



Quels sont les effets de la production acéricole sur la fertilité du sol ?

Rock Ouimet, ing.f., Ph. D. et Gabriel L. D. Weiss, agr.¹

Résumé

L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall) est une essence exigeante en éléments nutritifs. Dans cette note de recherche, nous avons voulu évaluer à quel point l'activité acéricole influence la fertilité en éléments minéraux du sol (Ca, K et Mg) en estimant leur bilan annuel dans deux régions géologiques importantes au Québec : les Laurentides et les Appalaches. Nous avons également effectué une analyse de sensibilité des bilans pédologiques à l'aide de 3 scénarios de production. Lorsqu'on ajoute la récolte de sève (associée à la production acéricole) à celle de bois (associée à l'aménagement forestier), le bilan en Ca devient négatif dans les deux régions, avec un déficit de $-1,7$ à $-1,0$ kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹. La perte de Ca la plus importante provient de la récolte de bois dans l'érablière. La récolte de sève a un effet non négligeable, mais elle représente seulement environ 9 % des pertes. La production de râche représente presque 100 % des pertes de Ca causées par la production de sirop. Dans un contexte de récolte de bois sans activité acéricole, le bilan en Ca s'améliore et devient pratiquement nul dans les deux régions. Le bilan en K est négatif seulement dans les Laurentides, tandis que celui en Mg demeure toujours positif dans les deux régions. L'augmentation de la production de sirop rend le bilan du Ca encore plus négatif. Le taux d'altération chimique du sol demeure le facteur qui entraîne la plus grande incertitude dans le calcul des bilans. Les analyses confirment que l'activité acéricole peut réduire à long terme les réserves du sol en Ca dans les deux régions étudiées, de même que celles en K dans les Laurentides.

Mots-clés : acériculture, Appalaches, bilan pédologique, éléments minéraux, érablière, Laurentides

Abstract

*Sugar maple (*Acer saccharum* Marshall) is a nutrient-demanding species. In this research note, we wanted to evaluate the degree to which maple syrup production activities contribute to soil mineral element fertility by estimating annual budgets for Ca, K and Mg in two major geological regions in Québec: the Laurentians and the Appalachians. We also conducted a sensitivity study of element budgets using 3 production scenarios. When sap harvest (associated with maple syrup production) is added to wood harvest (associated with forest management), the Ca budget becomes negative in both regions, with a deficit of -1.7 to -1.0 kg Ca·ha⁻¹·yr⁻¹. The greatest Ca losses come from wood harvest activity in the maple stand. The effect of syrup production in itself is not negligible, but accounts for only about 9% of the losses. Sugar sand production accounts for almost 100% of Ca losses from syrup production. In a context of wood harvesting without maple syrup production, the Ca budget improves to almost zero in both regions. The K budget is negative only in the Laurentians. As for the Mg budget, it remains positive in both regions. An increase in maple syrup yield makes the Ca budget even more negative. Soil weathering rate remains the factor causing the greatest uncertainty in elemental budget calculations. The analyses confirm that in the long term, maple syrup production can reduce soil Ca reserves in both studied regions as well as soil K reserves in the Laurentians.*

Keywords: Appalachians, Laurentians, maple stand, maple syrup production, mineral elements, soil element budget

Ministère des Ressources naturelles et des Forêts
Direction de la recherche forestière
2700, rue Einstein
Québec (Québec) G1P 3W8
Téléphone : 418 643-7994
Télécopieur : 418 643-2165
Courriel : recherche.forestiery@mrnf.gouv.qc.ca
Site Web : recherche.forestiery.gouvernementale

1 Gouvernement du Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de l'Estrie, 5527, rue Frontenac, bureau 308, Lac-Mégantic (Québec) G6B 1H6
Correspondance : gabriel.weiss@mapaq.gouv.qc.ca

1. Introduction

Les besoins en éléments nutritifs de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall) sont bien documentés (Ouimet *et al.* 2013), tout comme les effets de l'appauvrissement des sols sur la vigueur de cette essence (Bal *et al.* 2015; Cleavitt *et al.* 2021; Ouimet *et al.* 2017). Si nous connaissons peu de l'effet du prélèvement de sève sur la croissance (Isselhardt *et al.* 2014; Ouimet *et al.* 2021) et la vigueur de l'érable à sucre (Gagnon *et al.* 1985), nous en savons encore moins au sujet des effets de la production acéricole sur la fertilité des sols.

Pour produire du sirop d'érable, on extrait des arbres de la sève qui contient de l'eau, des sucres, des minéraux, des antioxydants, des acides aminés, etc. (Garcia *et al.* 2020; Lagacé *et al.* 2019). Les minéraux qui se trouvent en plus grande proportion dans le sirop sont le calcium (Ca), le potassium (K) et le magnésium (Mg), qui tirent tous leur origine du sol.

Un des sous-produits de la production acéricole est la « râche », aussi appelée « pierre ou sable de sucre » (*sugar sand*), qui s'accumule dans les casseroles de l'évaporateur et qui est séparée du sirop lors de la filtration. Cette substance se forme lors de l'évaporation de la sève d'érable, par certaines réactions chimiques produisant des composés qui deviennent sursaturés et qui précipitent. La râche est constituée surtout de sels minéraux (Ca, Mg, K) et de sucres, le principal étant le malate de calcium (Warren 1911). Cependant, elle est rarement prise en compte dans le bilan de la production acéricole.

L'objectif de cette note est d'évaluer l'importance de la contribution de l'activité acéricole, y compris la production de râche, sur le bilan d'éléments nutritifs du sol dans les régions géologiques québécoises des Appalaches et des Laurentides. Nous posons l'hypothèse que l'exportation des minéraux par l'activité acéricole est non négligeable à long terme, mais qu'elle dépend en partie de la région géologique d'où le sol s'est formé.

