

Rentabilité financière du chaulage des érablières : étude de cas

Rock Ouimet¹, Alexis Leroux², Louis Duchesne¹, Jean-David Moore¹

Résumé

Une étude de cas a été réalisée afin de déterminer si un traitement de chaulage dans les érablières de faible vigueur de la région de Québec est justifié d'un point de vue financier pour un producteur privé de bois d'œuvre ou de sirop d'érable. À cet effet, nous avons utilisé le modèle de croissance SaMARE pour simuler l'effet bénéfique d'un traitement de chaulage appliqué à 0 et à 50 ans dans une érablière de faible vigueur, et comparé son évolution théorique sur 100 ans à celle du même peuplement en l'absence de chaulage (témoin). Nous avons évalué deux scénarios d'aménagement (sylvicole : production de bois, et acéricole : production de sirop d'érable), en utilisant la différence de valeur actuelle nette (dollars constants de 2016) entre le peuplement témoin et le peuplement chaulé comme critère d'évaluation de la rentabilité du traitement de chaulage dans chaque scénario.

En production sylvicole, le traitement de chaulage est déficitaire sur 100 ans, sauf lorsque le taux d'actualisation est nul; à un taux d'actualisation de 4 %, le déficit sur 100 ans varie de (391) à (451) \$·ha⁻¹ selon le prix des bois. En production acéricole, le traitement de chaulage est rentable tant à court (20 ans) qu'à long terme : au taux d'actualisation de 4 %, le bénéfice net sur 100 ans varie de 837 à 1 813 \$·ha⁻¹ (moyenne : 1 325 \$·ha⁻¹) selon le prix du sirop d'érable. Cette analyse devra toutefois être réalisée pour d'autres érablières afin de dresser un portrait de la rentabilité financière du chaulage qui soit généralisable à plus grande échelle et adapté aux différentes régions.

Mots-clés : acériculture, chaulage, économie, érablière, sylviculture

Abstract

A case study was conducted to determine whether a liming treatment in low-vigor maple forests in the Québec city region was justified from a financial perspective for a private producer of lumber or maple syrup. To this end, we used the SaMARE growth model to simulate the beneficial effects of a liming treatment applied at years 0 and 50 on the 100-year evolution of a low-vigor maple forest. We then compared the limed stand's theoretical evolution to that of the same stand without liming (control). We analyzed two production scenarios: lumber and maple syrup, both with and without liming. The difference in net present value between the untreated control and the liming treatment (in constant dollars of 2016) was used to measure the liming treatment's economic value under each scenario.

For lumber production, liming was unprofitable over 100 years, except when the discount rate was set to 0; at a discount rate of 4%, liming led to a deficit of (391) to (451) \$·ha⁻¹, depending on timber pricing. For maple syrup production, liming was profitable both in the short term (20 years) and in the long term; it generates a net profit of 837 to 1 813 \$·ha⁻¹ (mean: 1 325 \$·ha⁻¹) at a discount rate of 4%, depending on maple syrup prices. More maple stands should be analyzed before the economic value of liming can be outlined in a manner that can be generalized at a larger scale and be adapted to other regions.

Keywords: economy, liming, maple syrup production, silviculture, sugarbush

¹ Direction de la recherche forestière

² Bureau de mise en marché des bois, 5700, 4^e Avenue Ouest, bureau A. 204, Québec (Québec) G1H 6R1

Correspondance : rock.ouimet@mffp.gouv.qc.ca



1. Introduction

L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marsh.) est une essence relativement exigeante en éléments nutritifs, principalement en calcium (Ca; Long et al. 2011, Moore et al. 2012). D'ailleurs, des travaux de recherche réalisés au cours des dernières années sur le dépérissement des érablières dans le nord-est de l'Amérique du Nord ont montré que les faibles concentrations en Ca de certains sols étaient l'une des principales causes de la réduction de croissance et du dépérissement observés chez cette essence (Bailey et al. 2004, Duchesne et al. 2002, Long et al. 2009, Moore et Ouimet 2006). Or, depuis quelques décennies, on observe une baisse de la disponibilité des cations basiques, particulièrement le Ca, dans les sols acides et pauvres en bases dans cette région (Houle et al. 1997, Lawrence et Huntington 1999). Les précipitations acides jouent un rôle majeur dans cette baisse de fertilité (Huntington et al. 2000). De plus, les apports atmosphériques en Ca ont passablement diminué depuis la mise en place de mesures de contrôle des émissions de polluants atmosphériques dans les années 1990. Au Québec, les apports en Ca en provenance de l'atmosphère sont relativement faibles ($\sim 2 \text{ kg} \cdot \text{ha}^{-1} \cdot \text{an}^{-1}$) (Ouimet et Duchesne 2009).

Parallèlement à ces observations, plusieurs érablières au Québec subissent actuellement des changements de structure et de composition à la suite des problèmes de régénération de l'érable à sucre et de l'envahissement par le hêtre à grandes feuilles (*Fagus grandifolia* Ehrh.) (DRF 2017, Duchesne et al. 2005, Duchesne et Ouimet 2008, 2009). Renverser ces changements représente un défi de taille pour assurer la représentativité de l'érable à sucre dans plusieurs écosystèmes aux sols acidifiés. Le lessivage des cations basiques et l'acidification des sols provoqués par les dépôts acides, combinés au dépérissement de l'érable à sucre, seraient les principaux facteurs à l'origine de ces changements sur les stations acides et peu fertiles (Duchesne et al. 2002, Jenkins 1997). Il a été démontré que la diminution du Ca dans le sol des érablières et son influence sur la régénération peuvent provoquer une diminution marquée de la dominance de l'érable à sucre dans le couvert forestier au profit du hêtre, et ce, à l'intérieur d'une seule rotation (Duchesne et Ouimet 2009, Kobe et al. 2002). Le fait que le hêtre à grandes feuilles soit avantagé par rapport à l'érable à sucre dans les sols acidifiés (Ouimet et al. 2017) crée une situation préoccupante autant pour le producteur forestier

que pour l'acériculteur, puisque la valeur du hêtre est beaucoup plus faible que celle de l'érable à sucre.

1.1. Le chaulage comme traitement sylvicole

Dans ce contexte, plusieurs expériences ont été initiées au cours des dernières décennies pour corriger les problèmes d'acidité et de carences en Ca, en magnésium ou en potassium dans les sols des érablières du nord-est de l'Amérique du Nord. Les résultats de ces travaux montrent que le chaulage améliore nettement la vitalité de l'érable à sucre en régénération et à maturité (Long et al. 1997, Moore et al. 2008, Moore et al. 2012, Ouimet et Fortin 1992, Ouimet et al. 2008, Perkins et al. 2004a, Wilmot et al. 1996). De plus, la réaction positive de l'érable à sucre après l'ajout de minéraux limitatifs dans ces études reste mesurable au moins 23 ans après l'application (Long et al. 2011, Moore et al. 2012, Ouimet et al. 2017). Cela démontre l'efficacité à long terme du traitement. Ultimement, en revigorant ainsi les érablières en dépérissement, ce traitement permet de conserver la représentativité de l'érable à sucre dans les érablières croissant sur des sites acides et pauvres en minéraux.

Malgré les connaissances acquises sur l'efficacité d'amender les érablières peu fertiles et la popularité que connaît le chaulage dans les érablières sur terres privées vouées à l'acériculture, aucune étude n'a encore permis d'évaluer la rentabilité financière de ce traitement dans une érablière qui subit du dépérissement. Nous avons donc réalisé une étude de cas pour évaluer la rentabilité financière du chaulage pour un producteur forestier privé au Québec dans deux contextes différents : celui de la production de bois (scénario sylvicole) et celui de la production de sirop (scénario acéricole).

2. Matériel et méthode

2.1. Site d'étude

Le site d'étude est la station n° 301 du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers (RÉSEF), située dans la forêt expérimentale de Duchesnay, à environ 50 km au nord-ouest de la Ville de Québec (Périé et al. 2006). C'est une parcelle de 0,5 ha située dans une érablière de structure inéquienne et composée d'érables à sucre, de hêtres à grandes feuilles et de bouleaux jaunes

(*Betula alleghaniensis* Britt.). L'érable y montre des symptômes de dépérissement, et le hêtre y est de plus en plus présent. L'érablière a été inventoriée tous les 5 ans de 1986 à 2011 (dernières données validées) ainsi qu'en 1989. L'humus est de type mor-moder. Le sol, pauvre, loameux-sableux, très rocailleux et modérément bien drainé, est un Podzol ferro-humique ou humo-ferrique dérivé de till glaciaire de lithologie granito-gneissique de l'Archéen. Il appartient à la série de sol Sainte-Agathe (Raymond et al. 1976) qui couvre la majeure partie du territoire des Basses-Laurentides. D'après les analyses foliaires et de sols effectuées et selon Ouimet et al. (2013), l'acidité du sol (saturation en Ca de l'horizon B du sol) et la faible teneur du feuillage en Ca (indice DRIS foliaire en Ca) limitent la croissance, la vigueur et la régénération de l'érable à sucre dans cette station (tableau 1). Celle-ci est située à proximité du dispositif expérimental de chaulage établi en 1994 par la Direction de la recherche forestière (Moore et al. 2012), qui a servi à comparer l'effet de différentes doses de chaux sur l'érable à sucre. Il possède les mêmes conditions édaphiques et climatiques (lat. 46° 57' N., long. 71° 40' O.; altitude : 285 m; précipitations annuelles : 1 300 mm; température moyenne annuelle : 2,5 °C).

