



## Effet du haut vacuum sur la croissance des érables à sucre en Estrie : résultats préliminaires

Rock Ouimet, ing.f., Ph. D.

### Résumé

Avec les nouvelles techniques employées dans la fabrication des pompes à vide et une meilleure gestion des fuites provenant de la tubulure, de plus en plus d'acériculteurs et d'acéricultrices passent d'un degré de vide (vacuum) « standard » de 68 à 75 kPa (20-22 po Hg) à un « haut vacuum » de 85 kPa ou plus ( $\geq 25$  po Hg). Afin de déterminer si une telle augmentation de vide pouvait se refléter à court terme dans la croissance des arbres, nous avons échantillonné des érables à sucre (*Acer saccharum* Marshall) dans 47 érablières en Estrie et mesuré leur croissance radiale en surface terrière grâce à la dendrochronologie. De ces érablières, 24 étaient sous vacuum standard et 23 autres étaient sous haut vacuum. L'analyse a aussi tenu compte du chaulage préalable des stations et de la classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) à laquelle appartenait chacun des arbres échantillonnés. Les résultats montrent qu'au moment d'atteindre le diamètre minimal d'entaillage (20 cm), les érables faisant aujourd'hui partie de la classe de DHP < 25 cm avaient en moyenne une croissance plus lente que ceux faisant aujourd'hui partie des classes de plus gros DHP. Dans les stations qui n'avaient pas été chaulées durant les années 2010, l'entaillage sous vide, tant standard qu'à haut vacuum, a entraîné une baisse de croissance en surface terrière de 25 % sur 15 ans chez les érables de la classe de DHP < 25 cm. L'analyse indique cependant que le haut vacuum n'a pas d'effet constant sur la croissance des arbres comparativement au vacuum standard, du moins sur 5 ans.

Mots clés : Érablières sucrières, entaillage sous vide, croissance en surface terrière, région de l'Estrie

### Abstract

*With new techniques employed in the manufacture of vacuum pumps and better management of tubing leakage, maple syrup producers are currently moving from a "standard" vacuum of 68-75 kPa (20-22 inches Hg) to a "high vacuum" of 85 kPa or more ( $\geq 25$  inches Hg). To assess whether such an increase in vacuum could affect tree growth in the short term, we sampled sugar maples (*Acer saccharum* Marshall) in 47 maple stands in the Eastern Townships and we measured their radial growth in basal area using dendrochronology. Of these sugar bushes, 24 were under standard vacuum and 23 others were under high vacuum. The analysis also took into account the previous liming of the sites as well as the diameter at breast height (DBH) class to which each of the sampled trees belonged. The results show that at the time of reaching the minimum tapping diameter (20 cm), the trees that are now in the <25 cm DBH class were growing more slowly than those now in the larger DBH class. On sites that had not been limed during the 2010s, both standard and high-vacuum tapping resulted in a 25% decrease in basal area growth over 15 years for maples in the <25 cm DBH class. However, the analysis indicates that a high vacuum did not consistently affect tree growth compared to the standard vacuum, at least over 5 years.*

Keywords: basal area growth, Eastern Townships, sugar maple bush, vacuum tapping

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.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca](mailto:recherche.forestiere@mrnf.gouv.qc.ca)  
Site Web : [recherche forestière gouvernementale](http://recherche.forestiere.gouvernementale)

Correspondance : [rock.ouimet@mffp.gouv.qc.ca](mailto:rock.ouimet@mffp.gouv.qc.ca)

## 1. Introduction

Le sirop d'érable est produit exclusivement en Amérique du Nord, et environ 70 % de la production provient du Québec. Selon l'association des acériculteurs et acéricultrices de la province (PPAQ 2019), le nombre d'entailles n'a cessé d'augmenter au cours des 30 dernières années au Québec, passant de 17,5 millions en 1988 à 46,8 millions en 2018. L'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall) produit dans son xylème de la sève constituée d'une solution diluée d'eau et de sucre (saccharose à 99,9 %) avec des traces d'autres solides non sucrés, notamment des acides organiques, des composés azotés et des sels inorganiques (Lagacé *et al.* 2019). La teneur en sucre de la sève peut varier de 1 % à 10 %, mais elle se situe le plus souvent entre 2 % et 6 %.

Pendant les décennies 1980 à 2010, le rendement moyen en sirop par entaille a augmenté de 31 % au Québec (de 1,94 livre [0,88 kg] à 2,68 livres [1,22 kg] par entaille; FPAQ 2006, PPAQ 2019). La modernisation des méthodes de collecte et de traitement de la sève (tubulure en plastique, pompes à vide et nouvelles méthodes d'entaillage) explique en partie cette augmentation du rendement (Blum et Koelling 1968, Isselhardt *et al.* 2016, Kelley et Staats 1989). Cependant, des appréhensions subsistent quant aux effets possibles de cette augmentation de la récolte de sève sur la santé des arbres.

La récolte de sève au printemps représente un prélèvement estimé de moins de 1 % à plus de 10 % des réserves d'un érable à sucre (Wilmot *et al.* 2007). L'extraction des glucides non structurels (GNS) peut diminuer les réserves énergétiques et de carbone des arbres. À son tour, la reconstitution de cette réserve de GNS peut entrer en compétition avec d'autres puits de carbone, comme la croissance. Ce processus sera actif, semi-actif ou même passif, selon le métabolisme de l'espèce et l'exposition au stress (Chapin *et al.* 1990, Delaporte *et al.* 2016, Dietze *et al.* 2014). Par exemple, le fait que la réduction de la croissance des arbres sous stress ne soit pas liée à une baisse de la réserve de GNS indique que les arbres peuvent prioriser le stockage du carbone au détriment de la croissance (Silpi *et al.* 2007, Wiley *et al.* 2013). Dans le cas de l'érable à sucre, des études ont montré que l'entaillage peut réduire la croissance des arbres dans certaines stations (Copenheaver *et al.* 2014, Ouimet *et al.* 2021, van

den Berg *et al.* 2016). Dans l'étude de van den Berg *et al.* (2016), 35 % des arbres sous vacuum avaient un taux de croissance inférieur à celui considéré «durable». La variété des réactions observées peut être liée à l'aménagement et à la fertilité de la station. En effet, l'érable à sucre étant une espèce relativement exigeante en ce qui concerne la nutrition minérale, sa croissance et sa santé sont fortement dépendantes des nutriments disponibles dans le sol, notamment le calcium (Ca) (Bal *et al.* 2015, Cleavitt *et al.* 2021, Ouimet *et al.* 2017). La carence en nutriments minéraux, notamment en Ca, est une cause du dépérissement de la cime, de la réduction de la croissance des arbres et du déclin des peuplements d'érablières sur des stations dont le sol est pauvre en bases (Moore *et al.* 2015). À son tour, le volume de sève extractible est lié négativement au dépérissement en cime (Moore *et al.* 2020, Wilmot *et al.* 1995).

