



Effets du creusage de fossés sur la croissance de l'érable à sucre dans trois érablières en Estrie

Rock Ouimet, ing.f., Ph. D. et Gabriel Weiss^a, agr.

Résumé

Nous rapportons les résultats de l'analyse de la croissance en surface terrière de l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall), 6 ans après le creusage de fossés de drainage de surface dans 3 érablières de la région de l'Estrie au Québec (Canada). L'installation de ces fossés fait suite à l'observation, au cours des années 2010, du dépérissement des érables en raison d'un drainage déficient des sols. Ces sols avaient une texture loameuse à argileuse et une faible perméabilité intrinsèque. Les fossés devaient capter une partie des eaux de surface afin d'améliorer le drainage dans les 30 à 40 premiers centimètres de la surface du sol. L'analyse des carottes de sondage prélevées dans des troncs d'érables dans les 3 érablières indique qu'au cours des 6 années suivant le creusage des fossés, l'accroissement des arbres a diminué de 41 %, en moyenne, par rapport aux valeurs des 14 années précédant l'opération. La baisse de croissance a touché principalement les arbres de la classe de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de 25 à 40 cm et dans une moindre mesure, ceux de la classe de DHP de 10 à 25 cm. L'analyse des données météorologiques indique qu'entre les décennies 1960 et 2010, la quantité et la fréquence des précipitations ont augmenté significativement, tout comme les indices de saturation en eau du sol. Ces changements climatiques expliquent en partie l'apparition des problèmes de dépérissement forestier et de drainage déficient. Des travaux sylvicoles réalisés une dizaine d'années avant le creusage des fossés ont pu contribuer aussi à compacter le sol et à réduire sa perméabilité. Une étude plus élaborée s'avérerait utile pour départager l'effet des fossés de drainage de celui des changements des précipitations sur la vigueur et la croissance des érables à sucre dans ces érablières au sol peu perméable provenant de tills glaciaires.

Mots-clés : *Acer saccharum*, changement climatique, érablière, fossés de drainage, indice de sévérité de sécheresse de Palmer, PDSI

Abstract

*We report the results of the analysis of basal area growth of sugar maple (*Acer saccharum* Marshall), 6 years after the digging of surface drainage ditches in 3 maple stands in the Eastern Townships region in Québec (Canada). The installation of these ditches followed observations made in the mid 2000s that maple trees were declining because soil drainage conditions were deficient. These soils were loamy to clayey in texture and had low intrinsic permeability. The ditches were designed to capture part of the surface water to improve drainage in the first 30 to 40 centimeters of the soil surface. Analysis of core samples taken from maple stems in the 3 maple stands indicates that in the 6 years following ditching, tree growth decreased by 41 %, on average, compared with the 14 years prior to ditching. The decline in growth mainly affected trees in the 25–40 cm diameter at breast height (DBH) class and, to a lesser extent, those in the 10–25 cm DBH class. Analysis of meteorological data shows that between the 1960s and the 2010s, precipitation quantity and frequency have increased significantly, as have soil water saturation indices. This climate change partly explains the appearance of forest dieback and poor drainage problems. Silvicultural activities carried out some 10 years before the ditches were dug may also have compacted the soil and reduced its permeability. A more elaborate study would be useful to separate the impact of drainage ditches from that of changes in precipitation on the vigor and growth of sugar maples in these sugar maple stands on glacial till-derived soils with low permeability.*

Keywords : *Acer saccharum*, climate change, drainage ditch, maple stand, Palmer Drought Severity Index, PDSI.

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.foresti@mrnf.gouv.qc.ca
Site Web : recherche.foresti.gouvernementale

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

1. Introduction

L'excavation de fossés de drainage n'est pas une pratique répandue dans les érablières puisqu'en grande majorité, celles-ci sont établies sur des sols à drainage xérique à mésique (Burns et Honkala 1990). En effet, l'érable à sucre (*Acer saccharum* Marshall) préfère les sols profonds et frais avec un régime de drainage de bon à modéré. Cette espèce tolère mal un régime de drainage subhydrique ou hydrique, conditions dans lesquelles il devient plus susceptible de dépérir et d'être attaqué par les insectes ravageurs telle la livrée des forêts (*Malacosoma disstria*) (Wood *et al.* 2009; Ouimet et Drolet 2019). Il est aussi très sensible aux inondations durant la saison de croissance (Burns et Honkala 1990). On peut aussi trouver des érablières à érable rouge (*Acer rubrum* L.) sur des sols à drainage subhydrique.