2.2. Simulations

Nous avons utilisé le modèle SaMARE (Fortin et al. 2009a), version 2014, pour simuler l'effet bénéfique d'un traitement de chaulage appliqué dans cette érablière de faible vigueur et comparer son évolution théorique sur 100 ans à celle de ce même peuplement en l'absence de chaulage. SaMARE est un modèle de croissance des érablières au Québec. Étaloné à partir des données des dispositifs

expérimentaux de jardinage de la Direction de la recherche forestière du ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (MFFP), il permet de simuler les taux de mortalité, d'accroissement et de recrutement de l'érable à sucre, du bouleau jaune, du hêtre à grandes feuilles et des autres essences que l'on trouve dans les érablières à structure inéquienne du Québec méridional. La méthode suivie pour simuler l'évolution du peuplement après chaulage ou sans chaulage est décrite ci-dessous.

2.2.1 Traitement de chaulage

Les données employées pour cette simulation dans SaMARE sont 1) la liste des arbres de la station dont le diamètre était de plus de 9 cm au premier mesurage (1986), 2) l'espèce et 3) la classification de la vigueur de la tige pour la confection des produits du bois d'œuvre ou de la pâte (indices de vigueur de 1 à 4; Majcen et al. 1990). L'indice de vigueur influence particulièrement le taux de mortalité (Guillemette et al. 2008), l'accroissement diamétral ainsi que l'évolution de la vigueur des arbres (Fortin et al. 2009b). Le classement de la vigueur des tiges de la station n° 301 en 1986 s'est fait sur la base des défauts observés sur chacune d'elles en 1989 : les tiges sans défaut apparent se trouvaient dans la classe 1 (arbre vigoureux, avec potentiel de sciage), celles ayant de 1 à 3 défauts, dans la classe 3 (arbre non vigoureux, avec potentiel de sciage), et les autres (4 défauts ou plus), dans la classe 4 (arbre non vigoureux, sans potentiel de sciage). Aucune tige n'a été classée 2 (arbre vigoureux, sans potentiel de sciage) en raison de la rareté de cette catégorie dans les érablières et de la difficulté subséquente de prévoir son volume en sciage ou en pâte (Fortin et al. 2009b).

Tableau 1. Concentrations et indice DRIS* du feuillage des érables à sucre (1986) et indicateurs de fertilité du sol (1991) de la station n° 301. Les valeurs en gras sont celles des éléments nutritifs limitants pour l'érable à sucre (valeurs sous les normes de croissance optimale pour l'espèce, d'après DELFES, Ouimet et al. 2013).

Feuillage (1986)					
	Azote (N)	Phosphore (P)	Potassium (K)	Calcium (Ca)	Magnésium (Mg)
Concentration (g·kg ⁻¹)	23,17	1,51	9,60	4,46	0,78
Indice DRIS	32	16	13	-50	-11
Sol (1991)					
	pH _{CaCl2}	Saturation en Ca (%)	Saturation en Mg (%)	Ca/Mg	K/Mg
Humus	3,13	44,5	5,9	4,5	0,83
Horizon B	3,72	8,5	1,8	4,8	1,12

* DRIS : Diagnosis and Recommendation Integrated System.

Nous avons fait 1 000 simulations de cette évolution et synthétisé les résultats en un portrait moyen de la station après 25 ans et jusqu'à 100 ans plus tard. Ainsi, le traitement de chaulage est présumé avoir au moins comme effet de rendre l'évolution du peuplement comparable à celle que l'on rencontre généralement dans les érablières dans le Québec méridional.

2.2.2 Témoin sans chaulage

Nous avons aussi fait 1 000 simulations de l'évolution du peuplement témoin (sans chaulage) avec le modèle SaMARE. Les résultats ont été synthétisés en un portrait moyen de la station après 25 ans et jusqu'à 100 ans. Cependant, après de nombreux tests préliminaires, nous avons modifié le modèle afin de mieux simuler l'envahissement par le hêtre en intervertissant les valeurs des paramètres de l'érable à sucre et du hêtre dans ses sous-modèles de recrutement, de croissance et de mortalité. Ce modèle « SaMARE modifié » a été validé par une comparaison avec les données quinquennales observées sur le terrain de 1986 à 2011 à la station n° 301.

2.3. Scénarios analysés

Dans le cadre de cette étude, nous avons analysé la rentabilité financière du chaulage sur 100 ans selon 2 scénarios d'aménagement :

- 1) Scénario sylvicole (production de bois) :** coupe jardinatoire d'amélioration à intervalles de 25 ans ($t = 25, 50, 75$ et 100 ans) tout en conservant $20 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$ dans le peuplement résiduel après la coupe, avec l'application ou non de chaux à $t = 0$ et 50 ans.
- 2) Scénario acéricole (production de sirop) :** aucun coût ni revenu provenant de la production ligneuse. Le peuplement évolue sur 100 ans selon les paramètres de SaMARE (chaulé) ou SaMARE modifié (sans chaulage). Ici encore, dans le traitement avec chaulage, nous avons présumé que le chaulage était effectué à $t = 0$ et 50 ans. Nous avons également analysé la rentabilité financière de ce scénario d'aménagement sur 20 ans.

La période de rotation et le taux de prélèvement ont été choisis en fonction des connaissances actuelles sur le jardinage dans les érablières. Selon Guillemette et Bédard (2006), pour stimuler l'accroissement et la production de bois de qualité, la surface terrière résiduelle devrait se situer aux environs de 18 à $20 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$. Pour maximiser la production de bois,

il est préférable d'intervenir avant que la surface terrière excède 23 à $27 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$, afin d'éviter une baisse d'accroissement annuel net provoquée par l'augmentation de la mortalité. Même s'il est généralement recommandé d'intervenir sur des rotations assez courtes (aux 15 ans environ) pour récolter les tiges mortes éventuelles, nous avons opté pour une période de rotation de 25 ans afin de pouvoir récolter un volume plus grand à chaque rotation et ainsi de mieux rentabiliser les opérations. De telles modalités de jardinage sont réalistes, puisqu'elles ont été appliquées avec succès depuis plus de 20 ans au Québec. Dans les érablières, la plupart des agences de mise en valeur de la forêt privée au Québec recommandent généralement de prélever de 15 à 20% de la surface terrière, en comptant les chemins de débardage, avec un maximum de $8 \text{ m}^2\cdot\text{ha}^{-1}$. Par ailleurs, les modalités de récolte doivent respecter les réglementations des municipalités régionales de comté, des agglomérations et des communautés métropolitaines au Québec.

L'intervalle entre les deux applications de chaux a été fixé à 50 ans, sur la base des connaissances actuelles de la réaction des érables à sucre et du sol à ce traitement. Les plus vieux dispositifs de chaulage en forêt sont âgés d'une vingtaine d'années et montrent toujours des effets persistants sur le statut nutritif et la croissance des érables (Long et al. 2015, Ouimet et al. 2017). De même, les changements survenus dans le sol sont encore notables (Moore et al. 2012), ce qui laisse croire que l'effet de ce traitement sera de longue durée.

2.4. Production et valeur des bois

Dans le scénario sylvicole, le volume de chaque grade de qualité des billes des tiges de feuillus a été calculé par SaMARE. Le module de SaMARE utilise les grades de billes de sciage conventionnel adaptés de Petro et Calvert (1976), ainsi qu'un grade de billon (sciage non conventionnel) et un grade de déroulage (Der). Selon les essences considérées, SaMARE reconnaît un grade de déroulage, quatre grades de sciage (F1, F2, F3 et F4) ainsi qu'un grade de pâte (P). Le grade Der correspond à la norme de classification des billes de qualité A pour les essences feuillues (BMMB 2016). Il s'applique seulement au bouleau jaune (BOJ), au bouleau à papier (BOP) et au chêne rouge (CHR). Le grade F4 correspond au sciage non conventionnel, pour lequel les dimensions des billes peuvent être moindres que celles des grades de sciage conventionnel ($F1 \approx B$, $F2$ et $F3 \approx C$).

Tableau 2. Prix des divers grades de billes de bois pour un producteur forestier privé de la région de Québec : en 2006 (sommets) et en 2012 (creux), tous deux ramenés en dollars constants de 2016.

Année de référence	Essence*	Prix† par grade de bille (\$·m ⁻³)					
		Déroulage	F1	F2	F3	F4	Pâte
2006 (sommets)	BOJ	220,83	150,13	119,30	82,54	42,14	38,97
	ERS	—	148,83	118,35	85,38	41,37	38,97
	HEG	—	70,85	70,85	38,97	38,97	38,97
2012 (creux)	BOJ	170,51	115,92	92,12	63,73	37,33	34,52
	ERS	—	114,92	91,38	65,92	36,64	34,52
	HEG	—	54,71	54,71	34,52	34,52	34,52

* BOJ : bouleau jaune; ERS : érable à sucre; HEG : hêtre à grandes feuilles.

† Prix « en bordure de chemin » en \$ CA·m⁻³.

Le grade P correspond à une bille d'une longueur égale ou supérieure à 2,41 m (8 pieds), avec un diamètre au fin bout de plus de 9 cm, qui ne satisfait pas les critères de qualité des grades supérieurs. Les parties de l'arbre ne faisant partie d'aucun des grades décrits ci-haut (rebuts forestiers) ont été exclues de l'analyse financière.

Les volumes des divers grades (voir en annexe) et leur prix pour le producteur privé (tableau 2) ont servi d'intrants dans le calcul de rentabilité financière. Il est à noter que nous avons présumé que les bois résineux n'étaient pas récoltés en raison de leur faible quantité.

