une érablière à sucre de la Station forestière de Duchesnay. Notre étude a permis de suivre dans le temps les dynamiques de la chimie du feuillage et du dépérissement des érables. Quels sont les effets à long terme de l'ajout chronique d'azote sur la nutrition et la vigueur de l'érable à sucre?

Les dépôts atmosphériques

Les dépôts atmosphériques d'azote (N) et de soufre (S) ont largement diminué dans de nombreuses régions du monde au cours des deux dernières décennies, ce qui a entraîné des diminutions substantielles de l'acidité des précipitations³. Bien qu'une amélioration de la situation ait été observée dans les eaux de surface et les sols de certains écosystèmes forestiers, d'autres restent encore sensibles à ces apports. Cela s'explique par l'effet cumulatif de l'apport d'anions acides (sulfate [SO_4^{2-}] et nitrate [NO_3^-]) sur le pouvoir tampon du sol (figure 1). Dans les écosystèmes où le sol est pauvre en N, la charge atmosphérique totale cumulée de N (nitrate [NO_3^-] et ammonium [NH_4^+]) peut avoir un effet fertilisant et, par conséquent, un effet positif sur la croissance des arbres. Cependant, dans les écosystèmes déjà riches en N ou ayant un faible pouvoir tampon, cette charge supplémentaire peut ultimement provoquer l'épuisement des cations basiques du sol, et donc avoir un effet négatif sur la vigueur des arbres.

Le saviez-vous?

Le pouvoir tampon du sol réfère à sa capacité à neutraliser un apport d'acidité. Les principaux composés responsables de l'acidité des précipitations sont le dioxyde de soufre (SO_2) et les oxydes d'azote (NO_x). Lorsqu'ils sont libérés dans l'atmosphère, ces composés entrent en contact avec des molécules d'eau et forment respectivement de l'acide sulfurique (H_2SO_4) et de l'acide nitrique (HNO_3). C'est la quantité d'ions H^+ présents dans la solution du sol qui caractérise le pH d'un sol, donc son acidité. Plus il y a de H^+ , plus le sol est acide et plus le pH est bas. L'effet tampon résulte de l'équilibre entre des substances qui libèrent des protons H^+ (les acides) et des substances qui capturent des protons (les bases). Une diminution du pouvoir tampon signifie une perte de cations basiques (calcium [Ca^{2+}], magnésium [Mg^{2+}] et potassium [K^+]) dans la partie superficielle du sol, soit la zone où les racines des arbres sont principalement localisées. Cette perte de cations basiques fait craindre une perte de fertilité puisque les cations basiques sont des éléments nutritifs importants pour la croissance de la forêt. Le chaulage, c'est-à-dire un amendement minéral basique, permet de neutraliser cet excès d'acidité.

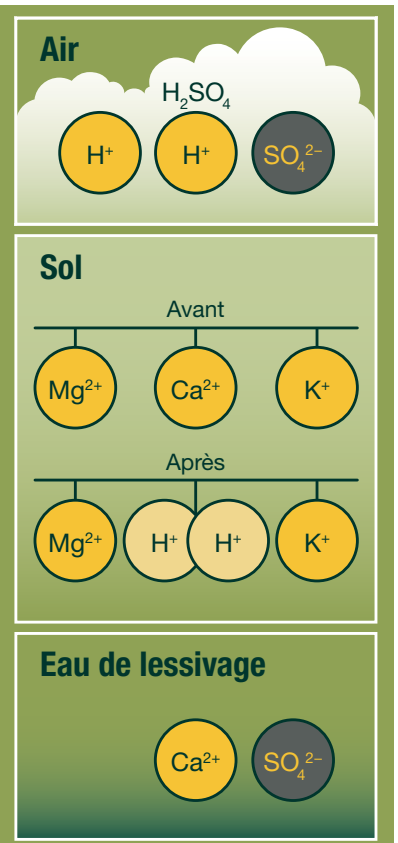


Figure 1. Effet des précipitations acides sur le contenu en cations basiques du sol. Les protons (H^+) apportés par l'acide sulfurique (H_2SO_4) déplacent les ions calcium (Ca^{2+}) des sites d'échanges qui sont ensuite évacués, accompagnés d'un ion sulfate (SO_4^{2-}) avec la solution qui quitte la zone racinaire des sols forestiers.