2. Matériel et méthodes

2.1. Réserves, flux et bilan pédologique

Afin de calculer le bilan pédologique de l'activité acéricole, nous avons pris en compte les réserves et les flux suivants (figure 1) :

- Les réserves du sol, c'est-à-dire les réserves d'éléments échangeables du sol minéral (plus précisément, dans le solum²)
- Les flux d'entrée :
 - apports atmosphériques;
 - altération chimique des minéraux du sol.
- Les flux de sortie :
 - exportation par la récolte de sève pour la production de sirop et de râche (activité acéricole);
 - exportation par le prélèvement de troncs lors de la récolte de bois (aménagement forestier);
 - lessivage hors du solum.

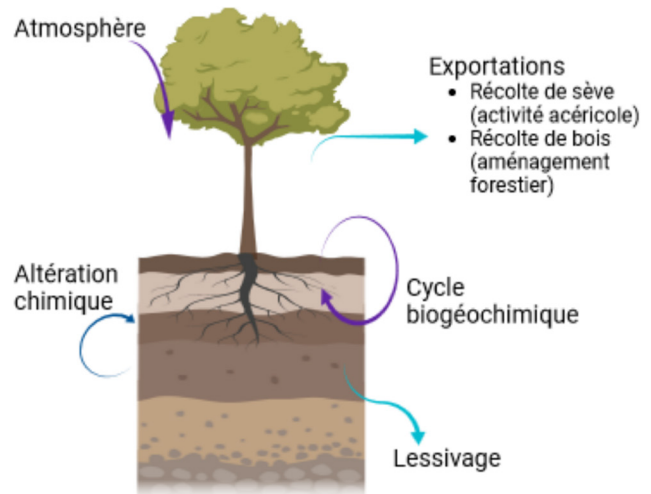


Figure 1. Flux d'éléments pris en compte dans le bilan pédologique.

² Le solum correspond à la partie supérieure d'un profil de sol la plus influencée par les agents atmosphériques et biotiques, et qui contient la plupart des racines des plantes, c'est-à-dire l'ensemble des horizons A et B.

Nous avons présumé que les réserves d'éléments dans l'humus étaient constantes et en équilibre avec les apports de litière et leur taux de minéralisation, et donc, que le cycle biologique des éléments minéraux entre les arbres et le sol était en état d'équilibre. En ce qui a trait aux exportations par la récolte de sève, nous avons seulement pris en compte les éléments dans le sirop et dans la râche obtenue lors de la filtration du sirop. Nous n'avons pas quantifié la pierre de sucre formée par la précipitation de sels organiques de Ca et de Mg contenus dans la sève, et qui, en y adhérant fortement, recouvre les parois métalliques des bassines des évaporateurs. Pour chacun des éléments étudiés (Ca, K et Mg), le bilan pédologique se calcule donc ainsi :

Bilan pédologique = flux d'entrée – flux de sortie

où *flux d'entrée = apports atmosphériques + altération chimique des éléments du sol*

flux de sortie = activité acéricole + aménagement forestier + lessivage

Le bilan et tous les flux sont exprimés en kilogrammes par hectare par an ($\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$).

2.2. Source des données

Le sirop d'érable a une composition moyenne (par 100 g) en Ca de 78,5 mg, en K de 240,4 mg et en Mg de 20,2 mg (FPAQ 2018). Le rendement provincial moyen en sirop est de 1,28 $\text{kg}\cdot\text{entaille}^{-1}$ (2,83 $\text{lb}\cdot\text{entaille}^{-1}$, moyenne des 10 dernières années; PPAQ 2021). Lorsqu'on exprime ce rendement en nombre d'entailles par unité de superficie (p. ex., 250 entailles $\cdot\text{ha}^{-1}$), on obtient un rendement moyen en sirop de 321 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}$ (707,5 $\text{lb}\cdot\text{ha}^{-1}$). Ces données permettent d'estimer la quantité de chaque minéral prélevée annuellement pour la production de sirop, et à partir de ces valeurs, de calculer le bilan pédologique de base.

Dans le cas de la râche, les calculs sont plus ardu, car il y a peu de littérature sur sa composition et surtout sur la quantité de râche produite lors de la fabrication du sirop. Celle-ci peut varier dans la saison, d'une saison à l'autre et même d'une érablière à l'autre (Gallander *et al.* 1967). Nous avons basé nos calculs sur une publication du Centre ACER (Arzate *et al.* 2013), dans laquelle on estime que la quantité de râche produite (et mesurée lors de la filtration du sirop seulement) peut représenter de 0 % à 2,63 % de la quantité de sirop produit. Nous avons considéré une moyenne de 1,31 % et une valeur maximale de 2,63 % dans nos calculs. Dans cette revue de

littérature, on peut constater que les teneurs en Ca, K et Mg de la râche varient aussi selon les études et la technique utilisée pour leur détermination. Nous avons retenu les concentrations de 18,57 % en Ca, de 1,47 % en K et de 0,47 % en Mg dans la râche (Davis *et al.* 1963) pour estimer l'exportation en minéraux attribuable à ce produit secondaire dans le bilan pédologique de base.

En production acéricole, on procède généralement à un aménagement acérico-forestier; il faut donc considérer aussi le prélèvement d'éléments minéraux découlant de la récolte de bois dans l'érablière. En moyenne, chaque 15 ans, les acériculteurs et acéricultrices peuvent extraire de l'érablière jusqu'à 5 $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ de surface terrière (Guillemette *et al.* 2013). Dans les bilans pédologiques, nous avons estimé la minéralomasse exportée par la coupe à l'aide du calculateur de biomasse et des nutriments (Paré *et al.* 2013), en supposant une surface terrière initiale de 25 $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ pour le peuplement et une récolte aux 15 ans de 5 $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ de surface terrière (1/3 $\text{m}^2\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$), constituée à 80 % d'érable à sucre, à 10 % de bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britton), à 5 % de sapin baumier (*Abies balsamea* (L.) Miller) et à 5 % de hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.).