2.5. Production et valeur du sirop d'érable

Dans le scénario acéricole sans chaulage, nous avons calculé le nombre potentiel d'entailles à l'hectare pour l'érable à sucre et l'érable rouge (*Acer rubrum* L.) à partir des diamètres observés de 1986 à 2011 et des diamètres quadratiques moyens des sorties de SaMARE modifié pour la période de 2016 à 2086 (par pas de 5 ans). Dans le scénario acéricole avec chaulage, nous avons calculé le nombre potentiel d'entailles pour ces deux mêmes espèces d'érables à partir des diamètres observés en 1986 et des diamètres quadratiques moyens des sorties de SaMARE pour la période de 1991 à 2086 (par pas de 5 ans). Dans ces calculs, nous avons présumé que le nombre d'entailles par arbre suivait les normes du Québec (Québec 2004). Puisque le rendement en sirop à l'entaille varie selon le diamètre de l'arbre, nous avons employé le nombre équivalent d'entailles à rendement normalisé (NEERN) afin de comparer les rendements entre les traitements chaulé et témoin. Le NEERN permet de comparer le potentiel acéricole

entre érablières, en rapportant le nombre équivalent d'entailles sur des arbres de 30 cm de diamètre à hauteur de poitrine (DHP, mesuré à une hauteur de 1,3 m), selon la formule suivante (CPVQ 1983) :

$$NEERN = \sum_{i=1}^n \left(\frac{DHP_{20,i} - 10}{20} \right)$$

où

NEERN est le nombre équivalent d'entailles à rendement normalisé (nbre·ha⁻¹),

i varie de 1 jusqu'au nombre total de tiges d'érables à l'hectare qui ont un DHP ≥ 20 cm, et

*DHP*_{20,i} est le DHP des érables qui ont un DHP ≥ 20 cm.

Le nombre d'entailles potentielles correspond au nombre d'entailles à l'hectare dans les tiges vivantes d'érable de DHP ≥ 20 cm, au taux de 1 entaille par arbre.

Dans notre analyse, nous avons utilisé un rendement en sirop de 2,10 lb par entaille et un prix de 2,69 \$·lb⁻¹ (5,92 \$·kg⁻¹) en dollars de 2016. Ces valeurs correspondent au rendement et au prix moyen en dollars constants de 2016 de l'historique 1997-2016 (FPAQ 2017). Cette hypothèse se veut conservatrice, puisque l'évolution du prix du sirop a suivi une trajectoire croissante au cours des 20 dernières années. En d'autres mots, il se pourrait que le prix du sirop dans l'avenir (horizon de l'analyse) soit supérieur à la moyenne des 20 dernières années. En revanche, l'augmentation de l'offre et l'apparition de produits substituts pourraient aussi limiter la croissance, voire réduire le prix du sirop.

La littérature scientifique n'est pas claire au sujet de l'effet du traitement de chaulage sur le rendement en sirop lui-même. Dans une étude faite au Vermont, le chaulage appliqué à un taux de 3,4 t·ha⁻¹ a accru le rendement en sirop à court terme de 6 à 11 % (Perkins et al. 2004b). Une autre étude au Vermont a montré que l'application d'éléments basiques (K, Ca, Mg) n'a pas eu d'effet sur la teneur en sucre de la sève (Wilmot et al. 1995). En Ontario, l'application de chaux dolomitique (2 t·ha⁻¹) dans des érablières affectées par le verglas de l'hiver 1998 n'a eu aucun effet sur la production de sève ou la teneur en sucre de celles-ci (Noland et al. 2006). Au New Hampshire, l'application de Ca sous forme de silicate (1 150 kg Ca·ha⁻¹) n'a pas influencé la teneur en sucre de la sève (Wild et Yanai 2015). Une expérience réalisée au Québec a montré que, 18 ans après chaulage (2 à 5 t·ha⁻¹), le rendement en sirop des arbres traités n'était pas différent de celui des témoins non chaulés (Moore et al., en prép.). Dans cette analyse, nous avons donc décidé de poser l'hypothèse que le chaulage n'influencerait pas directement le rendement en sirop des arbres individuels, mais plutôt leur vigueur et leur taux de survie.

2.6. Paramètres et hypothèses de l'évaluation financière

Nous avons sélectionné les valeurs suivantes pour les paramètres utilisés dans l'évaluation financière de la production de bois ou de sirop d'érable :

- **Coût du chaulage** : fixé à 550 \$·ha⁻¹ en dollars constants de 2016, après enquête auprès des firmes du Québec qui offrent le service d'épandage de chaux dans les érablières. Ce montant comprend la préparation du plan d'épandage, la chaux et son épandage (taux d'application : 3 t·ha⁻¹).
- **Taux d'actualisation** : fixé à 4 % par année. Dans cette étude de cas, cela représente le taux de rendement exigé par le producteur forestier pour son investissement en chaulage.
- **Horizon d'analyse** : fixé à 100 ans pour le scénario sylvicole et à 100 et 20 ans pour le scénario acéricole. En production de bois, la capitalisation se fait au moment de la récolte. Une période de 100 ans permet de capter 4 coupes partielles consécutives et d'évaluer l'effet à long terme sur la dynamique forestière et l'aménagement des peuplements inéquiennes (suite de coupes partielles). L'horizon plus court

(20 ans) en production acéricole se justifie par le fait que la capitalisation de l'investissement se fait immédiatement dans l'année suivant le chaulage et qu'elle est récurrente annuellement (récolte de sirop chaque année).

- **Revenus des bois** : prix de vente pour un producteur forestier privé de la région de Québec (prix en bordure de chemin, en \$·m⁻³) : valeurs de 2006 (sommet) et de 2012 (creux), ramenées en dollars constants de 2016 (tableau 2). L'indice des prix à la consommation du Québec a été utilisé pour cette conversion.
- **Coût associé à la récolte de la matière ligneuse amenée au bord du chemin** : fixé à 30 \$ net·m⁻³. Ce coût est d'un ordre de grandeur réaliste et provient d'une enquête de coût en forêt publique du MFFP, après une transformation pour prendre en compte le contexte des coupes partielles et de la forêt privée.
- **Marge bénéficiaire du producteur acéricole** : fixée à 15,53 %, soit la moyenne 2004 à 2014 de la marge bénéficiaire des producteurs agricoles du Québec (Statistique Canada 2017).
- **Aide financière** : Aucune. L'aide du programme d'aide à la mise en valeur des forêts privées et du remboursement sur les taxes foncières n'est pas considérée dans l'analyse. L'inclusion ou non d'un revenu additionnel équivalent dans les deux scénarios ne change pas le différentiel entre la valeur des traitements témoin et chaulé et n'influence donc aucunement le calcul de la rentabilité du chaulage.

2.7. Critère d'évaluation de l'investissement

Nous avons retenu comme critère d'évaluation de l'investissement la valeur actuelle nette (VAN), qui correspond à la valeur nette du scénario en dollars d'aujourd'hui, soit la différence entre les revenus actualisés et les coûts actualisés (Lainesse et Auclair 2013), exprimée en dollars à l'hectare. La VAN sous un scénario donné se calcule selon la formule suivante :

$$VAN = \sum_{t=0}^{20,100} \frac{R}{(1+i)^t} - \frac{C}{(1+i)^t}$$

où

R correspond aux revenus au temps t ,

C sont les coûts au temps t ,

i est le taux d'actualisation et

t est le temps (ans).

Dans le cadre de la présente analyse, nous avons utilisé la VAN pour comparer le traitement de chaulage avec le témoin pour un même horizon de temps, sous chacun des scénarios. Si la VAN avec chaulage est supérieure à celle du témoin, le chaulage est considéré comme rentable. Afin de quantifier le gain ou la perte financière du traitement de chaulage, nous avons donc calculé la différence de VAN (ΔVAN) entre le traitement de chaulage et le témoin (sans chaulage) sous chacun des scénarios.

2.8. Analyses de sensibilité

Nous avons évalué la robustesse des résultats obtenus sur la base de l'importance des effets des variations de certains paramètres.

2.8.1 Scénario sylvicole

- **Variation du coût de la récolte forestière** : passage de 30 à 0 \$ net·m⁻³. Le coût de récolte à 0 \$ représente une situation particulière où le producteur forestier effectue lui-même la récolte forestière dans son boisé, sans compter son temps ni ses dépenses;
- **Variation du taux d'actualisation** : 0, 2, 4 et 6 % sur toute la période d'analyse. Notons qu'un taux d'actualisation à 0 % représente une situation où l'on suppose que 1 \$ aujourd'hui vaudra 1 \$ dans 100 ans, et inversement.

2.8.2 Scénario acéricole

- **Variation du rendement en sirop d'érable par entaille sur toute la période d'analyse** :
 - Baisse de 10 % du rendement en sirop dans le peuplement témoin sans chaulage, en raison de la perte de vigueur traduite par une diminution de la croissance radiale;
 - Hausse du rendement de 2,1 à 3 lb-entaille⁻¹ (de 0,95 à 1,36 kg-entaille⁻¹) dans les deux traitements (témoin et avec chaulage). Cette situation pourrait survenir avec l'amélioration de la technologie associée à la récolte de sève.
- **Variation du prix du sirop d'érable** :
 - Baisse de 25 % du prix de base (2,02 \$·lb⁻¹ ou 4,44 \$·kg⁻¹);
 - Hausse de 25 % du prix du sirop d'érable (3,36 \$·lb⁻¹ ou 7,39 \$·kg⁻¹).

3. Résultats

3.1. Évolution du peuplement

Les inventaires successifs de la station n° 301 montrent que la densité et la surface terrière de l'érable à sucre ont diminué continuellement de 1986 à 2011, tandis que celles du bouleau jaune et du hêtre ont augmenté (tableau 3). Le DHP moyen de l'érable a augmenté au cours de ces 25 années, tandis que ceux du bouleau jaune et du hêtre ont diminué. Ces tendances indiquent la baisse, ou plutôt l'absence, de recrutement chez l'érable à sucre et un taux de mortalité plus élevé pour cette essence que pour les autres.

Tableau 3. Évolution observée des caractéristiques du peuplement à la station n° 301 de 1986 à 2011 (arbres marchands de DHP > 9 cm).