Avec les nouvelles techniques employées dans la fabrication des pompes à vide et une meilleure gestion des fuites de la tubulure, de plus en plus de propriétaires d'érablières passent d'un vacuum «standard» (vide de 68 à 75 kPa, soit 20-22 po Hg) à un «haut vacuum» (vide de 85 kPa et plus, soit  $\geq 25$  po Hg). Il a été démontré que le volume de sève extractible augmentait de manière linéaire en fonction du degré de vide dans la tubulure (Blum et Koelling 1968, Wilmot *et al.* 2007). Par exemple, une augmentation de 68 à 95 kPa (c'est-à-dire de 20 à 28 po Hg) permet d'augmenter le rendement en sève d'érable de 38 % (Lagacé *et al.* 2019). Le degré maximal de vide atteignable au niveau de la mer serait de 101 kPa, soit 30 po Hg (Wilmot *et al.* 2007).

Dans la présente étude, nous avons voulu déterminer si l'application d'un haut vacuum ( $\geq 85$  kPa) pouvait se refléter à court terme dans la croissance radiale des érables. L'hypothèse est qu'un tel haut vacuum peut causer une baisse de croissance par rapport à un vacuum standard en raison de l'extraction d'un volume supplémentaire de sève, en particulier chez les arbres de plus petit diamètre (DHP de 20-25 cm), qui sont plus susceptibles d'être affectés par ce traitement. Les données de dendrochronologie disponibles permettaient aussi de vérifier l'hypothèse selon laquelle l'entaillage sous vide lui-même pouvait causer une baisse de croissance des arbres.

## 2. Matériel et méthodes

### 2.1. Stations d'étude

Dans le cadre de cette étude, nous avons sélectionné un total de 47 érablières en Estrie (tableau 1, figure 1). Toutes étaient sur des terres privées et exploitées pour la sève depuis plusieurs décennies. De plus, toutes étaient équipées de tubulure sous vide ( $< 84,7$  kPa ou  $< 24$  po Hg) depuis plusieurs années (vacuum de 57,6 kPa à 81,3 kPa ou de 17 à 24 po Hg, selon les propriétaires). Parmi ces érablières, 18 avaient reçu un traitement de chaulage durant les années 2010 (moyenne et écart-type :  $2012 \pm 3$  ans; de 2,5 à 5 t·ha<sup>-1</sup> de chaux agricole). De plus, dans 23 des 47 érablières, le vacuum avait été augmenté à 85 kPa ou plus ( $\geq 25$  po Hg) jusqu'à 10 ans avant l'échantillonnage (médiane = 5 ans; vacuum = de 85 à 92 kPa, soit de 25 à 27 po Hg). Lors de l'échantillonnage en 2019, la surface terrière dans ces 47 érablières était de  $21,7 \pm 4,6$  m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup> (moyenne  $\pm$  écart-type).

Comme érablières témoins sans intervention, nous avons aussi utilisé les données de dendrochronologie de 3 stations de suivi (n<sup>os</sup> 501, 502 et 1201) du Réseau d'étude et de surveillance des écosystèmes forestiers du Québec (RESEF), réseau dont le principal objectif est de suivre l'évolution des peuplements en réaction aux stress environnementaux (Gagnon *et al.* 1994). Ce sont des érablières situées sur des terres publiques et protégées de toute intervention sylvicole, y compris de la récolte de sève (figure 1). Chacune des placettes-échantillons occupe une superficie de 0,5 ha et est entourée d'une bande de protection de 100 m. La surface terrière y varie de 25 à 31 m<sup>2</sup>·ha<sup>-1</sup>.

La majorité des arbres de taille marchande sont des érables à sucre dont le diamètre moyen à hauteur de poitrine (DHP, mesuré à une hauteur de 1,3 m) varie en moyenne de 20,3 à 56,2 cm selon la station.

### 2.2. Échantillonnage

Dans chaque station d'étude, nous avons sélectionné au hasard 10 érables à sucre en position de dominant ou codominant, qui avaient déjà été entaillés et qui ne montraient pas de signes de dépérissement. Leur DHP (moyenne  $\pm$  écart-type) était de  $26,2 \pm 4,6$  cm (étendue de variation : de 15,9 à 45,8 cm). Une carotte de sondage a été prélevée sur chaque arbre à environ 80 cm du sol pour éviter les cicatrices d'entaille. Des échantillons de sol (dans l'horizon H et dans les 15 premiers centimètres de l'horizon B) ont aussi été prélevés à proximité des arbres échantillonnés dans les érablières pour lesquelles nous n'avions pas de données d'analyses du sol.

