



CONTRE L'ACIDITÉ DES SOLS FORESTIERS AVEC DES RÉSIDUS DE PAPETIÈRES : *UNE SOLUTION ÉCONOMIQUE ET ÉCOLOGIQUE?*

Les résidus alcalins tels que la cendre de bois pourraient s'avérer une option intéressante pour neutraliser l'acidité de certaines érablières québécoises tout en fournissant des éléments nutritifs essentiels à la croissance des arbres. Nous présentons ici les résultats d'un projet ayant étudié la réponse du sol d'érablières estriennes suite à l'application de ces différents résidus.

PAR SAMUEL ROYER-TARDIF, BIOL. Ph.D., JOANN WHALEN, AGR. Ph.D. ET DAVID RIVEST, Ph.D.

L'ACIDIFICATION DES ÉRABLIÈRES, UN PROBLÈME PRÉOCCUPANT

Les érablières du sud de la province sont des écosystèmes forestiers d'une grande valeur économique, écologique et culturelle. Toutefois, la santé de certains de ces écosystèmes est menacée par différents stress environnementaux, en particulier l'acidification des sols résultant des pluies acides des dernières décennies. Les conditions acides des sols accélèrent le lessivage et la perte des éléments nutritifs qui sont nécessaires à la croissance et à la santé des érables, en plus de favoriser l'invasion d'espèces compétitrices comme le hêtre et les fougères.

Afin de contrer l'acidité des sols, la chaux a été employée avec succès dans plusieurs érablières du Québec. La chaux est riche en carbonates de calcium. En se dissolvant, ces derniers neutralisent l'acidité du sol pour former de l'eau et du calcium, un élément important pour la croissance de l'érable. Toutefois, l'application de chaux est coûteuse et son

application n'est souvent rentable que pour les érablières aménagées pour la production de sirop d'érable. De plus, l'extraction, le broyage et la fabrication de la chaux à partir de pierre calcaïque génèrent beaucoup de gaz à effet de serre (0,75 tonne en équivalent CO₂ par tonne de chaux produite).

LES RÉSIDUS ALCALINS, UNE SOLUTION ÉCOLOGIQUE ET ÉCONOMIQUE?

Les résidus alcalins provenant de l'activité des papetières pourraient s'avérer une alternative plus économique et plus écologique que la chaux calcaïque pour améliorer les propriétés des sols des érablières. Ces résidus comprennent la boue de chaux (un analogue de la chaux calcaïque), les lies et grès (riches en calcium, mais également en sodium) ainsi que les cendres issues de la combustion de bois pour la production d'énergie. La capacité neutralisante de ces résidus, c'est-à-dire leur capacité à neutraliser l'acidité du sol comparativement à la chaux calcaïque, est d'environ 50 % pour les cendres et plus de 95 % pour la boue de chaux (tableau 1). De plus, les cendres de bois comprennent plusieurs éléments nutritifs nécessaires à la croissance des arbres, hormis l'azote et le phosphore qui sont majoritairement libérés sous forme gazeuse lors de la combustion.

Au Québec, l'application de résidus alcalins comme matières fertilisantes est une pratique présente dans le milieu agricole, mais très marginale en milieu forestier. Cette pratique est encadrée par le ministère de l'Environnement et de la Lutte contre les changements climatiques qui délivre les certificats d'autorisation en vertu du *Guide sur le recyclage des matières résiduelles fertilisantes*. Ce guide fait état des exigences relatives à la composition chimique et aux propriétés physiques des résidus pouvant être valorisés en milieu naturel. En Europe, plus particulièrement dans les pays nordiques, les cendres de bois sont couramment utilisées comme matière fertilisante afin de restaurer les éléments nutritifs prélevés avec la récolte forestière. Au Canada, le réseau AshNet étudie la réponse des écosystèmes forestiers canadiens à l'application de cendres afin de mieux quantifier leur potentiel économique et écologique.

Tableau 1 : Propriétés physico-chimiques des différents résidus utilisés dans cette étude

	CENDRES	LIE ET GRÈS	BOUE DE CHAUX
pH	13	-	11
CAPACITÉ NEUTRALISANTE*	51	82	95
% HUMIDITÉ	47	79	41
CALCIUM (g/kg)	200	270	394
MAGNÉSIUM (g/kg)	14	17	3
POTASSIUM (g/kg)	15	10	1
SODIUM (g/kg)	4	66	7
MANGANÈSE (g/kg)	4	7	0
ZINC (g/kg)	1	1	0

* Capacité à neutraliser l'acidité du sol par rapport à la chaux calcique (exprimé en %)



UNE PRATIQUE SANS EFFET NÉGATIF?