Année	Densité (nbre tiges·ha ⁻¹)					DHP moyen (cm)					Surface terrière (m ² ·ha ⁻¹)				
	BOJ*	ERS*	HEG*	RES*	Total	BOJ	ERS	HEG	RES	Total	BOJ	ERS	HEG	RES	Total
1986	44	310	34	4	392	24,6	27,3	28,4	28,4	27,0	3,0	21,4	2,6	0,4	27,4
1989	42	300	36	4	382	26,0	27,5	27,8	28,4	27,4	3,0	21,2	2,8	0,2	27,2
1996	44	284	46	4	378	24,1	28,3	25,4	20,9	27,4	2,4	20,6	3,2	0,2	26,4
2001	50	246	84	4	384	23,1	28,9	17,9	22,1	25,7	2,6	18,8	3,0	0,2	24,6
2006	88	210	170	4	472	19,2	30,1	14,4	12,2	22,2	3,4	17,2	3,6	0,0	24,2
2011	120	188	246	4	558	19,2	30,2	14,0	13,4	20,6	4,8	15,6	5,0	0,0	25,4

* BOJ : bouleau jaune; ERS : érable à sucre; HEG : hêtre à grandes feuilles; RES : résineux.

3.2. Validation du modèle SaMARE modifié

Le portrait obtenu avec SaMARE modifié est comparable à l'évolution des valeurs de densité de tiges et de surface terrière observées sur le terrain de 1986 à 2011 (figure 1). La hausse du nombre de tiges de hêtre et la baisse de la surface terrière de l'érable à sucre durant cette période sont particulièrement bien simulées par ce modèle modifié. Ces changements indiquent que le nombre de petites tiges de hêtre a augmenté subitement, comme on l'observe sur le terrain. Les valeurs simulées du nombre de tiges total et de la surface terrière totale correspondent aussi aux valeurs observées.

Le portrait obtenu avec SaMARE montre que si l'érablière avait évolué comme les érablières québécoises ayant servi à l'étalonnage du modèle, le nombre de tiges de chaque essence serait demeuré à peu près constant de 1986 à 2011 (figure 1). La surface terrière, quant à elle, aurait continuellement augmenté chez l'érable à sucre, mais serait demeurée à peu près constante chez les autres essences.

Cette comparaison nous permet de présumer que SaMARE modifié simule bien l'évolution actuelle du peuplement témoin (érablière de faible vigueur, non chaulée). Nous présumons aussi que SaMARE imite l'effet du chaulage, puisqu'il rend l'évolution du peuplement chaulé semblable à celle que l'on rencontre généralement dans les érablières du Québec. Nous considérons que cette présomption est prudente, étant donné que l'accroissement en surface terrière des érables qui ont subi un chaulage est plus important que celui des arbres dits « vigoureux » dans le modèle SaMARE (figure 2). Cette figure montre aussi que la station n° 301 subit un dépérissement important par les faibles accroissements annuels moyens, qui sont en deçà de ceux des érables considérés non vigoureux par SaMARE.

3.3. Production et valeur des bois (scénario sylvicole)

La simulation de l'évolution du peuplement dans le scénario de production de bois d'œuvre montre que la densité de tiges d'érable à sucre diminuera sur un horizon de 100 ans, quel que soit le traitement

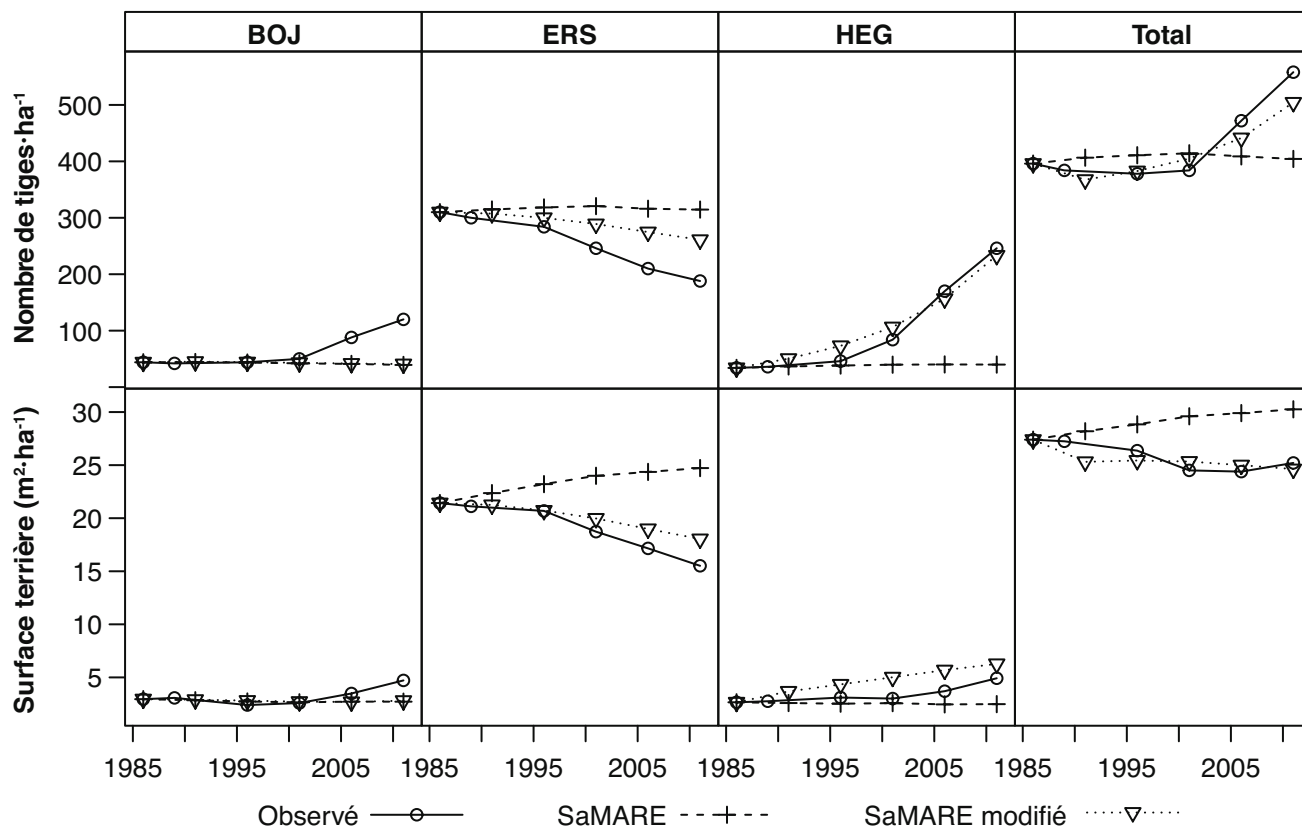


Figure 1. Évolution observée sur le terrain et modélisée (par SaMARE et SaMARE modifié) de la densité et de la surface terrière des arbres marchands (DHP > 9 cm) dans l'érablière de la station n° 301. BOJ : bouleau jaune; ERS : érable à sucre; HEG : hêtre à grandes feuilles.

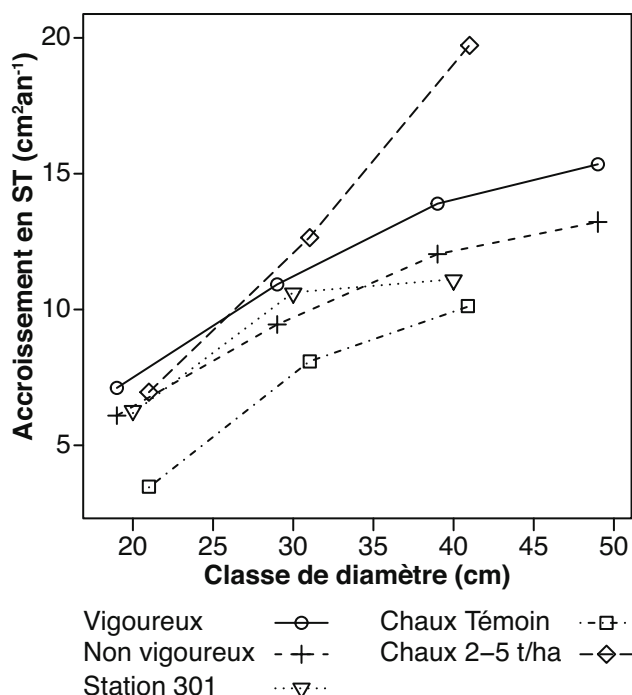


Figure 2. Accroissement moyen annuel en surface terrière (ST) sur 20 ans (1986-2006) des tiges individuelles d'érable à sucre en fonction de la classe de diamètre initial, des arbres vigoureux et non vigoureux selon SaMARE, ceux de la station n° 301 et ceux du dispositif de chaulage de Moore et al. (2012) (arbres témoins et moyenne des traitements de chaulage à 2 et 5 t·ha⁻¹ sur 15 ans [1995-2009]). Les erreurs types (moyenne = 3,3 cm²·an⁻¹) ne sont pas montrées pour alléger la figure.

(avec ou sans chaulage), tandis que celle du hêtre augmentera pour plafonner à environ 200 tiges·ha⁻¹ dès la première coupe à 25 ans (figure 3). La surface terrière de l'érable à sucre chutera à la première récolte dans les deux traitements, mais moins fortement après chaulage que chez le témoin. Le hêtre et le bouleau jaune sont les essences qui devraient profiter le plus de cette série de coupes partielles, leur surface terrière atteignant respectivement environ 10 et 5 m²·ha⁻¹ après 100 ans dans les deux traitements.

Le volume des produits du bois d'érable à sucre récolté au cours de la période de 100 ans (voir l'annexe pour le détail par récolte) est beaucoup plus important dans le traitement avec chaulage que chez le témoin (gains de 30 à 148 % en faveur du traitement avec chaulage, principalement dans les produits F1 à F4; tableau 4). En contrepartie, les volumes de hêtre sont plus grands dans le peuplement témoin que dans celui chaulé. Quant aux produits bons pour la pâte, le traitement avec chaulage fournit un volume seulement 13 % plus grand que le témoin (toutes essences confondues).