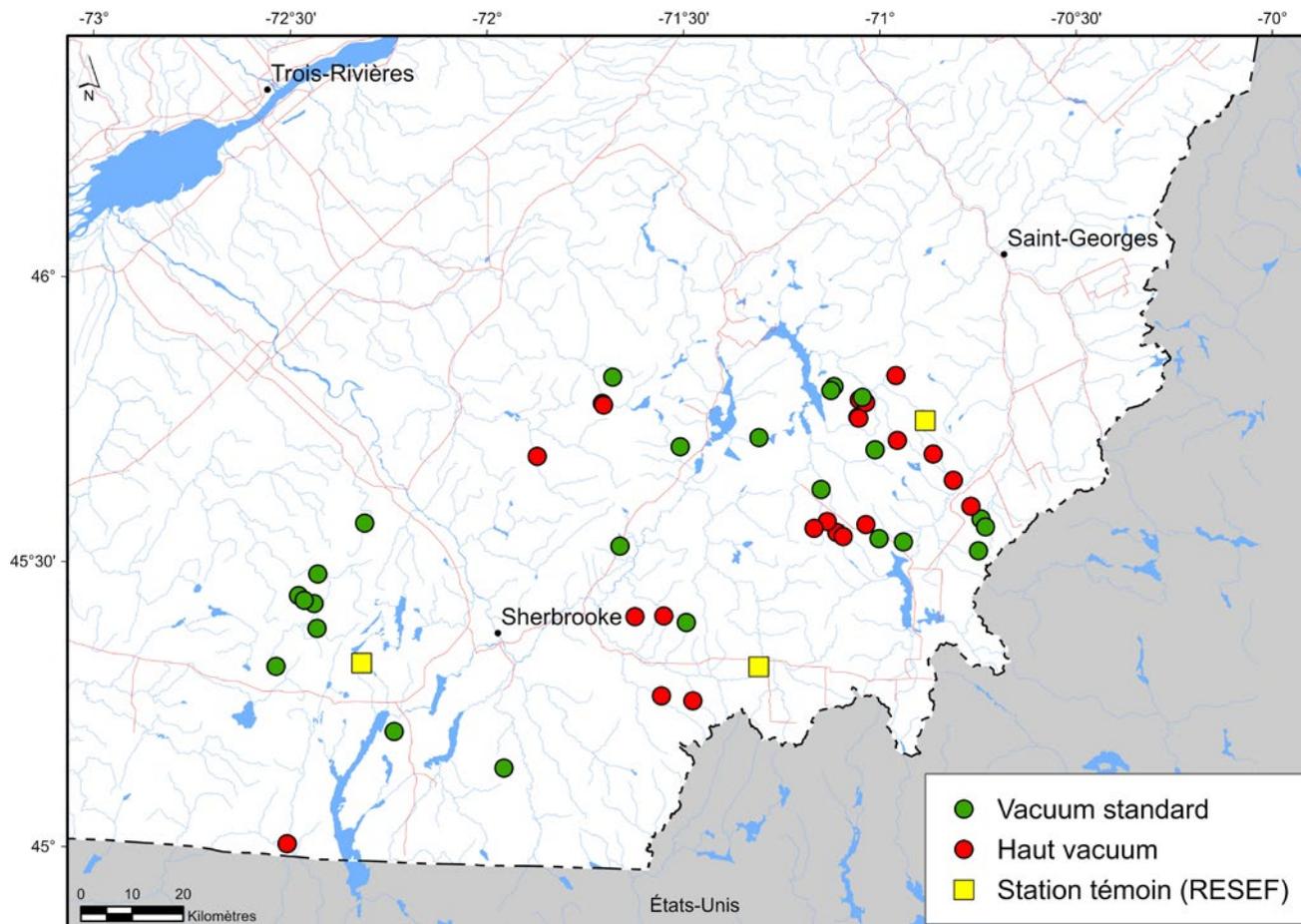
### 2.3. Traitement des échantillons

Les sols ont été séchés à l'air et tamisés à 2 mm. Ensuite, leurs cations échangeables ont été extraits par la méthode Mehlich III (Tran et Simard 1993). Leur taux de matière organique a été déterminé par perte au feu. Les échantillons de sol d'érablières que nous possédions déjà ont été traités de la même manière en laboratoire. Nous avons utilisé ces données pour évaluer la présence de carences nutritives chez l'érable à sucre à l'aide de l'application DELFES (Ouimet *et al.* 2012).

Les carottes de sondage ont été séchées à l'air, collées sur des gabarits et sablées. Après avoir été

**Tableau 1.** Caractéristiques des peuplements et du milieu des 47 stations d'étude.

Variable	Description
Classe de densité du peuplement	De 61 % à 100 %
Structure d'âge du peuplement	Jeune inéquienne ou vieux inéquienne
Classe de hauteur du peuplement	$\geq 12$ m
Classe de pente	De 4 % à 15 %
Dépôt de surface	1A (till glaciaire indifférencié $\geq 1$ m d'épaisseur) ou 1AY (till glaciaire indifférencié de 0,5 à 1 m d'épaisseur)
Classe de drainage	30 (modéré)
Type de sol	2 (station au dépôt de mince à épais, de texture moyenne et de drainage mésique)
Superficie	De 4 à 26 ha



**Figure 1.** Carte de l'emplacement des 47 érablières à l'étude dans la région de l'Estrie.

détectés à l'aide d'un microscope stéréoscopique, les cernes annuels ont été mesurés au 1 µm près à l'aide du logiciel WinDENDRO<sup>MD</sup> (Régent Instruments inc.). Quelques carottes n'ont pu être mesurées avec confiance et ont été rejetées. Au total, nous avons retenu 454 carottes pour l'analyse. Les mesures d'accroissement radial ont ensuite été converties en mesure d'accroissement en surface terrière (AST) à l'aide du module *dpIR* dans l'environnement R (Bunn *et al.* 2013). Les calculs de ce module se basent sur l'hypothèse que les arbres ont un pourtour circulaire et que la largeur des cernes mesurés à 80 cm de hauteur est la même qu'à hauteur de poitrine (1,3 m).

## 2.4. Analyses statistiques

Afin de déterminer si le diamètre des arbres influençait leur réaction à l'entaillage et au degré de vide, nous avons séparé les arbres en deux groupes selon leur DHP au moment de l'étude, soit DHP : < 25 cm et ≥ 25 cm. Nous avons choisi ce seuil pour tester l'hypothèse que les arbres de petit diamètre risquaient d'être plus affectés par l'entaillage et le

haut vacuum que ceux de plus gros diamètre.

Dans un premier temps, nous avons vérifié si ces classes de DHP influençaient l'évolution de l'AST lorsque les arbres atteignent la classe de DHP de 20 cm, soit ≥ 19,1 cm. Pour ce faire, nous avons analysé les données d'AST des arbres des 3 stations témoins du RESEF. Les séries temporelles d'AST des érables à sucre ont été réalignées de manière à ce que le temps 0 corresponde à la classe de DHP de 20 cm (DHP ≥ 19,1 cm). Nous avons ensuite comparé les séries temporelles des arbres de la classe de DHP < 25 cm à ceux de la classe DHP ≥ 25 cm à l'aide du module *CausalImpact* dans l'environnement R (Brodersen *et al.* 2015). Ce module permet d'évaluer l'inférence causale à l'aide de modèles structurels bayésiens de séries temporelles, ici de l'AST. En bref, à partir d'une série temporelle de réponses (dans le cas présent, l'AST de chaque arbre avant et après qu'il ait atteint le diamètre limite d'entaillage) et d'un ensemble de séries temporelles de contrôle (soit la série temporelle d'AST des arbres ayant un DHP ≥ 25 cm des 3 stations témoins), le

module construit un modèle structurel bayésien de séries temporelles. Ce modèle est ensuite utilisé pour prédire la situation contre-factuelle, c'est-à-dire comment l'AST des arbres de DHP < 25 cm aurait évolué après l'atteinte du diamètre limite d'entaillage.