Les valeurs des apports d'éléments minéraux provenant de l'atmosphère dans les érablières (soit 2,0 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de Ca, 0,4 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de K et 0,5 $\text{kg}\cdot\text{ha}^{-1}\cdot\text{an}^{-1}$ de Mg) proviennent de l'étude de Ouimet et Duchesne (2009). Ces apports comprennent les dépôts secs et humides absorbés par le couvert forestier. Quant aux apports d'éléments par l'altération chimique des minéraux du sol, nous avons utilisé le modèle PROFILE (Warfvingue et Sverdrup 1992) afin d'estimer des valeurs pour les stations d'érablières du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF) situées dans les Appalaches (n = 9) et celles situées dans les Laurentides (n = 9) (Ouimet *et al.* 2001). Ce modèle fournit aussi une estimation de la quantité d'éléments minéraux lessivés hors du profil de sol.

Les réserves de cations basiques disponibles (extraction au NH_4Cl 1N pendant 12 h) dans le solum ont été estimées à partir de profils de sol d'érablières dans les stations du RESEF (109 profils dans les Appalaches et 114 profils dans les Laurentides; Ouimet 2021). Nous avons calculé les quartiles Q1, Q2, Q3 (correspondant respectivement à 25 %, 50 % et 75 %) des valeurs des réserves de cations basiques dans les sols. Ces réserves ont ensuite été comparées aux flux d'éléments obtenus des bilans pédologiques.

2.3. Analyse de sensibilité

Nous avons procédé à une analyse de sensibilité du bilan pédologique aux variations des flux des éléments à l'étude. Comme première étape, nous avons évalué comment les bilans pédologiques du Ca, du Mg et du K variaient sous les 3 scénarios suivants :

- **Scénario 1 (de base)** : Production de 2,83 lb-entaille⁻¹ (1,28 kg-entaille⁻¹) de sirop, avec 1,31 % de räche;
- **Scénario 2** : Augmentation de la production de sirop pour passer de 2,83 lb-entaille⁻¹ (1,28 kg-entaille⁻¹) à 5 lb-entaille⁻¹ (2,26 kg-entaille⁻¹), avec une même production de räche (1,31 % du sirop);
- **Scénario 3** : Augmentation de la production de sirop pour passer de 2,83 lb-entaille⁻¹ (1,28 kg-entaille⁻¹) à 5 lb-entaille⁻¹ (2,26 kg-entaille⁻¹), avec une augmentation maximale de räche à 2,63 % du sirop;

Ensuite, nous avons évalué le bilan pédologique après avoir fait varier individuellement chacun des flux d'éléments de ± 50 % en gardant les autres flux constants, puis après avoir fait varier simultanément tous les flux d'éléments de ± 50 %. Pour ce faire, nous avons réalisé 10 000 simulations en échantillonnant au hasard les valeurs couvrant l'étendue de la variation de tous les flux.

Enfin, nous avons aussi comparé les bilans pédologiques scénarios 1 à 3 avec les réserves de cations basiques disponibles dans les sols des deux régions à l'étude (Appalaches et Laurentides).

3. Résultats

3.1. Réserves de cations échangeables des sols

Les réserves de cations échangeables des sols sont quantifiées au tableau 1. Les sols de la région des Appalaches ont de plus grandes réserves de K (+26 %) et de Mg (+40 %) échangeables que les sols de la région des Laurentides. La taille de la réserve de Ca échangeable, quant à elle, est similaire dans les sols des deux régions géologiques (médianes : 591 kg Ca·ha⁻¹ dans les Appalaches et 544 kg Ca·ha⁻¹ dans les Laurentides).

3.2. Flux et bilan pédologique sous le scénario de base

Dans le scénario 1 (de base), les apports de Ca dans le sol provenant des dépôts atmosphériques et de ceux du sol ne réussissent pas à combler les pertes subies par le lessivage, la récolte de bois et l'activité acéricole, et ce, dans les deux régions d'étude (figure 2, Ca). Le bilan pédologique en Ca est négatif, de l'ordre de $-1,7$ à $-1,0$ kg·ha⁻¹·an⁻¹. La perte de Ca la plus importante provient de la récolte de bois (68 % et 74 % des pertes dans les Appalaches et les Laurentides, respectivement). L'effet de l'activité acéricole elle-même est non négligeable, mais il représente seulement environ 9 % des pertes en Ca; la production de räche représente presque 100 % de cette quantité. En l'absence d'activité acéricole, mais en présence d'aménagement forestier, le bilan pédologique en Ca s'améliore et devient pratiquement nul dans les deux régions.

Encore dans le scénario de base, les apports de K dans le sol des Appalaches combleront largement les pertes subies par le lessivage, la récolte de bois et l'activité acéricole, en raison principalement du taux estimé d'altération des minéraux du sol. En revanche, dans les sols des Laurentides, les flux d'entrée de K sont relativement faibles, de sorte que le bilan pédologique en K y demeure négatif (de l'ordre de $-1,0$ kg·ha⁻¹·an⁻¹; figure 2, K). Comme pour le Ca, la perte de K la plus importante (90 % du total) provient de la récolte de bois. L'activité acéricole elle-même représente seulement environ 3 % des pertes, et la production de räche représente 89 % de cette quantité. En l'absence d'activité acéricole, mais en présence d'aménagement forestier, le bilan pédologique en K demeure négatif dans les sols des Laurentides.

Toujours dans le scénario de base, les apports de Mg dans le sol combleront largement les pertes subies par le lessivage, la récolte de bois et l'activité acéricole dans les deux régions, en raison principalement du taux estimé d'altération des minéraux du sol. Le bilan pédologique en Mg demeure toujours positif (de l'ordre de $+1,1$ à $+1,3$ kg·ha⁻¹·an⁻¹; figure 2, Mg). Dans la région des Appalaches, la perte de Mg la plus importante dans les sols provient principalement du lessivage (63 % des pertes), tandis que dans les sols des Laurentides, la principale cause des pertes de Mg est la récolte de bois (58 % des pertes). L'activité acéricole elle-même représente seulement de 2 à 3 % des pertes en Mg; la production de räche représente 97 % de cette quantité.