En ce qui concerne la rentabilité financière du chaulage, les simulations indiquent cependant que le peuplement chaulé est généralement déficitaire quant à la production de bois par rapport au peuplement témoin, sauf lorsque le taux d'actualisation est nul et que 1) soit le coût de récolte est nul ou 2) soit le prix du bois est élevé (par ex., prix de 2006; tableau 5). Lorsque les prix des produits du bois sont bas, comme en 2012, le chaulage n'est rentable au taux d'actualisation nul que si le coût de récolte est nul également. Les différences de VAN entre les

Tableau 4. Volume total des différents grades de billes récolté sur 100 ans (4 récoltes à intervalles de 25 ans) par groupe d'espèces selon le traitement appliqué (témoin et chaulé) dans les simulations. Le détail par récolte est présenté en annexe.

Espèce*	Traitement	Volume par grade (m³·ha⁻¹)						Total
		Déroulage	F1	F2	F3	F4	Pâte	
BOJ	Témoin	0,87	0,76	3,16	4,60	0,69	5,89	15,98
	Chaulé	0,87	0,75	3,15	4,86	0,74	6,36	16,71
ERS	Témoin	0,00	0,55	2,46	5,88	0,52	13,67	23,07
	Chaulé	0,00	2,50	8,54	13,85	1,10	36,57	62,57
HEG	Témoin	0,00	0,00	3,22	6,69	0,55	40,68	51,13
	Chaulé	0,00	0,00	1,08	4,34	0,46	25,10	30,97
Total	Témoin	0,87	1,31	8,84	17,16	1,76	60,24	90,19
	Chaulé	0,87	3,25	12,77	23,05	2,29	68,02	110,25

* BOJ : bouleau jaune; ERS : érable à sucre; HEG : hêtre à grandes feuilles.

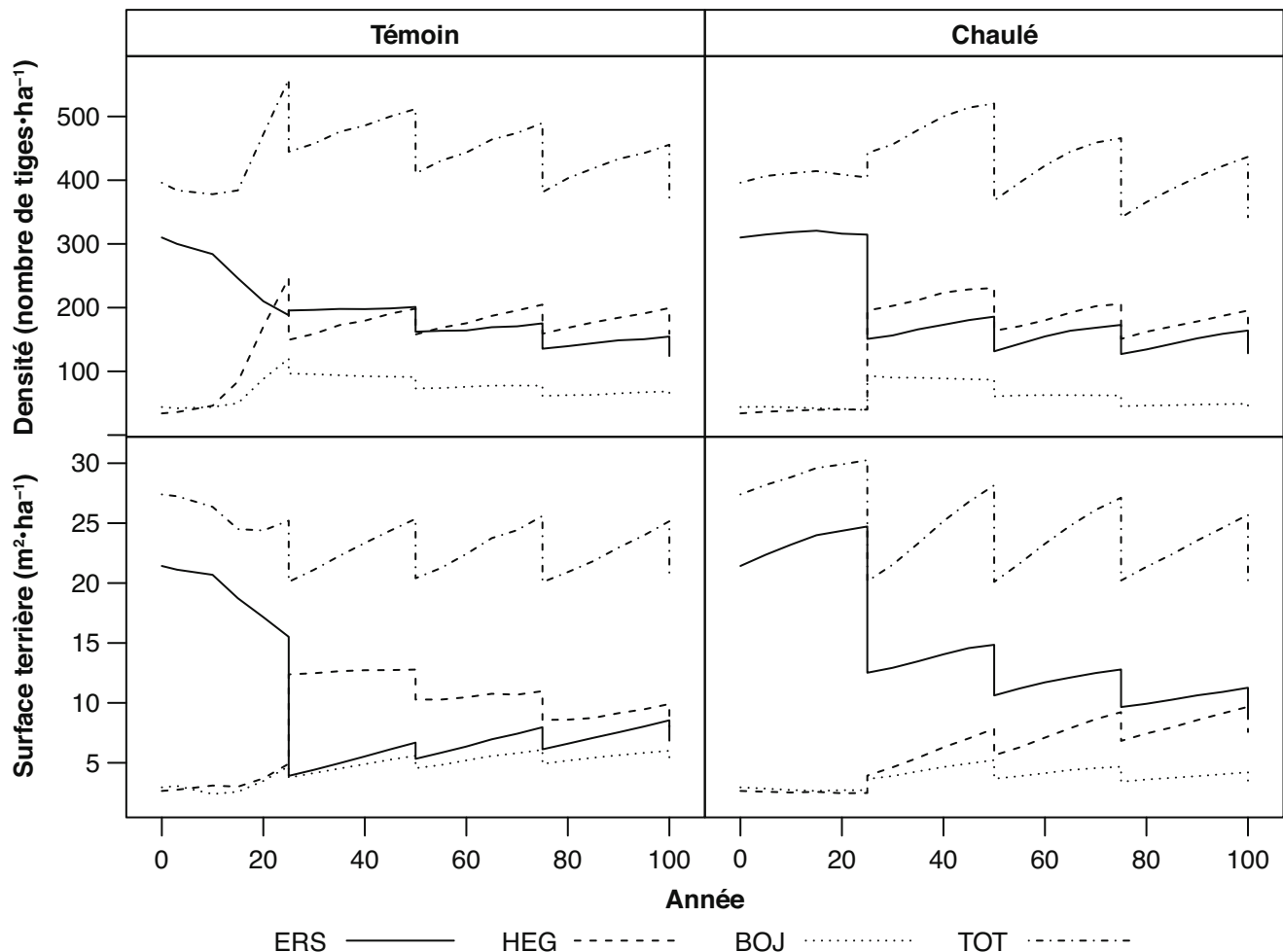


Figure 3. Évolution de la densité et de la surface terrière du peuplement à la station n° 301 dans le scénario de production de bois sur 100 ans (coupes partielles à intervalles de 25 ans). Les données sont issues des modèles SaMARE modifié (peuplement témoin) et SaMARE (peuplement chaulé). BOJ : bouleau jaune; ERS : érable à sucre; HEG : hêtre à grandes feuilles; TOT : total.

traitements vont de (513) à 691 \$·ha⁻¹ selon le coût de récolte et le taux d'actualisation; plus le taux d'actualisation est élevé, plus le déficit est grand.

3.4. Production et valeur du sirop d'érable (scénario acéricole)

Dans le peuplement témoin, le nombre observé d'entailles potentielles a baissé de 39 % en 25 ans (de 1986 à 2011) à la station n° 301, passant de 310 à 188 entailles·ha⁻¹ (figure 4). La baisse de la production de sirop serait donc du même ordre de grandeur. Par contraste, dans le peuplement chaulé, le portrait obtenu avec les simulations SaMARE ne montre aucune diminution du nombre d'entailles potentielles, mais au contraire une légère augmentation de 310 entailles·ha⁻¹ en 1986 à 315 entailles·ha⁻¹ en 2011.

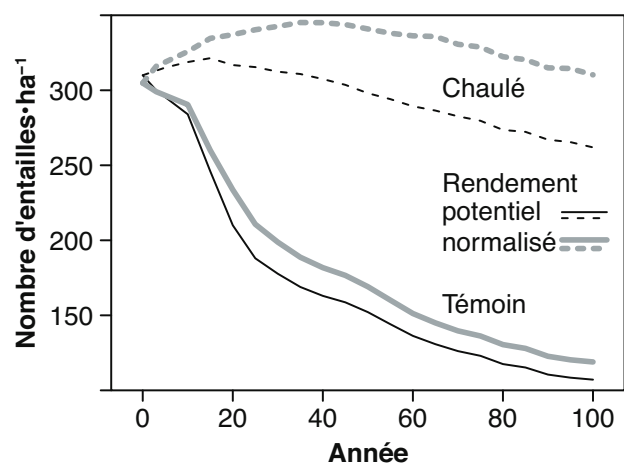


Figure 4. Évolution du nombre d'entailles potentielles et normalisées par hectare dans le scénario de production acéricole en fonction du traitement (témoin et chaulé). Les données sont issues des modèles SaMARE modifié (peuplement témoin) et SaMARE (peuplement chaulé).

Tableau 5. Valeur actualisée nette (VAN) sur 100 ans de la production sylvicole dans les deux traitements (témoin et avec chaulage) selon le prix de référence, ramenée en dollars constants de 2016 (voir le tableau 2), le coût net de récolte du bois et le taux d'actualisation. Les valeurs entre parenthèses sont négatives.

Année du prix de référence	Coût de récolte (\$·m ⁻³)	Taux d'actualisation (%)	VAN sur 100 ans (\$·ha ⁻¹)		ΔVAN (\$·ha ⁻¹)
			Témoin	Traitement avec chaulage	
2006 (sommet)	0	0	4 846	5 537	691
		2	1 607	1 460	(147)
		4	697	306	(391)
		6	358	(119)	(477)
	30	0	2 140	2 229	89
		2	687	383	(304)
		4	291	(140)	(432)
		6	147	(337)	(484)
2012 (creux)	0	0	4 046	4 355	309
		2	1 347	1 059	(288)
		4	586	135	(451)
		6	301	(204)	(505)
	30	0	1 340	1 048	(292)
		2	427	(18)	(445)
		4	180	(311)	(491)
		6	91	(422)	(513)

L'évolution du nombre d'entailles normalisées, selon les simulations de SaMARE et de SaMARE modifié, est aussi présentée à la figure 4. On note que ce nombre d'entailles diminue pour passer sous la barre des 175 entailles·ha⁻¹ après 50 ans (en 2036) dans le traitement témoin, mais qu'il demeure au-dessus de 300 entailles·ha⁻¹ dans le traitement avec chaulage pendant toute la période de simulation.