Dans un deuxième temps, nous avons analysé l'effet de l'entaillage et du chaulage dans les stations d'étude. Nous avons présumé que les arbres avaient été entaillés à partir du moment où ils avaient atteint la classe de DHP de 20 cm ( $\geq 19,1$  cm), sauf lorsque le propriétaire de l'érablière était en mesure de préciser l'année où les arbres ont commencé à être entaillés. Les données d'AST ont été analysées à l'aide du module *CausalImpact* dans l'environnement R, avec comme séries de contrôle les séries temporelles d'AST des arbres de DHP < 25 cm et de DHP  $\geq 25$  cm des 3 stations du RESEF. Pour ce faire, nous avons réaligné les séries temporelles d'AST de chaque arbre des stations d'étude à partir du moment où leur DHP a atteint la classe de 20 cm (ou l'année du début de l'entaillage précisé par le propriétaire).

Dans un troisième temps, nous avons analysé l'effet de l'application du haut vacuum. Les données montrent que ce traitement avait été appliqué en moyenne depuis 5 ans. Nous avons analysé les données d'AST des arbres comme à la première analyse, mais en réalignant les séries temporelles d'AST de chaque arbre à partir de l'année du début du haut vacuum indiquée par le propriétaire de chaque érablière. Comme la majorité des arbres avaient déjà été entaillés avant ce moment, il n'était pas possible d'employer les données des stations du RESEF comme témoin. Nous avons plutôt choisi de modéliser les séries temporelles d'AST avant l'augmentation du vide (pour les 0-29 ans précédents), puis de les projeter pour la période suivant l'application du haut vacuum pour déterminer si celui-ci avait modifié l'AST. Cette modélisation a été effectuée à l'aide du module *bsts* dans l'environnement R (Scott 2021). Les résultats de ces analyses ont permis d'évaluer si l'AST des arbres différait significativement en fonction du degré de vide auquel ceux-ci étaient soumis.

Les hypothèses sous-jacentes à ces analyses sont qu'il existe un ensemble de séries temporelles de contrôle qui n'ont pas été affectées par l'intervention. Nous avons présumé également que la relation établie pendant la période prétraitement entre les covariables (c'est-à-dire l'AST des arbres témoins du RESEF) et les séries temporelles des arbres traités restait stable pendant toute la période post-traitement.

## 3. Résultats et discussion

### 3.1. Propriétés physicochimiques des sols

Dans la plupart des stations d'étude, les propriétés du sol (tableau 2) étaient proches des valeurs considérées comme adéquates pour la nutrition de l'érable à sucre (Ouimet *et al.* 2012). Aucune différence des propriétés physicochimiques n'a été détectée entre des sols des érablières qui avaient été chaulées et celles qui ne l'avaient pas été ( $p \geq 0,297$ ).

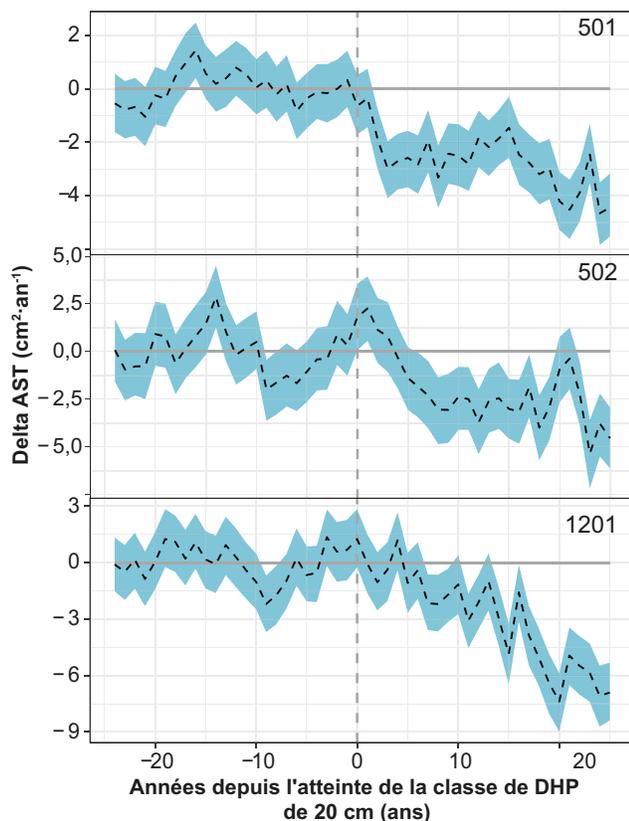
**Tableau 2.** Propriétés physicochimiques (moyennes, avec écart-type entre parenthèses) de l'humus et de l'horizon B dans les sols des 47 stations d'étude.

Variable	Humus	Horizon B
pH eau	4,57 (0,60)	4,96 (0,42)
pH tampon	5,33 (0,36)	5,58 (0,27)
Matière organique (%)	27,26 (12,59)	8,37 (4,74)
Saturation Ca (%)	36,48 (19,08)	23,11 (23,95)
Saturation Mg (%)	8,44 (4,08)	4,83 (3,86)
Ca/Mg	4,63 (2,28)	4,78 (3,57)
K/Mg	0,28 (0,12)	0,38 (0,25)
Ca/acidité	6,98 (33,49)	29,05 (26,79)

### 3.2. Effet de la classe de diamètre sur la croissance, une fois atteint le seuil de DHP de 20 cm

Les données d'AST des 3 érablières témoins du RESEF montrent qu'en moyenne, après avoir atteint la classe de DHP de 20 cm, les érables aujourd'hui de la classe de DHP < 25 cm ont connu une diminution de croissance significative par rapport à celle qu'avaient les arbres de la classe de DHP  $\geq 25$  cm au moment d'atteindre la classe de 20 cm (figure 2). Ceci s'explique par le fait qu'une proportion des arbres dans la classe de DHP < 25 cm n'atteindra pas la classe de DHP  $\geq 25$  cm et mourra en raison, entre autres, de la compétition intra- et interspécifique (facteur q de Liocourt; Picard et Gasparotto 2016).