En Estrie, durant les années 2010, des acériculteurs ont observé le dépérissement localisé de l'érable à sucre dans certains secteurs de leurs érablières. Les conseillers forestiers ont noté dans ces secteurs des problèmes d'évacuation de l'eau dus en partie au type de sol, mais aussi peut-être à des travaux sylvicoles effectués plusieurs années auparavant. Le régime hydrique du sol est conditionné par la position topographique (inclinaison de la pente, forme du terrain et position sur le versant), la perméabilité du sol (texture, pierrosité, compaction, présence de nappe phréatique, etc.), l'assise rocheuse (géologie, structure, etc.), l'épaisseur du dépôt de surface ainsi que l'abondance et la régularité des apports d'eau (pluviométrie et écoulement). Des recherches faites au Vermont indiquent que le changement du climat a une grande influence sur la santé des forêts de feuillus (Oswald *et al.* 2018). Or, les précipitations annuelles ont augmenté de 12 % dans le sud du Canada durant la période 1900-1998 (Zhang *et al.* 2000), et les scénarios de changements climatiques prévoient l'augmentation continue des températures et des précipitations dans l'est du Canada durant le 21^e siècle (Wang *et al.* 2022).

Des acériculteurs ont donc procédé au creusage de fossés de drainage de surface pour intercepter et faciliter l'évacuation de l'eau en surface et dans les 30 à 40 premiers centimètres du sol (écoulement hypodermique). Le creusage de fossés ou de tranchées dans les érablières cause nécessairement le bris de racines des arbres à proximité et peut entraîner le dépérissement de la cime et de la mortalité des arbres (Ouimet *et al.* 2005). L'étendue horizontale des racines est liée au diamètre des érables à sucre (Ouimet *et al.* 2008). Pour éviter

des dommages aux racines entraînant une baisse de croissance des arbres, on recommande que la distance entre le fossé et l'arbre soit de 12 cm pour chaque centimètre de diamètre à hauteur de poitrine (DHP, mesuré à 1,3 m du sol) (American Society of Consulting Arborists 1989; Ouimet *et al.* 2005).

Par ailleurs, dans les forêts mixtes ou boréales mal drainées, l'excavation de fossés de drainage est un traitement approprié pour abaisser la nappe phréatique ou réduire sa remontée après une coupe rase, ce qui améliore l'aération de la zone racinaire (Roy *et al.* 2000a; Marcotte *et al.* 2008). En réponse au creusage de fossés de drainage, la végétation forestière connaît généralement une augmentation de vigueur et de croissance (Becker *et al.* 1996; Roy *et al.* 2000b).

Nous avons visité 3 de ces secteurs d'érablières drainés afin de vérifier, après quelques années, l'efficacité de ce traitement visant à revigorer les érables à sucre. Nous avons testé l'hypothèse nulle (H_0) que la croissance radiale des érables à sucre n'avait pas augmenté à la suite du creusage des fossés. L'hypothèse alternative (H_1) est que l'installation des fossés de drainage a augmenté la croissance radiale des érables à sucre.

2. Matériel et méthodes

2.1. Sites d'étude

Nous avons étudié 3 secteurs d'érablières dans la région de Lac-Mégantic, en Estrie (sous-région écologique 3dS, Collines du Mont Mégantic, Gosselin 2005), qui avaient fait l'objet de travaux de drainage en 2013. Ces secteurs présentaient des problèmes d'excès d'eau dus en partie à la faible perméabilité du sol (tableau 1). Selon les observations faites sur le terrain par les firmes-conseils d'ingénieurs forestiers, le ruissellement de surface de l'eau semblait très important (Poisson 2013). Ces secteurs sont généralement situés sur des replats avec un historique récent (env. 10 ans avant le creusage des fossés) de coupe de jardinage acéricoforestier. Les sols, de texture loameuse ou plus fine, se sont développés sur des tills glaciaires compactés lors de leur formation par la croûte glaciaire. Ces érablières étaient composées d'érables à sucre, mais comportaient aussi une bonne proportion d'érables rouges, de bouleaux jaunes (*Betula alleghaniensis* Britton) et de feuillus intolérants à l'ombre.