Tableau 1. Réserves d'éléments échangeables (Ca, K et Mg) et comparaison de celles-ci avec les bilans pédologiques, selon trois scénarios de production acéricole dans les régions des Appalaches et des Laurentides. Le scénario 1 correspond à celui de base (production de 2,83 lb-entaille⁻¹ en sirop, avec 1,31 % de räche); le scénario 2 correspond à l'augmentation de la production de sirop pour passer de 2,83 lb-entaille⁻¹ à 5 lb-entaille⁻¹, avec une même production de räche (1,31 %); le scénario 3 correspond à l'augmentation de la production de sirop pour passer de 2,83 lb-entaille⁻¹ à 5 lb-entaille⁻¹, avec une augmentation maximale de räche à 2,63 %. Q1, Q2, Q3 = quartiles correspondant respectivement à 25 %, 50 % et 75 % des sols dans les scénarios.

Scénario	Variable	Quartile	Appalaches			Laurentides		
			Ca	K	Mg	Ca	K	Mg
	Réserve d'éléments échangeables dans les sols (kg·ha ⁻¹)	Q1	247	85	33	351	63	28
		Q2	591	111	56	544	88	40
		Q3	1199	224	181	1081	133	77
Scénario 1 (de base)	Bilan pédologique sur 50 ans (kg·ha ⁻¹)		-87	+829	+65	-50	-52	+54
	Pourcentage de la réserve dans le sol	Q1	-35 %	+973 %	+196 %	-14 %	-82 %	+194 %
		Q2	-15 %	+745 %	+118 %	-9 %	-59 %	+136 %
		Q3	-7 %	+370 %	+36 %	-5 %	-39 %	+70 %
Scénario 2 (augmentation sirop)	Bilan pédologique sur 50 ans (kg·ha ⁻¹)		-117	+827	+65	-80	-54	+54
	Pourcentage de la réserve dans le sol	Q1	-47 %	+970 %	+193 %	-23 %	-87 %	+191 %
		Q2	-20 %	+743 %	+117 %	-15 %	-62 %	+134 %
		Q3	-10 %	+369 %	+36 %	-7 %	-41 %	+69 %
Scénario 3 (augmentation sirop et räche)	Bilan pédologique sur 50 ans (kg·ha ⁻¹)		-186	+821	+63	-149	-59	+52
	Pourcentage de la réserve dans le sol	Q1	-76 %	+963 %	+188 %	-42 %	-95 %	+185 %
		Q2	-32 %	+738 %	+113 %	-27 %	-68 %	+130 %
		Q3	-16 %	+366 %	+35 %	-14 %	-45 %	+67 %

3.3. Effets de l'augmentation de la production de sirop

L'augmentation de la production de sirop de 2,83 lb-entaille⁻¹ (scénario de base) à 5 lb-entaille⁻¹, que la production de räche reste à 1,31 % (scénario 2) ou qu'elle augmente à 2,63 % (scénario 3), rend encore plus négatif le bilan pédologique en Ca (figure 2). Ainsi, dans les Appalaches, celui-ci passe de -1,7 kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹ (scénario de base) à -2,3 kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹ sous le scénario 2 et à -3,7 kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹ sous le scénario 3. De même, dans les Laurentides, il passe de -1,0 kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹ (scénario de base) à -1,6 kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹ sous le scénario 2 et à -3,0 kg Ca·ha⁻¹·an⁻¹ scénario 3. Par contraste, les scénarios 2 et 3 ne causent pratiquement aucun changement dans les bilans pédologiques du K et du Mg dans les deux régions.

3.4. Effets à long terme sur les réserves du sol

À long terme, quelle importance prennent ces bilans pédologiques négatifs par rapport aux réserves d'éléments dans le sol? Pour répondre à cette question, nous avons comparé le cumul des bilans pédologiques sur 50 ans des scénarios 1 à 3 aux réserves d'éléments disponibles dans le sol. Le tableau 1 indique que sur une telle période, des pertes nettes de Ca des sols sont à prévoir dans les deux régions, et que selon le scénario, celles-ci représentent de 15 à 32 % des réserves de Ca disponible du sol dans les Appalaches, et de 9 à 27 % de celles dans les Laurentides (valeurs médianes [Q2]). Cependant, sur les sites plus pauvres (Q1, 25 % des sols), l'ampleur des pertes en Ca dans les sols sur 50 ans augmente jusqu'à atteindre de 35 à 76 % dans les Appalaches et de 14 à 42 % dans les Laurentides.