Par contre, les érables de la classe de DHP  $\geq 25$  cm sont des survivants de la classe de DHP  $< 25$  cm (Duchesne *et al.* 2019); ils étaient donc probablement en meilleure position que leurs compétiteurs et auraient connu une meilleure croissance, en moyenne, pour survivre une fois la classe de DHP de 20 cm atteinte.

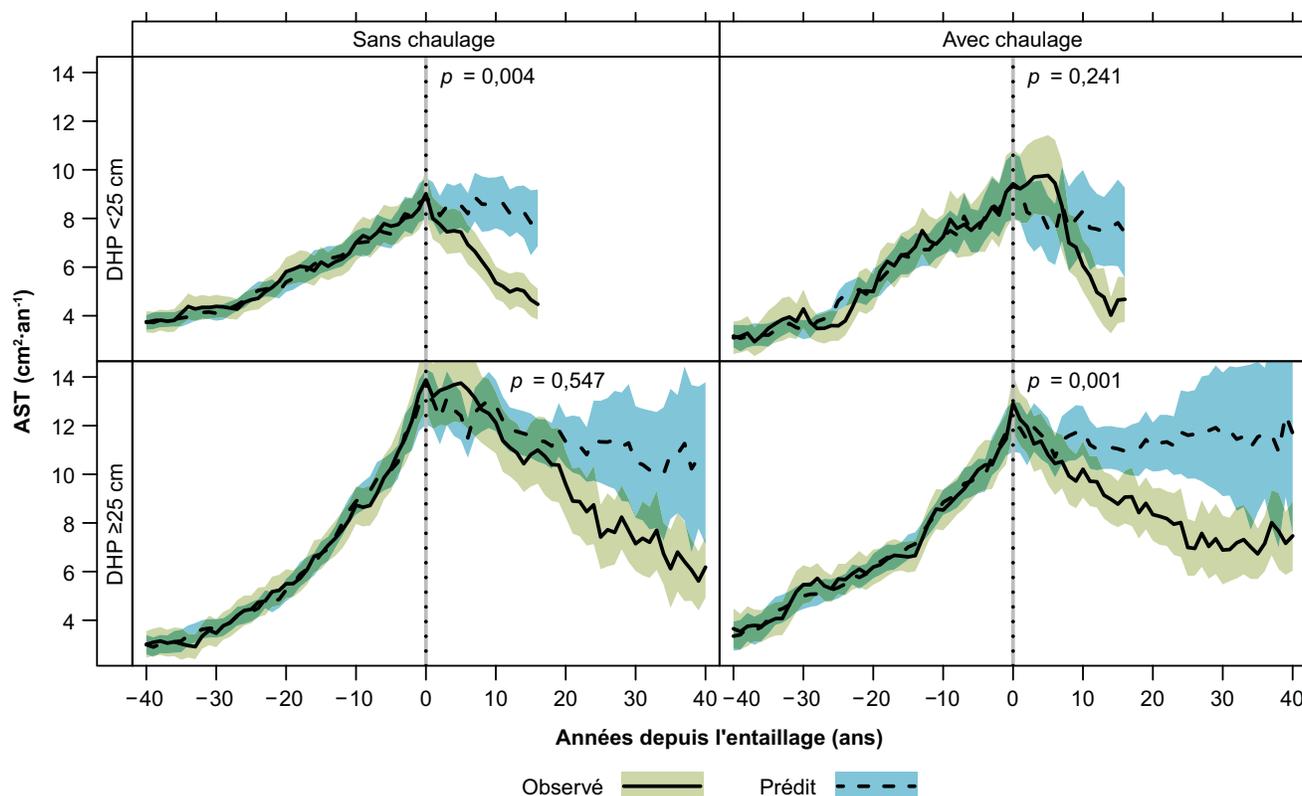


**Figure 2.** Différence moyenne d'accroissement en surface terrière (delta AST) entre les érables de la classe de DHP  $< 25$  cm (19,1–24,5 cm) et ceux de la classe de DHP  $\geq 25$  cm au moment de l'étude, en fonction du nombre d'années pour que les arbres atteignent la classe de DHP de 20 cm, dans les 3 érablières témoins (stations du RESEF n<sup>os</sup> 501, 502 et 1201, toutes situées en Estrie). Une valeur négative du nombre d'années signifie que les arbres n'ont pas atteint la classe de DHP de 20 cm. Une valeur négative du delta AST signifie que les arbres de DHP  $< 25$  cm ont eu une croissance plus faible que ceux de DHP  $\geq 25$  cm. La largeur des bandes autour des valeurs moyennes représente l'intervalle de confiance à 95 %. La différence de croissance entre les 2 classes de diamètre est significative au taux de probabilité  $p \leq 0,017$  dans les 3 stations.

### 3.3. Effet de l'entaillage et du chaulage sur la croissance

Les résultats des analyses indiquent que le chaulage et l'entaillage sous vacuum (quelle que soit son intensité) ont eu des effets distincts selon la classe de DHP des arbres. Chez les arbres appartenant à la classe de DHP  $< 25$  cm, la croissance a été réduite de 25 % par l'entaillage dans les stations non chaulées ( $p = 0,004$ ), tandis que dans les stations chaulées, elle n'a pas été différente par rapport aux arbres des stations du RESEF qui n'avaient été ni chaulées, ni entaillées ( $p = 0,241$ ; figure 3). Chez les arbres appartenant à la classe de DHP  $\geq 25$  cm, la croissance n'a pas été affectée par l'entaillage sous vacuum (toutes intensités confondues) dans les stations non chaulées ( $p = 0,547$ ), mais elle a été réduite de 17 % par l'entaillage dans les stations chaulées ( $p = 0,001$ ).