Tableau 1. Caractéristiques des peuplements, des érables à sucre échantillonnés et des sols (Dubé *et al.* 1996) des 3 érablières drainées selon l'information fournie par la carte écoforestière (MFFP 2022).

Type de variable	Caractéristiques	Érablière 1	Érablière 2	Érablière 3
Peuplement	Groupe d'essences*	ESFT	ESEO	ESFX
	Érable à sucre	70	50	70
	Érable rouge	20	40	20
	Bouleau jaune	10	10	0
	Feuillus intolérants à l'ombre	0	10	10
	Densité (%)	85	85	75
	Hauteur (m)	19	18	20
	Classe d'âge†	VIN	JIN	JIN
Arbres échantillonnés	Type écologique	FE32 (érablière à bouleau jaune sur dépôt minéral de mince à épais, de texture moyenne, de drainage mésique)		
	DHP moyen (cm)	27,0	23,6	25,9
	DHP minimal-maximal (cm)	16,6-34,4	11,0-38,7	17,9-34,4
Sol	Dépôt de surface	1A (till indifférencié mis en place à la base d'un glacier, lors de la progression glaciaire [till de fond], ou à travers la glace stagnante, lors de sa régression [till d'ablation]).		
	Classe de drainage	Modéré	Modéré	Modéré
	Texture	Loam argileux	Loam argileux graveleux	Loam
	Perméabilité naturelle	Faible	Faible	Faible
	Série de sols apparentée	Samson	Audet	Calais

* ESFT = érablière à érables à sucre avec feuillus tolérants à l'ombre; ESEO = érablière à érables à sucre avec érables rouges;

ESFX = érablière à érables à sucre avec feuillus indéterminés.

† VIN = vieux peuplement inéquienne; JIN = jeune peuplement inéquienne.

Les fossés, souvent uniques, ont été creusés à une profondeur de 40 à 60 cm afin de capter l'eau de surface et l'écoulement hypodermique. Le creusage s'est effectué à l'aide d'une excavatrice munie d'un godet à doigts, qui a creusé en reculant afin de réduire l'empiétement nécessaire pour son travail. Les fossés avaient une pente qui variait de 0,5 à 3 % (figure 1).



Figure 1. Vue d'un fossé dans une érablière en 2020, soit 7 ans après son creusage (photo : Rock Ouimet).

2.2. Échantillonnage

Dans chaque érablière, à la fin juillet 2020, nous avons sélectionné au hasard 10 érables à sucre en position de dominant ou de codominant et situés à une distance de 4 à 8 m des fossés. Cette distance a été choisie afin de s'assurer que l'excavatrice n'avait pas endommagé le système racinaire des arbres sélectionnés lors du creusage (Ouimet *et al.* 2005). À chaque arbre, le DHP a été mesuré et 2 carottes de sondage ont été prélevées à environ 60 cm du sol pour éviter les cicatrices d'entailage.

2.3. Traitement des échantillons et des données

Les carottes de sondage ont été séchées à l'air, collées sur des gabarits et sablées. Les cernes annuels détectés à l'aide d'un microscope stéréoscopique sur un total de 60 carottes ont été mesurés au 0,01 mm près à l'aide du logiciel WinDENDRO^{MD} (Régent Instruments inc.). Connaissant le DHP des arbres, nous avons converti les mesures d'accroissement radial en mesures d'accroissement en surface terrière

(AST) à l'aide de la fonction *bai.out* du module *dplR* dans l'environnement R (Bunn *et al.* 2013). Nos calculs se basent sur les hypothèses que les arbres ont un pourtour circulaire et que les cernes mesurés à 60 cm de hauteur ont la même largeur que ceux à hauteur de poitrine (1,3 m).