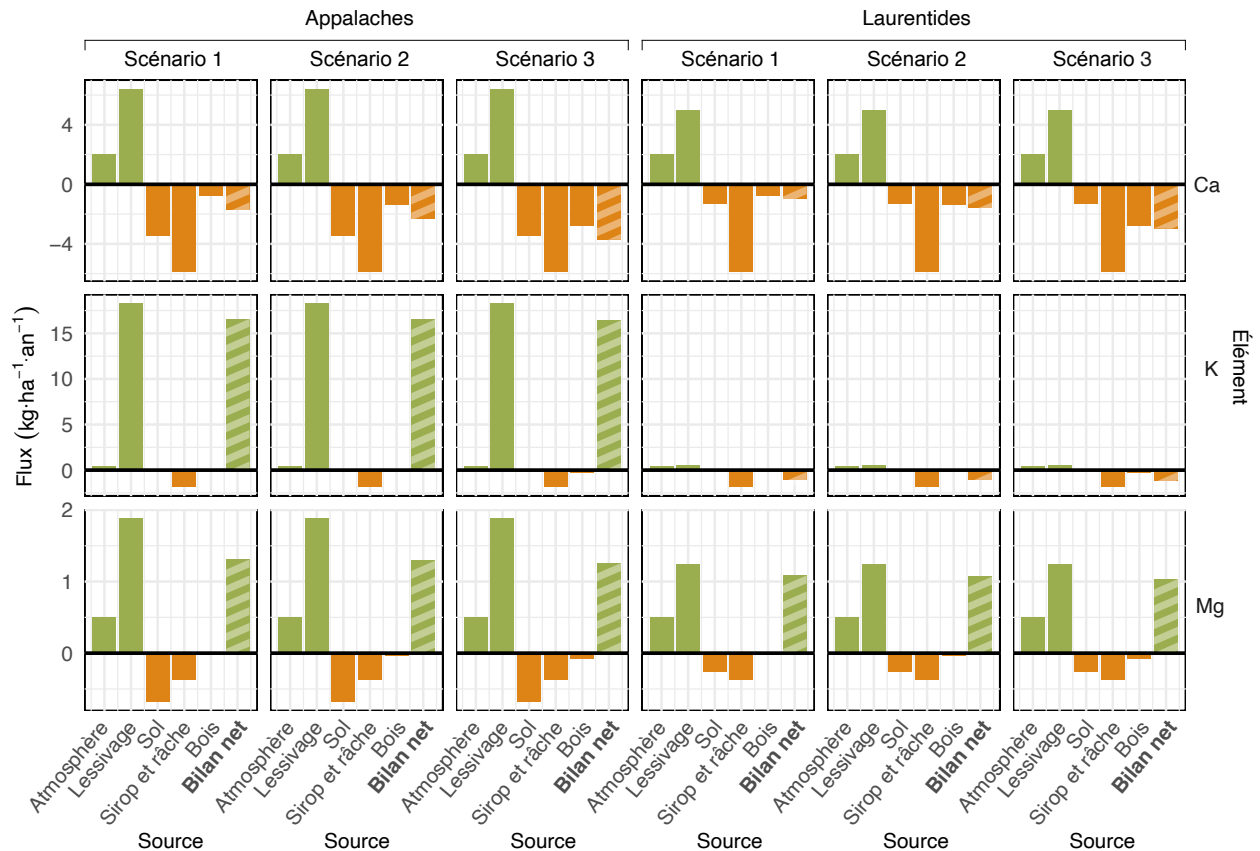


Figure 2. Flux et bilan pédologique (bilan net) dans des sols d'érablières des Appalaches et des Laurentides selon trois scénarios de production de sirop d'érable. Le scénario 1 correspond à celui de base (production de 2,83 lb-entaille⁻¹ en sirop, avec 1,31 % de râche); le scénario 2 correspond à l'augmentation de la production de sirop pour passer de 2,83 lb-entaille⁻¹ à 5 lb-entaille⁻¹, avec une même production de râche (1,31 %); le scénario 3 correspond à l'augmentation de la production de sirop pour passer de 2,83 lb-entaille⁻¹ à 5 lb-entaille⁻¹, avec une augmentation maximale de râche à 2,63 %. Les flux de l'atmosphère proviennent des dépôts atmosphériques, ceux du sol proviennent de l'altération des minéraux, ceux du bois proviennent de l'aménagement forestier et ceux de « sirop et râche » proviennent de l'activité acéricole. Le bilan net représente la somme de ces 5 flux.

À long terme, le sol devrait s'enrichir considérablement en K dans les Appalaches (gains médians de 738 à 745 %, selon le scénario), mais il devrait s'appauvrir significativement en cet élément dans les Laurentides (perte médiane de 59 à 68 %, selon le scénario). Quant au Mg, les sols des deux régions devraient en accumuler à long terme, puisque le bilan pédologique net demeure positif, quel que soit le scénario de production acéricole.

3.5. Analyse de la sensibilité des flux

Pour le Ca, la simulation consistant à faire varier individuellement de ±50 % chacun des flux en gardant les autres flux constants indique que le taux d'altération du sol est le flux entraînant la plus grande incertitude dans le calcul du bilan pédologique de cet élément (figure 3). L'exportation du Ca par la récolte de bois est le deuxième flux qui entraîne

le plus d'incertitude. En raison de l'incertitude causée par ces deux flux, le bilan pédologique moyen en Ca n'est pas significativement différent de zéro. Cette incertitude est évidemment plus grande lorsque l'on fait varier tous les flux simultanément.

Dans le cas du K, l'étude de sensibilité révèle que la variation de l'un ou l'autre flux ne modifie pas la tendance du bilan pédologique vers une accumulation nette dans les sols des Appalaches et vers une perte nette dans ceux des Laurentides. Les flux d'apport atmosphérique, d'activité acéricole, de lessivage, de récolte de bois et d'altération du sol ont donc tous un effet similaire sur le bilan du K du sol.

Quant au bilan pédologique en Mg, celui-ci se comporte de la même façon que celui en K, mais demeure toujours positif, quelle que soit la variation de l'un ou l'autre des flux dans les deux régions.