En ce qui concerne la rentabilité financière du chaulage, les simulations indiquent qu'en général, le traitement de chaulage est très rentable par rapport au témoin (tableau 6). Les seules hypothèses où le traitement de chaulage est déficitaire sont celles dont l'horizon d'analyse est de 20 ans avec un taux d'actualisation de 4 % et plus. Les différences de VAN entre les traitements vont de (158) à 11 749 \$·ha⁻¹ selon l'horizon d'analyse et le taux d'actualisation. Le chaulage est toujours rentable sur un horizon de 100 ans (de 610 à 11 749 \$·ha⁻¹), quel que soit le taux d'actualisation, mais plus celui-ci est élevé, plus l'écart de la VAN en faveur du chaulage diminue.

La rentabilité du chaulage augmenterait, tant sur l'horizon d'analyse de 20 ans (ΔVAN de 247 \$·ha⁻¹) que de 100 ans (1 860 \$·ha⁻¹; tableau 6), si le rendement en sirop à l'entaille baissait de 10 % dans le peuplement témoin. Advenant une augmentation du rendement en sirop pour atteindre 3 lb·entaille⁻¹ plutôt que 2,1 lb·entaille⁻¹ dans les deux traitements, le chaulage demeurerait plus rentable que le témoin sur les deux horizons d'analyse (ΔVAN de 86 \$·ha⁻¹ sur 20 ans et de 2 162 \$·ha⁻¹ sur 100 ans). Si le prix du sirop baissait de 25 % par rapport au prix de base (2,02 \$·lb⁻¹ contre 2,69 \$·lb⁻¹), le chaulage ne se rentabiliserait pas sur 20 ans (perte nette de 216 \$·ha⁻¹), mais il deviendrait rentable sur 100 ans (gain net de 837 \$·ha⁻¹). Enfin, si le prix du sirop augmentait de 25 % (3,36 \$·lb⁻¹ contre 2,69 \$·lb⁻¹), le chaulage se rentabiliserait tant sur 20 ans que sur 100 ans (ΔVAN respectives de 7 \$·ha⁻¹ et de 1 813 \$·ha⁻¹).

Tableau 6. Valeur actualisée nette (VAN) sur 20 et 100 ans de la production de sirop d'érable dans les deux traitements (témoin et avec chaulage), ramenée en dollars constants de 2016 et calculée en fonction de différents tests de sensibilité. Les valeurs entre parenthèses sont négatives.

Test de sensibilité	Horizon d'analyse (années)	Taux d'actualisation (%)	VAN (\$·ha ⁻¹)		ΔVAN (\$·ha ⁻¹)
			Témoin	Traitement avec chaulage	
Variation du taux d'actualisation	20	0	4906	5089	183
		2	4124	4142	81
		4	3522	3417	(105)
		6	3050	2855	(158)
	100	0	15981	27730	11749
		2	8237	11920	4392
		4	5351	6676	1325
		6	3972	4431	610
Baisse de 10 % du rendement dans le peuplement témoin seulement	20	4	3169	3417	247
	100	4	4816	6676	1860
Augmentation du rendement à 3 lb·entaille ⁻¹ (ou 1,36 kg·entaille ⁻¹)	20	4	5031	5117	86
	100	4	7645	9806	2162
Baisse de 25 % du prix de base du sirop (2,02 \$·lb ⁻¹ ou 4,44 \$·kg ⁻¹)	20	4	2641	2425	(216)
	100	4	4014	4850	837
Hausse de 25 % du prix de base du sirop (3,36 \$·lb ⁻¹ ou 7,39 \$·kg ⁻¹)	20	4	4402	4409	7
	100	4	6689	8502	1813

4. Discussion

4.1. Évolution de la composition du peuplement

Les changements de composition et de structure observés dans le peuplement de la station n° 301 laissent présager que l'abondance de l'érable à sucre continuera à diminuer au profit du hêtre à grandes feuilles. En effet, le taux de dépérissement des érables à sucre qui n'ont pas été chaulés dans le dispositif de chaulage de Duchesnay de Moore *et al.* (2012) est passé de 4 à 37 % en 15 ans (de 1994 à 2009), malgré le fait que le dépérissement initial ait été très faible. De plus, 15 ans après chaulage, 8 des 10 arbres les plus en dépérissement ou morts n'ont reçu aucune ou la plus faible dose de chaux (0,5 t·ha⁻¹; Moore *et al.* 2012).

Ainsi, dans les érablières de faible vigueur situées sur des sols peu fertiles et ayant un déficit de régénération en érables et une abondance de jeunes tiges de hêtre en sous-étage, on peut s'attendre à une augmentation marquée de la proportion de

hêtres au cours des prochaines années (DRF 2017, Duchesne *et al.* 2005, Duchesne et Ouimet 2009). C'est sans doute cette dynamique qui prévaudra si aucune action n'est prise pour réduire l'importance du hêtre ou pallier les carences nutritionnelles de l'érable à sucre. C'est une situation préoccupante pour le producteur forestier, puisque le prix de vente du bois de l'érable à sucre est beaucoup plus élevé que celui du hêtre (tableau 2). Cette situation est aussi dramatique pour l'acériculteur, puisque seul l'érable fournit la sève nécessaire à la confection du sirop. Renverser ces changements représente un défi de taille, mais apparaît nécessaire pour assurer la pérennité de l'érable à sucre dans plusieurs érablières dont les sols ont été appauvris par les précipitations acides.

Les simulations effectuées tant avec SaMARE qu'avec SaMARE modifié indiquent que les coupes de jardinage répétées tendent à diminuer l'importance de l'érable à sucre dans le peuplement au profit du hêtre à grandes feuilles. Par contre, ces simulations n'ont pas pris en compte la possibilité que cette essence soit affectée par la maladie corticale du hêtre qui est en train de se répandre au Québec

(DRF 2017). Celle-ci pourrait grandement modifier la trajectoire d'évolution de la composition en essences dans ces érablières. En présence de cette maladie et en l'absence de broutement important par le cerf de Virginie, l'éclaircie plus forte du couvert forestier ou la formation de trouées pourrait favoriser le retour plus massif du bouleau jaune et de l'érable à sucre (Danyagri *et al.* 2017, Gauthier *et al.* 2016).

4.2. Rentabilité du chaulage des érablières à vocation sylvicole

Dans ce contexte, bien que le chaulage apparaisse comme un traitement prometteur pour revigorer l'érable à sucre et limiter son remplacement par le hêtre à grandes feuilles (Duchesne *et al.* 2013, Ouimet *et al.* 2017), ce traitement n'est pas rentable à long terme pour le producteur privé dans le scénario de production uniquement sylvicole, du moins pas dans l'étude de cas présentée. Dans le scénario de production ligneuse, le chaulage ne génère pas assez de valeur pour compenser son coût. La faible production supplémentaire de bois de sciage d'érable à sucre (grades F1, F2 et F3) à la suite du traitement ne justifie pas l'investissement. Plus de 60 % de la production ligneuse se classe comme bois de pâte (tableau 4) dont la valeur est la même, quelle que soit l'essence (tableau 2). Même si le chaulage favorise la régénération d'érables à sucre et améliore la vigueur des érables à maturité, il est fort probable que le traitement ne suffise pas pour assurer la dominance de la régénération de cette essence en présence d'une forte régénération préétablie de hêtres. Dans ces conditions, le contrôle mécanique des jeunes tiges de hêtre s'avère nécessaire pour assurer le libre développement de l'érable à sucre après le chaulage (Duchesne *et al.* 2013). Lorsqu'une telle opération est nécessaire, les coûts engendrés (environ 800 \$·ha⁻¹) réduiraient davantage la rentabilité du chaulage et rendraient celui-ci difficile à justifier d'un point de vue financier. L'évaluation du potentiel de la station (qualité du sol, composition du peuplement, composition et abondance de la régénération, facteurs climatiques) est donc cruciale afin de déterminer les essences à promouvoir dans un secteur donné et si l'érable à sucre doit en être l'essence prioritaire (DRF 2017).

4.3. Rentabilité du chaulage des érablières à vocation acéricole

Dans les érablières sous aménagement acéricole qui se trouvent sur des sols acides et peu fertiles, plusieurs expériences ont démontré que le chaulage améliore la vigueur des érables à sucre. L'ampleur de la réaction des érables à Duchesnay, 20 ans après le chaulage (Ouimet *et al.* 2017), laisse présager que l'effet de ce traitement se poursuivra encore pendant plusieurs années, sinon plusieurs décennies. La présente étude de cas démontre aussi, avec des résultats robustes, que le chaulage est financièrement avantageux dans un scénario acéricole. En effet, l'investissement en chaulage est très rentable, car il évite la perte de production de sirop, tel qu'observé dans le peuplement témoin. Cependant, avant d'appliquer un traitement de chaulage, il apparaît important de procéder à des analyses de sol ou de feuillage afin de s'assurer que le Ca limite effectivement la croissance de l'érable à sucre dans l'érablière. Des normes de fertilité des sols des érablières (Ouimet *et al.* 2013) de même qu'un guide pratique d'évaluation de l'état de santé des érablières (Annecon *et al.* 2012) permettent de porter un diagnostic fiable.

En présence d'une forte régénération préétablie de hêtres, le contrôle mécanique des jeunes tiges de hêtre engendrerait des coûts (environ 800 \$·ha⁻¹), mais ceux-ci seraient tout de même plus faibles que la Δ VAN positive engendrée par le chaulage sur un horizon de 100 ans (tableau 6). Le chaulage d'érablières à vocation acéricole, mais en dépérissement, demeure donc un traitement rentable financièrement à long terme, même si un contrôle mécanique sous couvert devenait nécessaire.