¹ Ministère des Ressources naturelles et des Forêts

² Directeurat des sciences et technologies, Environnement et Changement climatique Canada

³ En 1991, le Canada et les États-Unis ont signé l'*Accord Canada-États-Unis sur la qualité de l'air* en vue de lutter contre la pollution atmosphérique transfrontalière. Les deux pays ont convenu de réduire leurs émissions de dioxyde de soufre (SO_2) et d'oxydes d'azote (NO_x), les principaux précurseurs des pluies acides, et de coopérer à des travaux scientifiques et techniques sur les pluies acides.

Une expérience d'ajouts chroniques de nitrate d'ammonium dans une érablière

L'expérience a été réalisée à la Station forestière de Duchesnay, située près de la ville de Québec⁴. La végétation y est dominée par l'érable à sucre, accompagné de bouleaux jaunes et de hêtres à grandes feuilles, sur des sols acides et pauvres en calcium et en magnésium. Neuf unités expérimentales (15 m × 15 m) ont été choisies dans une zone représentative en termes d'âge des arbres, de densité et de composition des peuplements. En octobre 2000, 5 érables dominants ou codominants ont été sélectionnés et numérotés dans chaque unité expérimentale, pour un total de 45 arbres étudiés. De 2001 à 2013, les traitements de pulvérisation de nitrate d'ammonium ($\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$) ont été appliqués 5 fois par an, de juin à octobre. Les traitements ont été répartis au hasard : 3 unités témoins, 3 unités avec un traitement à faible dose de $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ (26 kg/ha annuellement) et 3 unités avec une forte dose (85 kg/ha annuellement). L'ajout annuel de $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ était équivalent respectivement à des taux de 3 et de 10 fois supérieurs aux dépôts atmosphériques lors de l'implantation du dispositif.

Les conséquences sur la chimie du feuillage et le dépérissement des érables

De 2001 à 2013, nous avons mesuré annuellement la concentration de plusieurs éléments nutritifs dans le feuillage des arbres. La concentration en N était significativement plus élevée à court terme chez les arbres ayant reçu le traitement à forte dose, comparativement au témoin. Cependant, la différence n'était plus significative après 13 ans, malgré une tendance vers des concentrations de N plus élevées pour le traitement à forte dose d'azote (figure 2A). Ce résultat est conforme à d'autres études qui ont rapporté des augmentations foliaires de N à la suite d'applications répétées de $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ à court et à long terme.

En ce qui a trait au calcium (Ca), sa concentration dans les feuilles des arbres témoins était bien inférieure au seuil suggéré pour un arbre sain. Cette observation concorde avec la faible teneur en cations basiques des sols de ce secteur. Trois ans après le début du traitement, les concentrations foliaires en Ca ont diminué rapidement et elles sont restées faibles jusqu'en 2013, en particulier chez les arbres ayant reçu le traitement à forte dose (figure 2B). Les niveaux de Ca foliaire en 2013 sont parmi les plus bas jamais observés pour l'érable à sucre. Bien que l'état nutritionnel en Ca ne se soit pas détérioré après 2006, la proportion de dépérissement de la cime a augmenté de façon importante avec les traitements et le temps (figure 3).

Le chaulage : une option intéressante pour les sols pauvres et acides

Les ajouts répétés de $\text{NH}_4^+\text{NO}_3^-$ dans un écosystème dont le sol est pauvre en bases ont exacerbé la carence nutritionnelle préexistante des érables à sucre étudiés, et entraîné la détérioration de leur santé. Les changements dans la chimie foliaire ont été étonnamment rapides dans les deux à trois ans suivant le début des traitements. Ensuite, ils sont restés relativement stables, mais la vigueur des érables étudiés a fortement diminué, plus particulièrement pour ceux ayant reçu le traitement à forte dose. Ces résultats témoignent de la

sensibilité des érablières aux cumuls des apports atmosphériques d'azote et de la persistance de leurs effets négatifs. Cette baisse de vigueur pourrait engendrer le déclin de l'érable à sucre dans ces écosystèmes si aucune intervention n'est faite. Dans ce contexte, le chaulage pourrait atténuer les effets de la perte de fertilité du sol sur l'érable à sucre, du moins dans les écosystèmes dont la capacité tampon du sol est faible⁵.