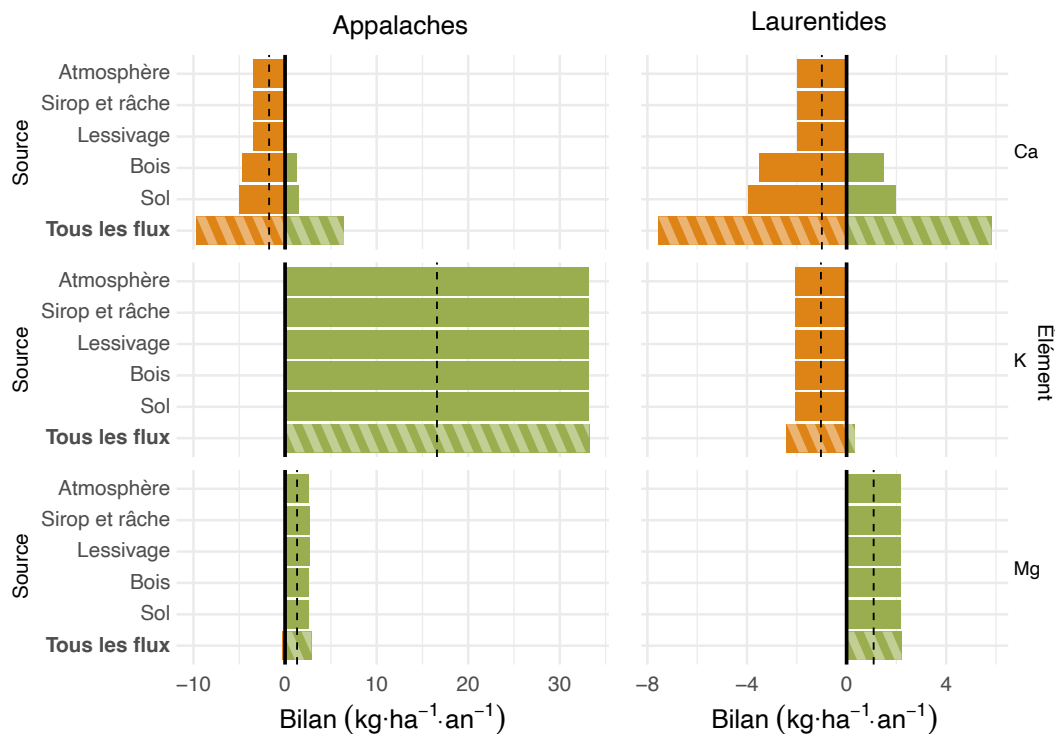


Figure 3. Résultats de la simulation de la variation de $\pm 50\%$ des flux d'éléments, pris individuellement et simultanément (« Tous les flux »), sur le bilan pédologique du Ca, du K et du Mg, dans les régions des Appalaches et des Laurentides. Les flux de l'atmosphère proviennent des dépôts atmosphériques, ceux du sol proviennent de l'altération des minéraux dans le sol, ceux du bois proviennent de l'aménagement forestier et ceux de « sirop et râche » proviennent de l'activité acéricole. Les lignes verticales pointillées indiquent la moyenne. Les barres horizontales de couleur représentent les valeurs maximales des simulations (en vert : bilan ≥ 0 ; en orange : bilan < 0).

4. Discussion

4.1. Effets de l'activité acéricole sur le bilan pédologique

La râche, bien qu'elle soit le produit de l'activité acéricole qui contient le plus de Ca, a souvent été négligée dans l'évaluation du bilan biogéochimique de cet élément. Cependant, selon notre analyse, sa production ne représente qu'une faible proportion des éléments minéraux exportés par l'activité acéricole. Les principales sorties d'éléments minéraux de l'érablière découlent des activités de récolte de bois associées à l'aménagement forestier.

Les résultats montrent que l'extraction de la sève pour la production de sirop et de râche contribue peu au déclin du bilan pédologique en éléments minéraux. Si l'on considère que l'aménagement acérico-forestier comprend de la récolte de bois en plus de la production de sirop, alors cette activité joue un rôle non négligeable sur le bilan pédologique à long terme, en particulier en ce qui a trait au Ca. Dans le scénario de base de production de sirop

(2,83 lb·entaille⁻¹), les pertes nettes de Ca des sols sur 50 ans (estimées à 50 kg·ha⁻¹ dans les Laurentides et à 87 kg·ha⁻¹ dans les Appalaches) pourraient être compensées par l'épandage d'environ 250 kg·ha⁻¹ de chaux agricole. Dans le scénario 2 (production de sirop augmentée à 5 lb·entaille⁻¹), les pertes nettes de Ca (estimées à 80 kg·ha⁻¹ dans les Laurentides et à 117 kg·ha⁻¹ dans Appalaches) pourraient être compensées par l'épandage d'environ 350 kg·ha⁻¹ de chaux agricole. Finalement, dans le scénario 3 (production de sirop augmentée à 5 lb·entaille⁻¹ et augmentation de la production de râche), les pertes nettes de Ca (149 kg·ha⁻¹ dans les Laurentides et à 186 kg·ha⁻¹ dans Appalaches) pourraient être compensées par l'épandage d'environ 550 kg·ha⁻¹ de chaux agricole.

L'analyse appuie donc notre hypothèse de départ que l'activité acéricole cause des exportations en Ca qui entraînent un bilan pédologique négatif à long terme. Le Ca est impliqué dans la division cellulaire. Il se trouve dans les parois cellulaires, et son rôle est principalement d'assurer l'intégrité des parois cellulaires de l'arbre. Cet élément est important pour le maintien du pH et de la structure du sol,

de même que pour la disponibilité des éléments nutritifs pour l'érable à sucre, qui est sensible à l'approvisionnement en Ca (Huggett *et al.* 2007).

En ce qui concerne le K, on constate que les prélèvements sont importants par rapport aux valeurs médianes des analyses du sol. Plus de 50 % du K disponible du sol est exporté sur une période de 50 ans dans les sols des Laurentides. Cet élément est très important pour la photosynthèse et la résistance aux sécheresses (Garrec *et al.* 1991). Il est nécessaire entre autres à l'endurcissement au froid et il participe au mécanisme d'ouverture et de fermeture des stomates qui régulent la photosynthèse, l'évapotranspiration et la perte d'eau de la plante. Le K est un élément négligé que l'on devrait surveiller davantage dans les érablières du Québec. L'activité acéricole pourrait aggraver le dépérissement des arbres en raison des sols pauvres en Ca et K. De plus, des érablières ou des secteurs d'érablière qui sont exploités depuis plusieurs décennies pourraient avoir des sols carencés en ces minéraux.

Quant au Mg, les activités acéricoles ne semblent pas poser un problème sur le bilan pédologique à long terme de cet élément.

4.2. Incertitude associée à l'analyse

Dans l'analyse de sensibilité, nous avons appliqué un taux de variation de ± 50 % à tous les flux. La plupart, sinon toutes les méthodes employées pour estimer les flux dans le sol ont une précision de cet ordre de grandeur (Hodson et Langan 1999; Jönsson *et al.* 1995; Yanai *et al.* 2010). En prenant en compte cette variation, les bilans pédologiques en éléments minéraux sont plus variables, du moins en ce qui concerne le Ca. Le bilan pédologique en Ca du sol dépend principalement de son approvisionnement par l'altération des minéraux et de son contenu dans la biomasse forestière exploitée par l'aménagement de l'érablière. Cela explique l'importance d'évaluer le statut du sol en Ca, car celui-ci peut varier énormément d'une érablière à l'autre, que l'on se trouve dans les Appalaches ou dans les Laurentides. L'application DELFES (Diagnostic des éléments limitatifs dans le feuillage et le sol; Ouimet *et al.* 2012) est utile pour faire ce diagnostic à partir d'analyses du feuillage ou du sol.