L'une des conséquences potentielles associées à l'application de résidus alcalins en milieu forestier est la stimulation de l'activité biologique du sol qui pourrait accroître les émissions de gaz à effet de serre du sol. Ces gaz comprennent :

- 1 le gaz carbonique (CO₂) issu de la respiration biologique dans le sol;
- 2 le méthane (CH₄), un gaz produit lors de la décomposition de la matière organique en absence d'oxygène;
- 3 l'oxyde nitreux (N₂O) qui est un sous-produit du cycle biologique de l'azote.

Plusieurs études, notamment en Europe, se sont penchées sur le lien entre l'application de résidus alcalins et les émissions de gaz à effet de serre sans toutefois dresser un bilan constant d'une étude à l'autre. En fait,

plusieurs facteurs semblent influencer la réponse des forêts à l'application de résidus alcalins dont la composition forestière, les propriétés du sol et les conditions climatiques.

UNE ÉTUDE ESTRIENNE

En partenariat avec la papetière Domtar de Windsor, nous avons conduit une étude sur plus de 2 ans dans le but de mieux comprendre la réponse du sol des érablières face à l'application des résidus alcalins issus de la papetière. L'étude avait deux objectifs :

- 1 évaluer dans quelle mesure ces résidus peuvent neutraliser l'acidité du sol;
- 2 déterminer si leur application peut accroître les émissions de gaz à effet de serre par le sol des érablières.

DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Au total, six érablières situées dans la région de Sherbrooke ont été sélectionnées pour cette étude. Dans chaque érablière, six parcelles de 5 x 5 m ont été délimitées et chacune a reçu l'un des six traitements suivants : un témoin non amendé, l'application de cendres de bois à raison de 5, 10 ou 20 t sèches/ha, de la boue de chaux à raison de 7,5 t/ha et un mélange de cendres de bois et de lie et grès (2:1) à 7 t/ha. Plusieurs propriétés du sol ont été mesurées avant et deux ans après l'application des différents traitements dont l'acidité, le pH, les bases échangeables et la disponibilité des éléments nutritifs. Les flux des trois principaux gaz à effet de serre ont été mesurés à l'aide de chambres statiques faites



Construisez et rénovez des granges, des remises, des clôtures, des terrasses, et plus encore, avec du bois d'œuvre de source locale, en sciant vos propres billes pour en faire des matériaux utilisables, avec une scierie mobile Wood-Mizer.

14 modèles de scieries disponibles, débutant avec le LT10 à 5 273\$*. **Financement disponible !**

Wood-Mizer
de la forêt à la forme finale

Scierie LT35 hydraulique illustrée avec l'écorceuse en option.

© 2019 Wood-Mizer LLC
*Prix sujets changement sans préavis.

877.866.0667
woodmizer.ca

Figure 1 : Parcelle d'inventaire avec quatre chambres installées pour la mesure des flux de gaz à effet de serre



de PVC et par lesquelles des échantillons de gaz étaient prélevés à l'aide d'une seringue (figure 1 ↑). Ces échantillons étaient par la suite envoyés au Campus Macdonald de l'Université McGill pour être analysés.