5. Conclusion

Cette étude de cas montre que le chaulage est rentable si les analyses du sol indiquent une carence en Ca et que :

- le peuplement est sous aménagement acéricole, ou que
- le peuplement est sous aménagement sylvicole et que le chaulage lui permet de produire une quantité suffisante de bois de sciage d'érable à sucre (grades F1, F2 et F3) pour que la valeur des produits du bois dépasse celle de la production du peuplement non chaulé et le coût actualisé du traitement de chaulage. Le fait d'augmenter la quantité de bois de pâte d'érable à sucre n'est pas un facteur de rentabilité, car le bois de pâte de cette essence n'a pas de plus-value pour le producteur forestier par rapport au bois de pâte de hêtre.

Dans ces cas, le chaulage vise donc à assurer le maintien, le recrutement et la régénération de l'érable à sucre comme essence désirée.

L'érable à sucre est une essence relativement exigeante en Ca et qui préfère habituellement des sols riches et fertiles. À la lumière des résultats des travaux récents et à long terme dans les érablières situées sur des stations acides et peu fertiles, il semble très peu probable que le déséquilibre nutritionnel observé dans ces érablières soit temporaire. Ultimement, en l'absence d'intervention, ce déséquilibre nutritionnel risque d'engendrer un changement dans la composition forestière de ces écosystèmes en favorisant des espèces moins exigeantes en Ca, comme le hêtre.

Cette étude de cas montre qu'il n'est généralement pas rentable financièrement pour un producteur privé de procéder au chaulage d'érablières situées sur des stations acides et peu fertiles pour des fins de production ligneuse uniquement. Par contre, elle démontre clairement qu'un chaulage par 50 ans de telles érablières aménagées pour des fins acéricoles est rentable financièrement sur 20 ans et 100 ans. D'autres études de cas devront toutefois être réalisées dans des érablières situées sur des stations différentes afin de déterminer la variation possible des paramètres forestiers et financiers et, ainsi, de dresser un portrait de la rentabilité financière de ce traitement qui soit généralisable à plus grande échelle.

Remerciements

Cette note de recherche est une contribution des projets de recherche 142332063, 142332065 et 142332069 à la Direction de la recherche forestière du MFFP. Nous tenons à remercier M. François Guillemette de la DRF qui nous a guidés dans l'apprentissage du modèle SaMARE, ainsi que feu M. François-Robert Nadeau de la Direction des évaluations économiques et des opérations financières du MFFP, qui a attiré notre attention sur l'importance de faire une analyse de rentabilité préliminaire du chaulage/fertilisation des érablières. Nous remercions aussi Éliane Landry-Tremblay, Mélissa Laines et François Labbé du Bureau de mise en marché des bois pour leurs contributions à la production des intrants financiers pour les deux types de production, acéricole et ligneuse; M. Marcel Prévost, responsable de la révision scientifique, ainsi que les deux évaluateurs anonymes; et finalement, Mmes Denise Tousignant, Viviane St-Arnaud, Nathalie Langlois et Maripierre Jalbert de l'équipe de transfert de connaissances pour l'édition et la mise en page du document.

Références

- Anneco, C., J.-D. Moore et R. Ouimet, 2012. *L'état de santé des érablières : démarche diagnostique*. Centre ACER. Saint-Hyacinthe. 60 p.
- Bailey, S.W., S.B. Horsley, R.P. Long et R.A. Hallett, 2004. *Influence of edaphic factors on sugar maple nutrition and health on the Allegheny Plateau*. Soil Sci. Soc. Am. J. 68(1) : 243-252.
- [BMMB] Bureau de mise en marché des bois, 2016. *Manuel de mesure des bois récoltés sur les terres du domaine de l'État : Volet méthodes et instructions techniques*. Exercice 2016-2017. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction des évaluations économiques et opérations financières. 218 p. [https://bmmb.gouv.qc.ca/media/37942/manuel_mesure_methodes_instruct_20160719.pdf]
- [CPVQ] Conseil des productions végétales du Québec, 1983. *Érablière : entaillage des érables*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Conseil des productions végétales du Québec, Comité d'agriculture. AGDEX 300/50. 8 p.

- Danyagri, G., S.K. Baral, M. Girouard, H.G. Adégbidi et G. Pelletier, 2017. *The role of advanced regeneration at time of partial harvest on tolerant hardwood stands development*. Can. J. For. Res. 47(10) : 1410-1417. doi 10.1139/cjfr-2017-0134.
- [DRF] Direction de la recherche forestière, 2017. *Expansion du hêtre à grandes feuilles et déclin de l'érable à sucre au Québec : portrait de la situation, défis et pistes de solution*. Avis scientifique du comité chargé d'étudier l'écologie et la sylviculture des peuplements contenant du hêtre et de l'érable. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis scientifique. 146 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/AvisScientHEG-ERS.pdf>]
- Duchesne, L. et R. Ouimet, 2008. *Population dynamics of tree species in southern Quebec, Canada : 1970-2005*. For. Ecol. Manage. 255 : 3001-3012.
- Duchesne, L. et R. Ouimet, 2009. *Present-day expansion of American beech in northeastern hardwood forests : Does soil base status matter?* Can. J. For. Res. 39 : 2273-2282.
- Duchesne, L., R. Ouimet et D. Houle, 2002. *Basal area growth of sugar maple in relation to acid deposition, stand health, and soil nutrients*. J. Environ. Qual. 31 : 1676-1683.
- Duchesne, L., R. Ouimet, J.-D. Moore et R. Paquin, 2005. *Changes in structure and composition of maple-beech stands following sugar maple decline in Québec, Canada*. For. Ecol. Manage. 208(1-3) : 223-236.
- Duchesne, L., J.-D. Moore et R. Ouimet, 2013. *Partitioning the effect of release and liming on growth of sugar maple and American beech saplings*. North. J. Appl. For. 30(1) : 28-36.
- [FPAQ] Fédération des producteurs acéricoles du Québec, 2017. *Statistiques acéricoles 2016*. Fédération des producteurs acéricoles du Québec. 28 p. [<https://fpaq.ca/wp-content/uploads/2015/02/Dossier-economique-2016.pdf>]
- Fortin, M., S. Bédard et J. DeBlois, 2009a. *SaMARE : un modèle par tiges individuelles destiné à la prévision de la croissance des érablières de structure inéquienne du Québec méridional*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 155. 44 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/fortin-mathieu/Memoire155.pdf>]
- Fortin, M., F. Guillemette et S. Bédard, 2009b. *Predicting volumes by log grades in standing sugar maple and yellow birch trees in southern Quebec, Canada*. Can. J. For. Res. 39 : 1928-1938.
- Gauthier, M.-M., M.-C. Lambert et S. Bédard, 2016. *Effects of harvest gap size, soil scarification, and vegetation control on regeneration dynamics in sugar maple-yellow birch stands*. For. Sci. 62(2) : 237-246.
- Guillemette, F. et S. Bédard, 2006. *Sylviculture des peuplements à dominance de feuillus nobles au Québec*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Rapport hors série. 94 p. [<https://mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Bedard-Steve/Hors-serie-sylviculture.pdf>]
- Guillemette, F., S. Bédard et M. Fortin, 2008. *Evaluation of a tree classification system in relation to mortality risk in Québec northern hardwoods*. For. Chron. 84(6) : 886-899.
- Houle, D., R. Paquin, C. Camiré, R. Ouimet et L. Duchesne, 1997. *Response of the Lake Clair Watershed (Duchesnay, Quebec) to changes in precipitation chemistry (1988-1994)*. Can. J. For. Res. 27 : 1813-1821.
- Huntington, T.G., R.P. Hooper, C.E. Johnson, B.T. Aulenbach, R. Cappellato et A.E. Blum, 2000. *Calcium depletion in a southeastern United States forest ecosystem*. Soil Sci. Soc. Am. J. 64(5) : 1845-1858.
- Jenkins, J., 1997. *Hardwood regeneration failure in the Adirondacks: preliminary studies of incidence and severity*. Wildlife Conservation Society. Working Paper n° 9. White Creek, New York (É-U). 70 p.