Cette différence de comportement entre les arbres des deux classes de diamètre s'explique, du moins en partie, par le synchronisme entre le moment d'application de la chaux, soit au début des années 2010, et l'atteinte des classes de DHP par les arbres. Dans les stations non chaulées, au moment où les arbres ont atteint la classe de DHP de 20 cm, les arbres aujourd'hui de classe de DHP  $< 25$  cm étaient vraisemblablement moins vigoureux que ceux de la classe de DHP  $\geq 25$  cm. À l'opposé, dans les stations qui ont reçu de la chaux au moment d'atteindre la classe de DHP de 20 cm, les arbres aujourd'hui de classe de DHP  $< 25$  cm ont pu profiter du traitement de chaux et étaient vraisemblablement plus vigoureux que ceux de la classe de DHP  $\geq 25$  cm. Ces derniers n'avaient pas encore été chaulés lorsqu'ils se trouvaient dans la classe de DHP de 20 cm, ce qui explique la baisse de leur croissance dans les stations depuis chaulées. Le chaulage semble donc avoir eu un effet positif sur la croissance des érables de DHP  $< 25$  cm, bien que les analyses du sol n'aient pas montré de différence significative entre les stations chaulées ou non. Il semble que des facteurs de station autres que la physicochimie du sol peuvent influencer la réaction des arbres à l'entaillage (Ouimet *et al.* 2021). Dans une expérience de coupe d'éclaircie à la station forestière de Duchesnay réalisée durant les années 1974-1994, Pothier (1996) n'a rapporté aucun effet de l'entaillage pendant 15 années consécutives sur la croissance en DHP des érables. Cependant, dans son étude, l'effet possible de l'éclaircie n'a pas pu être isolé et a pu masquer celui de l'entaillage. Par ailleurs, d'autres études ont montré que la croissance radiale chez des arbres entaillés pouvait baisser significativement par rapport à celle des arbres non entaillés. Par exemple, une baisse de 50 % a été observée dans 2 érablières,



**Figure 3.** Effet de l'entailage sur l'accroissement en surface terrière des érables à sucre (AST) en fonction de leur classe de diamètre (DHP < 25 cm et DHP ≥ 25 cm) et du chaulage de la station d'étude. La largeur des bandes autour des valeurs moyennes représente l'intervalle de confiance à 95 %. Les valeurs de croissance prédites en AST proviennent de la relation entre la croissance des arbres des stations d'étude et ceux des parcelles témoins du RESEF.

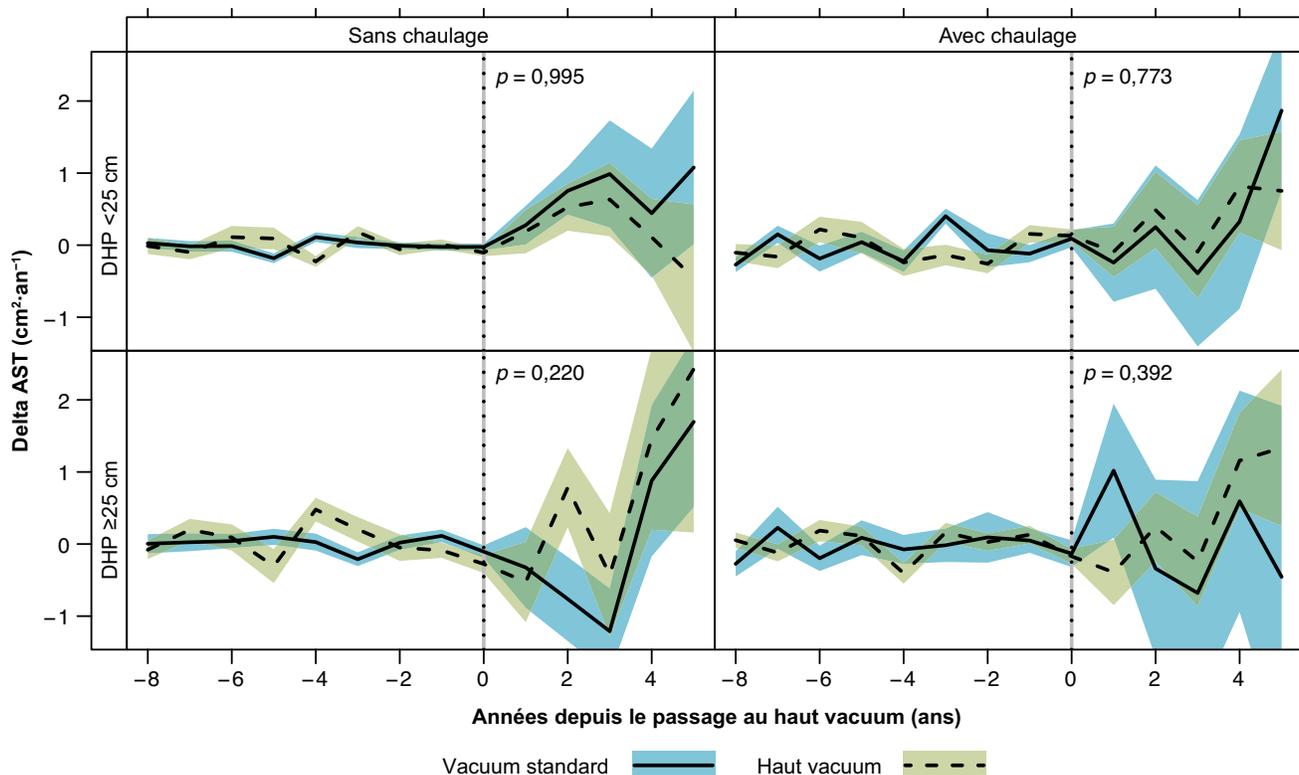
l'une située en Pennsylvanie et l'autre, en Ontario (Copenheaver *et al.* 2014). De même, une baisse de 32 % à 43 % a été observée dans une érablière située au Vermont (Isselhardt *et al.* 2016). Cependant, cette dernière étude n'a porté que sur une année. Dans une autre étude réalisée dans 18 peuplements d'érable à sucre au Vermont, les taux de croissance de nombreux arbres sains se sont révélés suffisants pour un entailage à long terme (van den Berg *et al.* 2016), mais 27 % à 42 % des arbres échantillonnés dans ces érablières avaient des taux de croissance individuels inférieurs à celui considéré comme durable. Au Québec, l'entailage a causé une baisse de la croissance en surface terrière des érables à sucre de l'ordre de 33 % sur 10 ans, mais seulement dans l'une des 7 érablières étudiées dans les Appalaches (Ouimet *et al.* 2021).