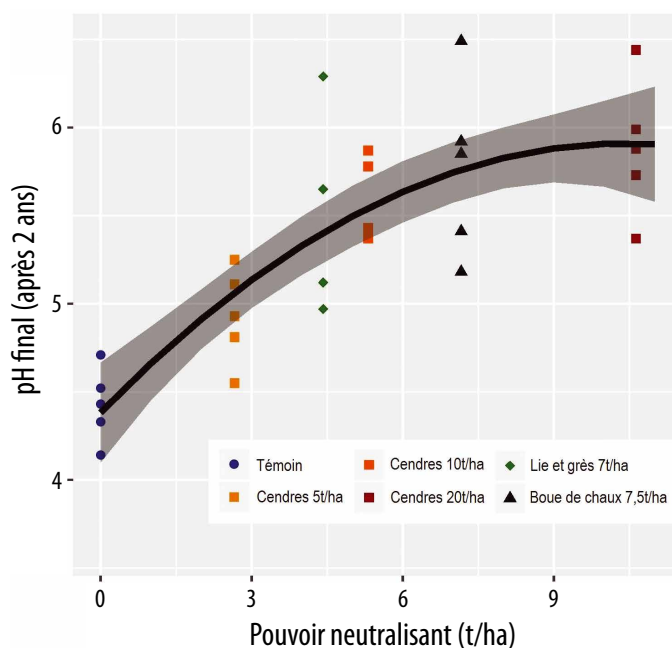
RÉSULTATS

Tous les traitements appliqués ont contribué à réduire l'acidité et restaurer la fertilité du sol des érablières étudiées, particulièrement pour ce qui est de l'horizon organique (tableau 2 ↓). Notamment, ils ont augmenté le pH, de même que le contenu en calcium dans le sol tout en réduisant le contenu en aluminium, en fer et en manganèse qui sont abondants dans les sols acides. De plus, ils ont contribué à accroître la capacité du sol à retenir les éléments nutritifs (capacité d'échange cationique) de même que la saturation en bases*. Dans l'horizon minéral du sol, les effets étaient toujours significatifs, mais moins marqués que dans l'horizon organique. L'efficacité des traitements était majoritairement influencée par le pouvoir neutralisant, c'est-à-dire la capacité neutralisante du produit multiplié par la quantité épandue, tel que démontré pour le pH final après deux ans dans l'horizon organique.

Contrairement à nos prédictions initiales, les émissions de gaz à effet de serre étaient réduites après l'application des résidus alcalins. Des réductions marquées ont été notées dans les flux de CO₂ et de N₂O (figure 3). La réduction était plus importante pour le CO₂, mais tout de même significative pour le N₂O. Les principaux facteurs expliquant cette diminution des émissions de gaz à effet de serre étaient l'augmentation du pH du sol de même que le type de résidus appliqué. La boue de chaux tendait à moins réduire les flux de CO₂ alors qu'elle amplifiait la réduction des émissions de N₂O comparativement aux autres résidus. Enfin, peu de différences entre les traitements ont été relevées dans les émissions de méthane.

Il est difficile d'expliquer la réduction observée dans les émissions de gaz à effet de serre puisque plusieurs facteurs peuvent en être responsables.

Figure 2 : pH du sol organique 2 ans après l'application des différents résidus en fonction de leur pouvoir neutralisant



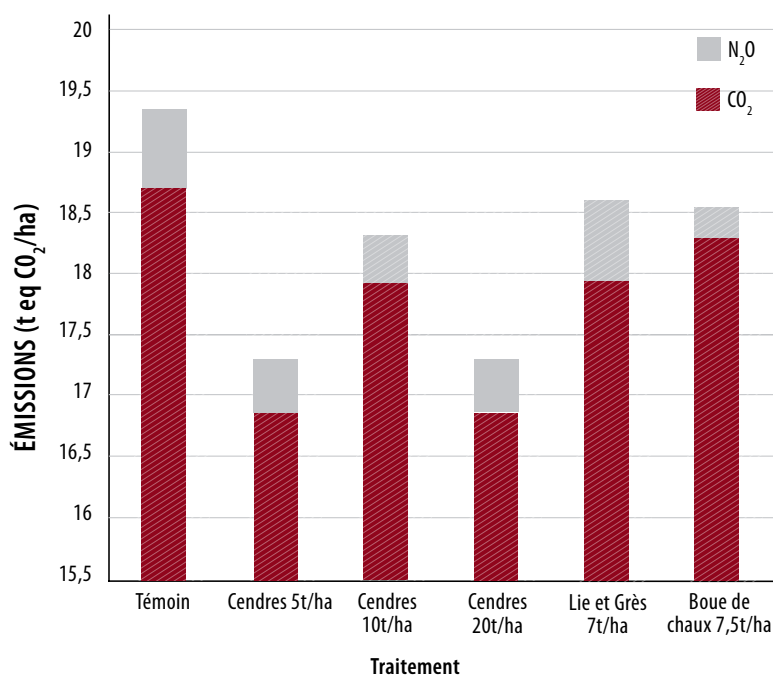
La courbe en noir indique les valeurs prédites par le modèle statistique alors que la zone grise correspond à l'intervalle de confiance à 95% du modèle.

Tableau 2 : Propriétés chimiques de l'horizon organique des érablières 2 ans après l'application des résidus alcalins

	TÉMOIN	CENDRES 5t/ha	CENDRES 10t/ha	CENDRES 20t/ha	LIE ET GRÈS 7t/ha	BOUE DE CHAUX 7,5t/ha
pH	4,4	4,9	5,6	5,9	5,5	5,8
ACIDITÉ ÉCHANGEABLE (cmol ⁺ kg ⁻¹)	14,5	4,6	3,4	2,6	5,5	4,0
CAPACITÉ D'ÉCHANGE CATIONIQUE (cmol ⁺ kg ⁻¹)	22,6	33,7	38,7	51,0	43,5	36,2
SATURATION EN BASES* (%)	54,1	92,4	95,9	98,6	87,1	92,4
CALCIUM (cmol ⁺ kg ⁻¹)	9,4	27,5	33,9	46,0	36,3	31,1
ALUMINIUM (cmol ⁺ kg ⁻¹)	8,3	0,9	0,6	0,1	2,3	1,3
FER (cmol ⁺ kg ⁻¹)	0,24	0,06	0,03	0,03	0,04	0,03
AMMONIUM (mg/kg)	516	170	159	95	64	79
NITRATES (mg/kg)	117	194	239	171	241	107

*La saturation en base est un indice de fertilité. Plus précisément, c'est le rapport entre la quantité d'éléments nutritifs dans le sol et la capacité totale de ce sol.