Une autre source d'incertitude est la production de râche et de pierre de sucre. Dans nos analyses, en raison de l'absence de chiffres à ce sujet, nous n'avons pas pris en compte la production de pierre de sucre qui s'accumule sur les parois des évaporateurs. On peut donc considérer que notre évaluation des exportations de minéraux associées à la

production de sirop était conservatrice. Les bilans pédologiques en éléments minéraux sont donc conservateurs, eux aussi.

Une dernière source d'incertitude non négligeable est le fait que la concentration en éléments minéraux dans le sirop et sa production dépendent en partie de la fertilité du sol en ces éléments minéraux (Moore *et al.* 2020; Wild et Yanai 2015). Des bilans plus précis en éléments minéraux pourraient être réalisés avec des analyses régionales (plutôt que provinciales) de la composition de la sève (ou du sirop) et des sols.

5. Conclusion

Nous avons utilisé l'approche des bilans pédologiques pour évaluer à quel point l'activité acéricole contribue au bilan d'éléments nutritifs du sol. L'analyse de plusieurs scénarios de production de sirop et de râche révèle que l'exportation des minéraux par l'activité acéricole et l'aménagement forestier est non négligeable à long terme dans les sols des régions des Appalaches et des Laurentides. Selon les scénarios, une perte nette du Ca des sols pouvant varier de 9 à 32 % (valeurs médianes) sur 50 ans est à prévoir dans ces deux régions, à laquelle s'ajoute une perte nette médiane de 59 à 68 % du K des sols sur la même période dans les Laurentides. Quant au Mg, son bilan pédologique demeure positif dans les deux régions, quel que soit le scénario de production acéricole. À la lumière de ces résultats, nous recommandons d'effectuer un suivi du statut nutritif des érablières sous aménagement acéricole tous les 10 ou 20 ans afin de diagnostiquer les carences éventuelles en Ca et K.

Remerciements

Cette publication est une contribution du projet 142332065 (suivi du RESEF) à la Direction de la recherche forestière du ministère des Ressources naturelles et des Forêts du Québec. Les auteurs tiennent à remercier M. François Marquis pour ses commentaires judicieux sur une version préliminaire du document, M. Steve Bédard qui a été responsable de la révision scientifique, les deux réviseurs anonymes pour leurs commentaires constructifs, M^{me} Denise Tousignant, M^{me} Maude-Emmanuelle Hajjaj et M^{me} Armelle Ginet pour l'édition de cette note de recherche forestière, de même que Stéphanie Rivet (Pulsation graphique) pour le graphisme.

Références bibliographiques

- Arzate, A., S. Robaire et A. Batungwanayo, 2013. *L'entartrage dans les échangeurs de chaleur dans l'industrie alimentaire : problématique acéricole*. Centre ACER. Saint-Norbert d'Arthabaska, Québec. Revue de littérature. Publication n° 4010052-RVL-0813. 51 p. [http://gestion.centreacer.qc.ca/fr/UserFiles/publications/Rapport%20Final%204010052%20VF2%20\(ao%C3%BBt%202013\).pdf](http://gestion.centreacer.qc.ca/fr/UserFiles/publications/Rapport%20Final%204010052%20VF2%20(ao%C3%BBt%202013).pdf)
- Bal, T.L., A.J. Storer, M.F. Jurgensen, P.V. Doskey et M.C. Amacher, 2015. *Nutrient stress predisposes and contributes to sugar maple dieback across its northern range : A review*. *Forestry* 88(1) : 64-83. <http://dx.doi.org/10.1093/forestry/cpu051>
- Cleavitt, N.L., J.J. Battles, T.J. Fahey et N.S. van Doorn, 2021. *Disruption of the competitive balance between foundational tree species by interacting stressors in a temperate deciduous forest*. *J. Ecol.* 109 : 2754-2768. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13687>.
- Davis, D.R., J.F. Gallander, J. HacsKaylo, W.A. Gould et C.O. Willits, 1963. *The chemical composition of maple sugar sand*. *J. Food Sci.* 28 : 182-190. <https://doi.org/10.1111/j.1365-2621.1963.tb00180.x>
- [FPAQ] Fédération des producteurs acéricoles du Québec, 2018. *Sirop d'érable du Québec*. Description technique. 9 p.
- Gagnon, G., L. Robitaille, G. Roy, C. Gravel, C. Paradis, R. Picher et C. Bordeleau, 1985. « Le dépérissement des érablières au Québec ». Dans : Compte rendu de l'Assemblée annuelle de l'Institut International du Sirop d'Érable. 23 septembre 1985. Mont-Orford, Québec. 13 p.
- Gallander, J.F., J. HacsKaylo, W.A. Gould et C.O. Willits, 1967. *Environmental and chemical factors associated with maple sugar sand formation*. Ohio Agricultural Research and Development Center, Wooster, OH (États-Unis). Research Bulletin n° 999. 18 p. https://kb.osu.edu/bitstream/handle/1811/62806/OARDC_research_bulletin_n0999.pdf?sequence=1&isAllowed=y
- Garcia, E.J., T. McDowell, C. Ketola, M. Jennings, J.D. Miller et J.B. Renaud, 2020. *Metabolomics reveals chemical changes in Acer saccharum sap over a maple syrup production season*. *PLoS ONE* 15(8) : e0235787. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0235787>
- Garrec, J.P., E. Laitat, I. Richardin et C. Rose, 1991. *Dépérissement forestier et perturbations minérales aux niveaux histologique et cellulaire dans les aiguilles de Picea abies L. Étude par micro-analyse X*. *Ann. For. Sci.* 48(3) : 321-332. <http://dx.doi.org/10.1051/forest:19910307>
- Guillemette, F., M.-M. Gauthier, M.-C. Lambert et S. Bédard, 2013. *Effets réels décennaux des coupes de jardinage pratiquées de 1995 à 1999 dans un contexte opérationnel*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 168. Québec. 34 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire168.pdf>
- Hodson, M.E et S.J. Langan, 1999. *Considerations of uncertainty in setting critical loads of acidity of soils : The role of weathering rate determination*. *Environ. Pollut.* 106 : 73-81. [https://doi.org/10.1016/S0269-7491\(99\)00058-5](https://doi.org/10.1016/S0269-7491(99)00058-5)
- Huggett, B.A., P.G. Schaberg, G.J. Hawley et C. Eagar, 2007. *Long-term calcium addition increases growth release, wound closure, and health of sugar maple (Acer saccharum) trees at the Hubbard Brook Experimental Forest*. *Can. J. For. Res.* 37(9) : 1692-1700. <https://doi.org/10.1139/X07-042>.
- Isselhardt, M.L., T.D. Perkinset A.K. vandenBerg, 2014. *Does sugar removal impact trees? A complex question to answer*. *Maple Syrup Dig.* 26A(3) : 6-9. <https://mapleresearch.org/wp-content/uploads/1014tappingimpacttrees.pdf>
- Jönsson, C., P. Warfvinge et H. Sverdrup, 1995. *Uncertainty in predicting weathering rate and environmental stress factors with the PROFILE model*. *Water, Air, Soil Pollut* 81 : 1-23. <https://doi.org/10.1007/BF00477253>
- Lagacé, L., M. Camara, N. Martin, F. Ali, J. Houde, S. Corriveau et M. Sadiki, 2019. *Effect of the new high vacuum technology on the chemical composition of maple sap and syrup*. *Heliyon* 5(6) : e01786. <https://doi.org/10.1016/j.heliyon.2019.e01786>
- Moore, J.-D., L. Duchesne, R. Ouimet et M.-L. Deschênes, 2020. *Liming improves sap characteristics of sugar maple over the long term*. *For. Ecol. Manage.* 464 : 118044. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2020.118044>