On remarque aussi que lorsqu'ils ont atteint un DHP de 20 cm, les arbres qui se trouvent maintenant dans la classe de DHP ≥ 25 cm ont eu une meilleure croissance que ceux qui sont maintenant dans la classe de DHP < 25 cm ( $+4,6 \pm 0,5 \text{ cm}^2 \cdot \text{an}^{-1}$ , soit +52 %,  $p < 0,001$ ; figure 3). À ce seuil, les arbres aujourd'hui de classe de DHP ≥ 25 cm avaient des

cernes annuels 40 % plus larges ( $1,86 \pm 0,02 \text{ mm}$ ) que ceux maintenant dans la classe de DHP < 25 cm ( $1,33 \pm 0,02 \text{ mm}$ ). Encore ici, cette différence est attribuable en grande partie au fait que les arbres de classe de DHP ≥ 25 cm sont les survivants et ne comprennent pas les arbres moins vigoureux qui ont disparu depuis.

### 3.4. Effet à court terme du haut vacuum sur la croissance

La figure 4 montre la différence d'AST au cours des 8 années précédant l'application du haut vacuum ( $\geq 85 \text{ kPa}$  ou 25 po Hg) et les 5 années suivantes, selon la classe de DHP des arbres et le traitement de chaulage. Dans tous les cas, aucune différence de croissance généralisée n'a pu être décelée selon le degré de vide appliqué pendant 5 ans ( $p \geq 0,220$ ). L'examen des tendances de croissance individuelles indique que chez 44 % des arbres, la croissance a diminué à la suite de l'application du haut vacuum, tandis que chez 56 % d'entre eux, la croissance est restée la même ou a augmenté après l'application du haut vacuum.



**Figure 4.** Différence d'accroissement en surface terrière (delta AST) des érables à sucre en fonction de l'année depuis l'application du haut vacuum ( $\geq 85$  kPa ou 25 po Hg) en comparaison au vacuum standard ( $< 85$  kPa ou 25 po Hg), de la classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP  $< 25$  cm et DHP  $\geq 25$  cm) et du chaulage des stations d'étude. La largeur des bandes autour des valeurs moyennes représente l'intervalle de confiance à 95 %.

Nous avons refait l'exercice avec 9 érablières où l'installation du vacuum a eu lieu en 2010, avec un haut vacuum pour 4 d'entre elles. Nous n'avons pas trouvé de différence significative dans la croissance des arbres entre ces 2 traitements sur les 9 ans de données de croissance ( $p = 0,627$ ).

Cette variation de réaction de croissance selon l'usage du haut vacuum peut s'expliquer en partie par le fait que la proportion de carbone extrait par l'entaillage ne représente qu'une faible partie (de 4 à 6 %) des produits de la photosynthèse entreposés dans les arbres (Isselhardt *et al.* 2014, Ouimet *et al.* 2021). L'augmentation du volume de sève extrait par l'usage du haut vacuum, comparativement au vacuum standard, ne semble pas avoir eu d'effet sur la composition de cette sève en sucre, ni en éléments nutritifs, ni en acide abscissique (hormone de stress), ni en auxine (hormone de croissance) (Lagacé *et al.* 2019, Wilmot *et al.* 2007). Il reste à déterminer si la réaction des arbres se modifiera à plus long terme, surtout pour ceux de la classe de DHP  $< 25$  cm, en particulier lorsqu'ils subiront des stress importants.

## 4. Conclusion

Les données de croissance d'arbres individuels dans 47 érablières en Estrie montrent que les érables à sucre de la classe de DHP  $< 25$  cm dans les stations qui n'ont pas été chaulées durant les années 2010 ont subi une baisse de croissance en surface terrière de 25 % sur 15 ans en raison de l'entaillage sous vide. Cependant, il n'y a pas d'effet généralisé du haut vacuum sur la croissance des arbres comparativement au vacuum standard, du moins sur 5 ans. Il reste à vérifier l'absence d'effets cumulatifs et à plus long terme, en particulier chez les arbres de la classe de DHP  $< 25$  cm.

À la lumière des résultats, nous recommandons de procéder à des analyses foliaires afin de vérifier plus précisément la présence de carences nutritionnelles, en particulier chez les arbres de la classe de DHP  $< 25$  cm et, si possible, d'augmenter le diamètre minimal d'entaillage afin de contribuer à maintenir, sinon à augmenter la vigueur des arbres.

## Remerciements

Ce travail a été financé par le ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs (projet n° 142332065 de la Direction de la recherche forestière). L'auteur tient à remercier Gabriel Weiss, agr. (ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Direction régionale de l'Estrie) pour la sélection des érablières et l'échantillonnage des arbres, les propriétaires d'érablières qui ont gracieusement accepté de faire partie de l'étude, Stéphane Tremblay pour ses commentaires judicieux sur le manuscrit en prélecture, Simon Désalliers pour la préparation et la mesure des carottes de sondage des arbres, le laboratoire de chimie organique et inorganique de la Direction de la recherche forestière pour les analyses de sol, Steve Bédard qui a été responsable de la révision scientifique du manuscrit, les deux réviseurs ou réviseuses anonymes qui y ont apporté des commentaires judicieux, Maude-Emmanuelle Hajjaj, Armelle Ginet et Denise Tousignant pour l'édition et Maripierre Jalbert pour le montage graphique du document.