Nous avons calculé divers indices du climat pour savoir si des changements dans l'abondance, la fréquence, la durée et l'intensité des précipitations étaient survenus au cours des années dans la région. Pour ce faire, nous avons récupéré les données archivées de températures journalières minimales et maximales ainsi que de précipitations journalières totales de 7 stations météo d'Environnement et Changement climatique Canada situées dans un rayon de 50 km des secteurs à l'étude (stations n^{os} 5385, 5398, 5411, 5428, 5500, 5514, 5519) à l'aide du module *weathercan* dans l'environnement R (LaZerte et Albers 2018). De nombreuses données manquaient à chaque station, et ce, pour différentes périodes. Le contrôle de qualité, l'homogénéisation

et le remplissage des données manquantes à la station météo de Lac-Mégantic (station n^o 5385) ont été réalisés à partir des autres stations météo à l'aide du module *climatol* dans l'environnement R (Guijarro 2019). Les données homogénéisées pour la période de janvier 1963 à décembre 2018 ont ensuite servi à calculer des indices de changement du climat à l'aide du module *RClimdex* (Peterson *et al.* 2001), de même que l'indice de sévérité de sécheresse de Palmer (*Palmer Drought Severity Index*, PDSI) à l'aide du module *scPDSI* (Zhong *et al.* 2018) (tableau 2). Dans le calcul du PDSI, nous avons évalué l'évapotranspiration selon l'équation de Hargreaves (Hargreaves 1994) modifiée par les précipitations à l'aide de la fonction *hargreaves* du module *SPEI* (Beguería et Vicente Serrano 2017), en presumant que la capacité de rétention d'eau du sol était de 150 mm. Dans les analyses préliminaires, nous avons testé plusieurs valeurs de capacité de rétention d'eau du sol (de 50 à 300 mm) et vérifié que celles-ci n'influençaient pas les tendances du PDSI.

Tableau 2. Description des indices climatiques étudiés et étendue de leurs valeurs de 1963 à 2018 à la station météo de Lac-Mégantic.

Indice	Nom	Description	Étendue
DJC	Degrés-jours de croissance	Somme annuelle des températures moyennes journalières > 5 °C	De 1 402 à 1 903 degrés-jours
PRCPTOT	Précipitations totales annuelles	Somme des précipitations journalières > 1 mm (mm)	De 788,5 à 1 376,3 mm
R10	Nombre de jours pluvieux	Somme du nombre de jours où les précipitations ≥ 10 mm (jours)	De 19 à 47 jours
R95p	Précipitations annuelles totales des jours très pluvieux	Somme annuelle des précipitations journalières > 95 ^e percentile (mm)	De 26,6 à 431,5 mm
SPEI	Indice de précipitations-évapotranspiration	Indicateur d'humidité basé sur la précipitation et l'évapotranspiration (sans unité)	De -3,68 à +2,21
PDSI	Indice de sévérité de sécheresse de Palmer	Indicateur d'humidité basé sur la précipitation, l'évapotranspiration et les réserves en eau du sol (sans unité)	De -4,53 à +5,56

Analyses statistiques

Nous avons modélisé les séries temporelles d'AST des arbres 14 ans avant les travaux de drainage (2000-2013), puis nous les avons projetées 6 ans après les travaux (soit de 2014 à 2019). Pour déterminer si les travaux de drainage avaient modifié l'AST des arbres, nous avons comparé cette projection aux mesures observées des cernes annuels pour 2014-2019. Cet exercice de modélisation et de comparaison a été effectué arbre par arbre 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. En bref, à partir d'une série temporelle d'une variable réponse (dans le cas présent, l'AST de chaque arbre après les travaux de drainage) et d'une série temporelle de contrôle (dans le cas présent, l'AST de chaque arbre avant les travaux de drainage), le module construit

un modèle structurel bayésien de séries temporelles. Ce modèle est ensuite utilisé pour prévoir la situation contrefactuelle, c'est-à-dire comment l'AST des arbres aurait continué à évoluer si aucun drainage n'avait été effectué. La figure 2 illustre la démarche statistique effectuée en prenant un des arbres étudiés à titre d'exemple. Le module *CausalImpact* fournit comme résultat la taille de l'effet du traitement sur chaque arbre, de même que son écart type.

Finalement, l'ensemble de ces résultats a fait l'objet d'une méta-analyse afin de déterminer l'effet des travaux de drainage sur l'AST dans chaque érablière et sur les 3 érablières prises ensemble. Dans cette analyse, nous avons également évalué l'effet de la classe de DHP (10-25 cm ou 25-40 cm) sur le changement d'AST des arbres à la suite du traitement. L'analyse a été réalisée à l'aide de la fonction *rma* du module *metafor* 3.81 dans l'environnement R (Viechtbauer 2010).