- Ouimet, R., 2021. *Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF)*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Base de données.
- Ouimet, R. et L. Duchesne, 2009. *Dépôts atmosphériques dans les forêts au Québec : retombées actuelles en forêt et tendances au cours des 20 à 30 dernières années*. Nat. Can. 133(1) : 56-64. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Nat-can-133-56-64.pdf>
- Ouimet, R., L. Duchesne, D. Houle et P.A. Arp, 2001. *Critical loads and exceedances of acid deposition and associated forest growth in the northern hardwood and boreal coniferous forests in Québec, Canada*. Water, Air, Soil Pollut. : Focus 1(1-2) : 119-134. <http://dx.doi.org/10.1023/A:1011544325004>
- Ouimet, R., J.-D. Moore et L. Duchesne, 2012. *DELVES : diagnostic des éléments limitatifs selon le feuillage de l'érable à sucre et le sol*. Version 1.3. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/delves-diagnostic-elements-limitatifs-feuillage-erable-sucre-sol-v1-3/>
- Ouimet, R., J.-D. Moore et L. Duchesne, 2013. *Soil thresholds update for diagnosing foliar calcium, potassium, or phosphorus deficiency of sugar maple*. Comm. Soil Sci. Plant Anal. 44(16) : 2408–2427. <https://doi.org/10.1080/00103624.2013.803563>
- Ouimet, R., L. Duchesne et J.-D. Moore, 2017. *Response of northern hardwoods to experimental soil acidification and alkalisation after 20 years*. For. Ecol. Manage. 400 : 600-606. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2017.06.051>
- Ouimet, R., F. Guillemette, L. Duchesne et J.-D. Moore, 2021. *Effect of tapping for syrup production on sugar maple tree growth in the Quebec Appalachians*. Trees 35(1) : 1-13. <https://doi.org/10.1007/s00468-020-02001-x>
- Paré, D., P. Bernier, B. Lafleur, B.D. Titus, E. Thiffault, D.G. Maynard et X. Guo, 2013. *Estimating stand-scale biomass, nutrient contents, and associated uncertainties for tree species of Canadian forests*. Can. J. For. Res. 43(7) : 599-608. <https://doi.org/10.1139/cjfr-2012-0454>
- [PPAQ] Producteurs et productrices acéricoles du Québec, 2021. *Statistiques acéricoles 2020*. Producteurs et productrices acéricoles du Québec. Longueuil, Québec. 3 p.
- Warfvingue, P. et H. Sverdrup, 1992. *Calculating critical loads of acid deposition with PROFILE - a steady-state soil chemistry model*. Water, Air, Soil Pollut. 63 : 119-143. <https://doi.org/10.1007/BF00475626>
- Warren, W.H., 1911. "Sugar sand" from maple sap : A source of malic acid. J. Am. Chem. Soc. 33(7) : 1205-1211. <https://doi.org/10.1021/ja02220a024>
- Wild, A.D. et R.D. Yanai, 2015. *Soil nutrients affect sweetness of sugar maple sap*. For. Ecol. Manage. 341 : 30-36. <http://dx.doi.org/10.1016/j.foreco.2014.12.022>
- Yanai, R. D., J.J. Battles, A.D. Richardson, C.A. Blodgett, D.M. Wood et E.B. Rastetter, 2010. *Estimating uncertainty in ecosystem budget calculations*. Ecosystems 13(2):239-248. <http://dx.doi.org/10.1007/s10021-010-9315-8>

La Direction de la recherche forestière a pour mandat de participer activement à l'orientation de la recherche et à l'amélioration de la pratique forestière au Québec, dans un contexte d'aménagement forestier durable, en réalisant des travaux de recherche scientifique appliquée. Elle développe de nouvelles connaissances, du savoir-faire et du matériel biologique et contribue à leur diffusion ou leur intégration au domaine de la pratique. Elle subventionne aussi des recherches en milieu universitaire, le plus souvent dans des créneaux complémentaires à ses propres travaux.

On peut citer ce texte en indiquant la référence.

Citation recommandée :

Ouimet, R. et G. L. D. Weiss, 2024. *Quels sont les effets de la production acéricole sur la fertilité du sol?* Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 161, 12 p.

ISSN 0834-4833

ISBN (PDF): 978-2-550-97142-9

G.F.D.C.: 114.52 284.4 (714)

L.C.: SB239.M3 SD397.S775 SD592.53

Dépôt légal 2024

Bibliothèque nationale du Québec

© 2024 Gouvernement du Québec

**Ressources naturelles
et Forêts**

Québec 