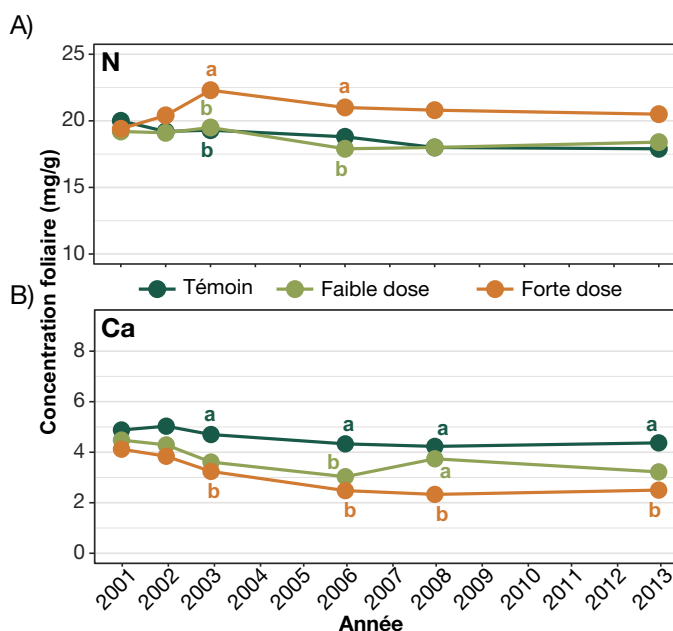


Figure 2. Concentration foliaire moyenne A) en azote (N) et B) en calcium (Ca) des arbres étudiés pour chaque année de mesure selon le traitement reçu (témoin, faible dose et forte dose). Des lettres minuscules différentes indiquent une différence significative.

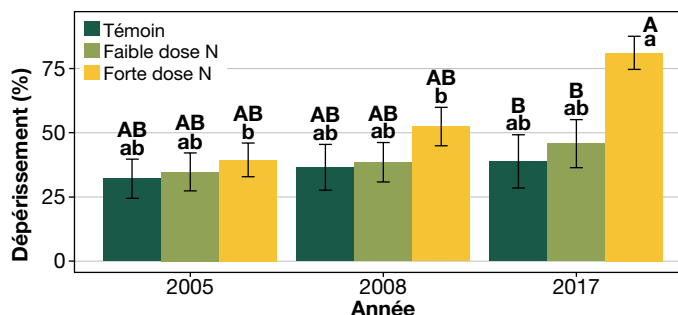


Figure 3. Pourcentage de dépérissement de la cime moyen pour les arbres étudiés en 2005, en 2008 et en 2017, selon le traitement reçu (témoin, faible dose et forte dose). Des lettres minuscules différentes indiquent une différence significative pour un même traitement entre les trois années, tandis que des lettres majuscules différentes indiquent une différence significative pour une même année entre les traitements.

Pour en savoir plus

⁴ Moore, J.D. et D. Houle, 2023. *Chemistry of soil and foliage in declining sugar maple stands over 13 years of nitrogen addition*. For. Ecol. Manage. 535: 120897.

⁵ Moore, J.-D. et R Ouimet, 2021. *Liming still positively influences sugar maple nutrition, vigor and growth, 20 years after a single application*. For. Ecol. Manage. 490: 119-103.

Les hyperliens de ce document étaient fonctionnels au moment de son édition.

Pour plus de renseignements, veuillez communiquer avec :

Direction de la recherche forestière
Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
2700, rue Einstein, Québec (Québec) G1P 3W8

Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165

Courriel : recherche_forestiere@mmf.gouv.qc.ca
Internet : recherche_forestiere.gouvernementale

ISSN: 1715-0795

Ressources naturelles
et Forêts

Québec