- Kobe, R.K., G.E. Likens et C. Eagar, 2002. *Tree seedling growth and mortality responses to manipulations of calcium and aluminum in a northern hardwood forest*. Can. J. For. Res. 32 : 954-966.
- Lainesse, M. et V. Auclair, 2013. *Guide d'analyse économique. Évaluation économique intégrée au calcul de possibilités forestières. Modèle d'évaluation économique (MEE)*. Gouvernement du Québec, Bureau de mise en marché des bois. 58 p. [https://bmmb.gouv.qc.ca/media/21740/guide_analyse_economique.pdf]
- Lawrence, G.B. et T.G. Huntington, 1999. *Soil-calcium depletion linked to acid rain and forest growth in the eastern United States*. U.S. Geological Survey. Water-Resources Investigations Report n° 98-4267. 12 p. [<https://pubs.usgs.gov/wri/1998/4267/report.pdf>]
- Long, R.P., S.B. Horsley et P.R. Lilja, 1997. *Impact of forest liming on growth and crown vigor of sugar maple and associated hardwoods*. Can. J. For. Res. 27 : 1560-1573.
- Long, R.P., S.B. Horsley, R.A. Hallet et S.W. Bailey, 2009. *Sugar maple growth in relation to nutrition and stress in the northeastern United States*. Ecol. Appl. 19(6) : 1454-1466.
- Long, R.P., S.B. Horsley et T.J. Hall, 2011. *Long-term impact of liming on growth and vigor of northern hardwoods*. Can. J. For. Res. 41(6) : 1295-1307.
- Long, R.P., S.W. Bailey, S.B. Horsley, T.J. Hall, B.R. Swistock et D.R. DeWalle, 2015. *Long-term effects of forest liming on soil, soil leachate, and foliage chemistry in northern Pennsylvania*. Soil Sci. Soc. Am. J. 79(4) : 1223-1236.
- Majcen, Z., Y. Richard, M. Ménard et Y. Grenier, 1990. *Choix des tiges à marquer pour le jardinage d'érablières inéquienues. Guide technique*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Énergie et des Ressources (Forêts), Direction de la recherche et du développement. Mémoire de recherche forestière n° 96, 96 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Divers/Memoire96.pdf>]
- Moore, J.-D. et R. Ouimet, 2006. *Ten-year effect of dolomitic lime on the nutrition, crown vigor, and growth of sugar maple*. Can. J. For. Res. 36 : 1834-1841.
- Moore, J.-D., L. Duchesne et R. Ouimet, 2008. *Soil properties and maple-beech regeneration a decade after liming in a northern hardwood stand*. For. Ecol. Manage. 255 : 3460-3468.
- Moore, J.-D., R. Ouimet et L. Duchesne, 2012. *Soil and sugar maple response 15 years after dolomitic lime application*. For. Ecol. Manage. 281 : 130-139.
- Moore, J.-D., L. Duchesne, R. Ouimet et M.-L. Deschênes, en préparation. *Sap yield, sweetness and chemistry of sugar maple 18-years after liming*.
- Noland, T.L., G. McVey et D. Chapeskie, 2006. *Ice storm and fertilization effects on root starch, sap productivity and sweetness, diameter growth, and tap hole closure in sugar maple stands of eastern Ontario*. Ministry of Natural Resources. Ontario Forest Research Institute. Applied Research and Development. Forest Research Note n° 68. Sault-Sainte-Marie (ON). 6 p. [<http://www.ontla.on.ca/library/repository/mon/22000/284498.pdf>]
- Ouimet, R. et L. Duchesne, 2009. *Dépôts atmosphériques dans les forêts au Québec – Retombées actuelles et tendances au cours des 20 à 30 dernières années*. Nat. Can. 133(1) : 56-64.
- Ouimet, R. et J.-M. Fortin, 1992. *Growth and foliar nutrient status of sugar maple: incidence of forest decline and reaction to fertilization*. Can. J. For. Res. 22 : 699-706.
- Ouimet, R., J.-D. Moore et L. Duchesne, 2008. *Effects of experimental acidification and alkalization on soil and growth and health of Acer saccharum Marsh.* J. Plant Nutr. Soil Sci. 171 : 858-871.
- Ouimet, R., J.-D. Moore et L. Duchesne, 2013. *Mise à jour des seuils de fertilité des sols pour diagnostiquer les carences en calcium, potassium et phosphore chez l'érable à sucre*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 137. 18 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Ouimet-Rock/Note137.pdf>]
- 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.

- Périé, C., R. Ouimet et L. Duchesne, 2006. *Évolution contemporaine des principales caractéristiques dendrométriques des stations du RÉSEF*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Mémoire de recherche forestière n° 149. 145 p. [<https://www.mffp.gouv.qc.ca/publications/forets/connaissances/recherche/Perie-Catherine/Memoire149.pdf>]
- Perkins, T., T. Wilmot et M. Zando, 2004a. *Fertilization of sugarbushes – Part I. Physiological effects*. Maple Syrup Digest 16A(3) : 23-27.
- Perkins, T., T. Wilmot et M. Zando, 2004b. *Fertilization of sugarbushes – Part II. Sap volume and sweetness*. Maple Syrup Digest 16A(4) : 15-18.
- Petro, F.J. et W.W. Calvert, 1976. *La classification des billes de bois franc destinées au sciage*. Ministère des pêches et de l'environnement, Service canadien des forêts. Ottawa (ON). 69 p.
- Québec, 2004. *Règlement sur la culture et l'exploitation d'une érablière dans les forêts du domaine de l'État, A-18.1, r.2, à jour au 1^{er} janvier 2018*, [Québec] Éditeur officiel du Québec, 4 p. [<http://legisquebec.gouv.qc.ca/fr/pdf/cr/A-18.1,%20R.%202.pdf>]
- Raymond, R., G. Laflamme et G. Godbout, 1976. *Pédologie du comté de Portneuf*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction générale de la recherche et de l'enseignement. Bulletin technique n° 18. 164 p. [http://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/surveys/pq/pq44/pq44_report.pdf]
- Statistique Canada, 2017. *Tableau 002-0055. Ratios financiers des exploitations agricoles, secteurs constitué et non constitué en société, Canada et provinces*. CANSIM. [<http://www5.statcan.gc.ca/cansim/a26?lang=fra&retrLang=fra&id=0020055>]
- Wild, A.D. et R.D. Yanai, 2015. *Soil nutrients affect sweetness of sugar maple sap*. For. Ecol. Manage. 341 : 30-36.
- Wilmot, T.R., P.W. Brett et M.T. Tyree, 1995. *Vigor and nutrition vs. sap sugar concentration in sugar maples*. North. J. Appl. For. 12 : 156-162.
- Wilmot, T.R., D.S. Ellsworth et M.T. Tyree, 1996. *Base cation fertilization and liming effects on nutrition and growth of Vermont sugar maple stands*. For. Ecol. Manage. 84 : 123-134.

Annexe

Volume simulé des différents grades de billes récoltées sous le scénario d'aménagement sylvicole du peuplement chaulé (modélisé par SaMARE) et du peuplement témoin non chaulé (modélisé par SaMARE modifié).

Traitement	Année	Espèce*	Volume par grade de produit (m ³ ·ha ⁻¹)						
			Déroulage	F1	F2	F3	F4	Pâte	Total
Avec chaulage	25	BOJ	0,213	0,140	0,743	1,206	0,173	1,074	3,548
		ERS	—	0,421	1,867	3 716	0,325	8 633	14,963
		HEG	—	—	0,187	0,499	0,050	2 198	2,935
		Total	0,213	0,561	2 797	5 421	0,548	11 905	21,445
	50	BOJ	0,292	0,254	0,970	1,507	0,231	1,985	5,240
		ERS	—	0,821	3 014	4 822	0,371	12 512	21,540
		HEG	—	—	0,206	1,005	0,139	5 442	6,791
		Total	0,292	1,075	4 190	7 333	0,742	19 939	33,571
	75	BOJ	0,225	0,219	0,861	1,363	0,208	1,952	4,827
		ERR	—	—	—	—	—	0,013	0,013
		ERS	—	0,754	2 191	3 091	0,229	8 565	14,830
		HEG	—	—	0,321	1,606	0,166	9 168	11,261
		Total	0,225	0,973	3 374	6 060	0,602	19 697	30,931
	100	BOJ	0,137	0,134	0,573	0,781	0,124	1,347	3,097
		ERR	—	—	—	0,004	—	0,012	0,016
		ERS	—	0,56	1,466	2 224	0,177	6 858	11,233
		HEG	—	—	0,367	1,227	0,100	8 289	9,983
		Total	0,137	0,640	2 407	4 237	0,401	16 506	24,329
	Total	BOJ	0,867	0,747	3 147	4 857	0,736	6 358	16,712
		ERR	—	—	—	0,004	—	0,025	0,029
		ERS	—	2 503	8 539	13 853	1,103	36 567	62,565
		HEG	—	—	1,081	4 337	0,455	25 097	30,970
		Total	0,867	3 250	12 768	23 051	2 293	68 047	110,276
Sans chaulage	25	BOJ	0,219	0,150	0,691	1,019	0,149	0,963	3,191
		ERS	—	0,045	0,335	0,741	0,065	1,602	2,787
		HEG	—	—	1,443	2 695	0,249	13 269	17,656
		Total	0,219	0,195	2 469	4 455	0,463	15 834	23,635
	50	BOJ	0,211	0,195	0,723	1,055	0,158	1,307	3,649
		ERS	—	0,124	0,508	1,064	0,092	2 367	4,155
		HEG	—	—	0,766	1,632	0,109	10 865	13,372
		Total	0,211	0,319	1,997	3 750	0,359	14 538	21,175
	75	BOJ	0,207	0,190	0,791	1,329	0,198	1,802	4,517
		ERR	—	—	—	0,021	—	0,028	0,049
		ERS	—	0,174	0,769	2 079	0,189	4 896	8,106
		HEG	—	—	0,596	1,283	0,089	9 437	11,405
		Total	0,207	0,364	2 155	4 711	0,477	16 163	24,077
	100	BOJ	0,230	0,229	0,956	1,199	0,187	1,821	4,622
		ERR	—	—	—	0,004	—	0,027	0,031
		ERS	—	0,205	0,846	1,993	0,174	4 806	8,025
		HEG	—	—	0,414	1,077	0,100	7 110	8,701
		Total	0,230	0,434	2 216	4 273	0,461	13 764	21,378
	Total	BOJ	0,867	0,764	3 161	4 602	0,692	5 892	15,979
		ERR	—	—	—	0,025	—	0,055	0,080
		ERS	—	0,547	2 458	5 876	0,521	13 670	23,073
		HEG	—	—	3 219	6 686	0,547	40 681	51,134
		Total	0,867	1,312	8 838	17 189	1,760	60 299	90,265

* BOJ : bouleau jaune; ERR : érable rouge; ERS : érable à sucre; HEG : hêtre à grandes feuilles.



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., A. Leroux, L. Duchesne et J.-D. Moore, 2018. *Rentabilité financière du chaulage des érablières: étude de cas*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 152, 18 p.

ISSN 0834-4833

ISBN : 978-2-550-81744-4

ISBN (pdf) : 978-2-550-81745-1

G.F.D.C.: 672.1--015.3(714)

L.C.: SD397.S775

Dépôt légal 2018

Bibliothèque nationale du Québec

© 2018 Gouvernement du Québec

**Forêts, Faune
et Parcs**

Québec 