## Références bibliographiques

- 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. <https://doi.org/10.1093/forestry/cpu051>
- Blum, B.M. et M.R. Koelling, 1968. *Vacuum pumping increases sap yields from sugar maple trees*. U.S.D.A., Forest Service, Northeastern Forest Experiment Station, Upper Darby, PA (États-Unis). Research Paper NE-106. 14 p. <https://www.srs.fs.usda.gov/pubs/viewpub.php?index=3924>
- Brodersen, K.H., F. Gallusser, J. Koehler, N. Remy et S.L. Scott, 2015. *Inferring causal impact using Bayesian structural time-series models*. *Ann. App. Stat.* 9(1): 247-274. <https://doi.org/10.1214/14-AOAS788>
- Bunn, A., M. Korpela, F. Biondi, F. Campelo, P. Mérian, M. Mudelsee, F. Qeadan, M. Schulz et C. Zang, 2013. *dplR: Dendrochronology program library in R*. R package version 1.5.7.
- Chapin, F.S., III, E.-D. Schulze et H.A. Mooney, 1990. *The ecology and economics of storage in plants*. *Annu. Rev. Ecol. Syst.* 21: 423-447. <https://doi.org/10.1146/annurev.es.21.110190.002231>
- 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(7): 2754-2768. <https://doi.org/10.1111/1365-2745.13687>
- Copenheaver, C.A., R.C. McCune, E.A. Sorensen, M.F.J. Pisaric et B.J. Beale, 2014. *Decreased radial growth in sugar maple trees tapped for maple syrup*. *For. Chron.* 90(06): 771-777. <https://doi.org/10.5558/tfc2014-149>
- Delaporte, A., S. Bazot et C. Damesin, 2016. *Reduced stem growth, but no reserve depletion or hydraulic impairment in beech suffering from long-term decline*. *Trees* 30(1): 265-279. <https://doi.org/10.1007/s00468-015-1299-8>
- Dietze, M.C., A. Sala, M.S. Carbone, C.I. Czimczik, J.A. Mantooth, A.D. Richardson et R. Vargas, 2014. *Nonstructural carbon in woody plants*. *Annu. Rev. Plant Biol.* 65(1): 667-687. <https://doi.org/10.1146/annurev-arplant-050213-040054>
- Duchesne, L., D. Houle, R. Ouimet, L. Caldwell, M. Gloor et R.J.W. Brienen, 2019. *Large apparent growth increases in boreal forests inferred from tree-rings are an artefact of sampling biases*. *Sci. Rep.* 9(1): 6832. <https://doi.org/10.1038/s41598-019-43243-1>
- [FPAQ] Fédération des producteurs acéricoles du Québec 2006. *Dossier économique 2005. Statistiques acéricoles*. Rapport. 18 p.
- Gagnon, G., C. Gravel, R. Ouimet, N. Dignard, R. Paquin et G. Jacques, 1994. *Le réseau de surveillance des écosystèmes forestiers (RESEF). II. Description des places d'étude et données de base*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles, Direction de la recherche forestière : Mémoire de recherche forestière n° 116, 187 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Memoire116.pdf>
- Isselhardt, M.L., T.D. Perkins et A. K. van den Berg, 2014. *Does sugar removal impact trees? A complex question to answer*. *Maple Syrup Digest* 26A(3): 6-9. <https://mapleresearch.org/pub/m1014tappingimpacttrees/>
- Isselhardt, M.L., T.D. Perkins, A.K. van den Berg et P.G. Schaberg, 2016. *Preliminary results of sugar maple carbohydrate and growth response under vacuum and gravity sap extraction*. *For. Sci.* 62(2): 125-128. <https://doi.org/10.5849/forsci.14-137>

- Kelley, J.W. et L.J. Staats, 1989. *High-vacuum pumping effects on maple sap sugar yield*. North. J. Appl. For. 6(3): 126-129. <https://doi.org/10.1093/njaf/6.3.126>
- 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., R. Ouimet, R.P. Long et P.A. Bukaveckas, 2015. *Ecological benefits and risks arising from liming sugar maple dominated forests in northeastern North America*. Environ. Rev. 23(1): 66-77. <https://doi.org/10.1139/er-2014-0048>
- 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., J.-D. Moore et L. Duchesne, 2012. *DELFEES : diagnostic des éléments limitatifs selon le feuillage de l'érable à sucre et le sol. Version 1.3*. Direction de la recherche forestière, ministère des Ressources naturelles. <https://mffp.gouv.qc.ca/nos-publications/delfees-diagnostic-elements-limitatifs-feuillage-erable-sucre-sol-v1-3/>
- 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>
- Picard, N. et D. Gasparotto, 2016. *Liocourt's law for tree diameter distribution in forest stands*. Ann. For. Sci. 73(3): 751-755. <https://dx.doi.org/10.1007/s13595-016-0563-4>
- Pothier, D., 1996. *Accroissement d'une érablière à la suite de coupes d'éclaircie : résultats de 20 ans*. Can. J. For. Res. 26(4): 543-549. <https://doi.org/10.1139/x26-062>
- [PPAQ] Producteurs et productrices acéricoles du Québec, 2019. *Statistiques acéricoles 2018. Rapport*. Longueuil, QC. 36 p.
- Scott, S.L., 2021. *bsts: Bayesian structural time series*. Module R, version 0.9.6.
- Silpi, U., A. Lacoite, P. Kasempsap, S. Thanyasawan-yangkura, P. Chantuma, E. Gohet, N. Musigamart, A. Clément, T. Améglio et P. Thaler, 2007. *Carbohydrate reserves as a competing sink: evidence from tapping rubber trees*. Tree Physiol. 27(6): 881-889. <https://doi.org/10.1093/treephys/27.6.881>
- Tran, T.S. et R.R. Simard, 1993. *Mehlich-III-extractable elements*. Dans : Carter, M.R. (édit.). *Soil sampling and methods of analysis*. Société canadienne de la science du sol. Lewis Publishers. Boca Raton, FL (États-Unis). p. 43-49.
- Van den Berg, A.K., T.D. Perkins, M.L. Isselhardt et T.R. Wilmot, 2016. *Growth rates of sugar maple trees tapped for maple syrup production using high-yield sap collection practices*. For. Sci. 62(1): 107-114. <https://doi.org/10.5849/forsci.15-019>
- Wiley, E., S. Huepenbecker, B.B. Casper et B.R. Helliker, 2013. *The effects of defoliation on carbon allocation: can carbon limitation reduce growth in favour of storage?* Tree Physiol. 33(11): 1216-1228. <https://doi.org/10.1093/treephys/tpt093>
- 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(4): 156-162. <https://doi.org/10.1093/njaf/12.4.156>
- Wilmot, T.R., T.D. Perkins et A.K. van den Berg, 2007. *Vacuum sap collection: How high or low should you go?* Maple Syrup Digest 19A(3): 27-32. [https://mapleresearch.org/wp-content/uploads/1007s\\_apcollectionvacuumlevel.pdf](https://mapleresearch.org/wp-content/uploads/1007s_apcollectionvacuumlevel.pdf)



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., 2022. *Effet du haut vacuum sur la croissance des érables à sucre en Estrie : résultats préliminaires*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 159. 12 p.

ISSN 0834-4833

ISBN (PDF) : 978-2-550-93227-7

G.F.D.C. : 284.4 561.24 (714)

L.C. : SB239.M3 SD397.S7753

Dépôt légal 2022

Bibliothèque nationale du Québec

© 2022 Gouvernement du Québec

**Ressources naturelles  
et Forêts**

**Québec** 