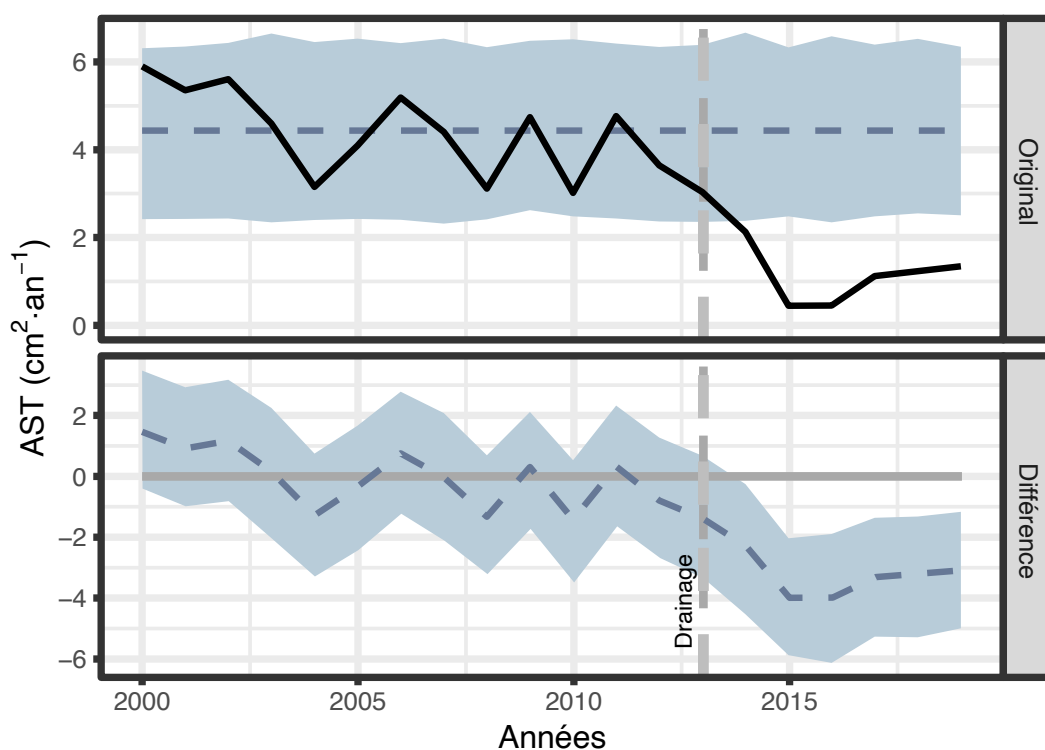


Figure 2. Illustration de la méthode statistique employée pour évaluer le changement d'accroissement en surface terrière (AST) d'un érable à sucre après le creusage des fossés de drainage en surface, avec comme exemple l'érable n° 1 de l'érablière n° 3. Le graphique du haut montre les données originales d'AST mesurées (ligne noire) et modélisées à partir des données mesurées d'AST entre l'an 2000 et l'an 2013 (ligne tiretée bleue et son intervalle de confiance à 90 %). Le graphique du bas montre la différence entre les valeurs mesurées et modélisées, de même que son intervalle de confiance à 90 %. La ligne grise verticale en 2013 indique l'année où les fossés ont été creusés.

Afin d'évaluer si une tendance monotonique dans le temps (1963-2018) était présente dans les indices climatiques sélectionnés, nous avons effectué un test de Mann-Kendall sur ces données, avec amélioration par la méthode « *sieve-bootstrap* » pour les données potentiellement autocorrélées, à l'aide de la fonction *notrend_test* du module *funtimes* dans l'environnement R (Lyubchich *et al.* 2022). Lorsque la tendance était significative, nous en avons calculé la pente linéaire. Avec les analyses des cernes annuels des arbres, encore à l'aide du module *CausalImpact* dans l'environnement R, nous avons aussi vérifié la synchronicité d'éventuels changements de tendance des indices climatiques entre les périodes 2000-2013 et 2014-2018.

Les hypothèses nulles sous-jacentes à ces analyses sont que les séries temporelles témoins, c'est-à-dire avant l'intervention, n'ont pas été affectées par le traitement, d'une part, et que la relation établie pendant la période de prétraitement reste stable pendant toute la période post-traitement, d'autre part.