Figure 3 : Émissions saisonnières (mai à octobre) calculées à partir des flux de N_2O et de CO_2 mesurés sur le terrain



Les émissions de N_2O ont été converties en équivalents CO_2 en utilisant un facteur de $1 \text{ t } N_2O = 298 \text{ t } CO_2$.

Il est possible que les microorganismes du sol tardent à s'adapter aux nouvelles conditions créées par les résidus alcalins de sorte qu'un accroissement des émissions de gaz à effet de serre puisse se produire à plus long terme. De plus, il est possible que les résidus alcalins aient réduit la respiration racinaire qui peut représenter plus de 40 % de la respiration des sols forestiers. Cette diminution peut être causée par un effet toxique des résidus alcalins (ex. concentrations trop fortes de potassium) ou peut résulter d'une réduction de l'investissement des plantes dans le développement des racines suite à l'augmentation de la fertilité du sol. Enfin, la réduction des émissions de N_2O était associée à la réduction de l'azote minéral (ammonium et nitrates) dans le sol. Ces deux formes d'azote sont les précurseurs du gaz N_2O dans le cycle de l'azote. Il est possible que les résidus alcalins aient interféré directement dans les processus générant l'azote minéral ou encore qu'ils aient favorisé le lessivage de l'azote plus en profondeur dans le sol.

CONCLUSIONS

Ces résultats démontrent que les résidus alcalins issus de l'activité des papetières sont efficaces pour neutraliser l'acidité du sol des érablières, une efficacité qui dépend essentiellement de la dose plutôt que du type de résidu appliqué. De plus, ces résidus contribuent à restaurer la réserve d'éléments nutritifs ainsi que la richesse des sols forestiers sans accroître les émissions de gaz à effet de serre. Au contraire, 2 ans après l'application, tous les traitements ont plutôt réduit ces émissions. Plus d'études sont nécessaires afin de comprendre cette réponse du sol suite à l'application de ces résidus alcalins. Toutefois, ces résultats ne démontrent pas d'influence négative majeure des résidus alcalins sur les écosystèmes forestiers en ce qui a trait aux émissions de gaz à effet de serre. De plus, les évidences actuelles suggèrent que les cendres ont un impact relativement mineur sur les autres composantes biotiques et abiotiques des forêts. Par conséquent, leur usage pour contrer l'acidité et restaurer la fertilité des sols de nos érablières peut s'avérer une option beaucoup plus économique et écologique que leur disposition dans

des sites d'enfouissement. Une étude compagne en cours à l'Université du Québec en Outaouais permettra de déterminer les effets de l'application des cendres, à une échelle opérationnelle, sur la croissance et la nutrition de l'érable à sucre. Certains résultats obtenus par l'équipe de Rock Ouimet à la direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs indiquent un effet bénéfique de la boue de chaux sur la nutrition du bouleau jaune et de l'érable à sucre en plus de favoriser la croissance de ce dernier.



REMERCIEMENTS

Nous tenons à remercier Patrick Cartier et Steve Reynolds de la papetière Domtar pour leur assistance dans l'élaboration et la mise en place du dispositif de recherche et la révision de ce texte. Ce travail n'aurait pas pu être possible sans la participation des nombreux étudiants de l'ISFORT aux travaux réalisés sur le terrain ainsi que de celle d'Hélène Lalande et d'Hicham Benslim de l'Université McGill qui ont piloté les analyses de sol en laboratoire. Enfin, ce projet a été initié grâce à une subvention MITACS et a été financé par la suite par le CRSNG.

EN SAVOIR PLUS

Contactez les auteurs :

- Samuel Royer-Tardif, Biol. Ph.D., Département des Sciences Naturelles, Institut des Sciences de la Forêt Tempérée (ISFORT), Université du Québec en Outaouais
Courriel : samrt05@gmail.com
- Johann Whalen, Agr. Ph.D., Département des Sciences Naturelles, Campus de l'Université McGill
Courriel : joann.whelen@mcgill.ca
- David Rivest, Ph.D., Département des Sciences Naturelles, Institut des Sciences de la Forêt Tempérée (ISFORT), Université du Québec en Outaouais
Courriel : david.rivest@uqo.ca