3. Résultats

3.1. Observations

Lors de la visite des érablières, nous avons noté que la plupart des érables à sucre avaient des branches mortes indiquant qu'ils avaient subi un dépérissement important de la cime dans le passé, mais aussi, qu'ils avaient de nouvelles branches portant du feuillage, indiquant que la cime tendait à se regarnir depuis quelques années (figure 3).



Figure 3. Photos d'érables à sucre prises en juillet 2020, soit 7 ans après le creusage de fossés en 2013 (photos : Rock Ouimet).

Le climat a considérablement changé dans la région de Lac-Mégantic depuis les années 1960. Tous les indices étudiés montraient un changement significatif dans le temps (Tau de Kendall $\geq 0,275$, $p \leq 0,003$; figure 4). Ainsi, entre les années 1963 et 2018 :

- 1) Le nombre de degrés-jours de croissance (DJC) a augmenté de 17 %, passant en moyenne de 1503 à 1816;
- 2) Les précipitations totales annuelles (PRCPTOT) ont augmenté de 14 %, passant de 982 mm en moyenne à 1148 mm. En allant plus à fond dans ces données, nous avons noté une tendance à la baisse des précipitations sous forme de neige (tau de Kendall = $-0,431$, $p < 0,001$) durant cette période, malgré l'augmentation des précipitations totales. Cette diminution de la proportion de neige est de l'ordre de 18 % de 1963 à 2018, soit l'équivalent en eau de $-3,1 \pm 0,6 \text{ mm}\cdot\text{an}^{-1}$;
- 3) Le nombre de jours pluvieux (R10) a augmenté de 18 %, passant de 30 à 37 jours;
- 4) Les précipitations totales annuelles des jours très pluvieux (R95p) ont augmenté de 43 %, passant de 170 mm à 290 mm;
- 5) La valeur de l'indice standard de précipitation-évapotranspiration (SPEI) a triplé, passant d'une moyenne négative, indicatrice de sécheresse ($-0,365$), à une moyenne positive, indicatrice de surplus d'eau ($0,706$);
- 6) La valeur du PDSI a aussi triplé, passant d'une valeur moyenne négative, indicatrice de sécheresse ($-1,975$), à une moyenne positive, indicatrice de surplus d'eau ($1,802$);
- 7) Ces augmentations des précipitations, tant en fréquence qu'en intensité, sont visibles depuis 2005.

Il faut aussi noter que tous les indices climatiques, à l'exception du PDSI, ont connu une hausse de leur tendance en 2014-2018 en comparaison avec la période 2000-2013. La valeur du PDSI, quant à elle, est demeurée aussi élevée durant la période 2014-2018 qu'auparavant.

3.2. Accroissement en surface terrière

La figure 5 montre le changement d'AST 2014-2019 des arbres échantillonnés par rapport à leur croissance avant le creusage des fossés (2000-2013). En moyenne, dans les 3 érablières drainées, les arbres ont connu une baisse d'AST (δAST) de l'ordre de $-2,35 \text{ cm}^2\cdot\text{an}^{-1}$ de 2014 à 2019 (intervalle de confiance à 90 % : de $-3,06$ à $-1,63 \text{ cm}^2\cdot\text{an}^{-1}$, $p < 0,001$), soit une baisse d'environ 41 % par

rapport à l'AST des arbres avant traitement. Cette baisse n'était cependant pas la même dans toutes les classes de DHP. L'AST des arbres a diminué de 35 % chez les érables ayant un DHP de 10 à 25 cm ($\delta\text{AST} = -1,85 \text{ cm}^2 \cdot \text{an}^{-1}$, $p < 0,001$), et de 48 % chez ceux ayant un DHP de 25 à 40 cm ($\delta\text{AST} = -2,89 \text{ cm}^2 \cdot \text{an}^{-1}$, $p < 0,001$).

La figure 5 montre que le changement d'AST était plus variable d'un arbre à l'autre dans l'érablière

n° 1 que dans les 2 autres. Dans l'érablière n° 2, les arbres ayant un DHP de 10 à 25 cm n'ont pas connu de baisse significative d'AST en moyenne ($\delta\text{AST} = -0,65 \pm 0,73 \text{ cm}^2 \cdot \text{an}^{-1}$, $p = 0,140$), contrairement aux arbres de plus gros diamètre.

Selon nos analyses, seuls 6 des 30 arbres mesurés dans les 3 érablières ont montré une réaction positive ou aucun changement de leur AST après le creusage des fossés.

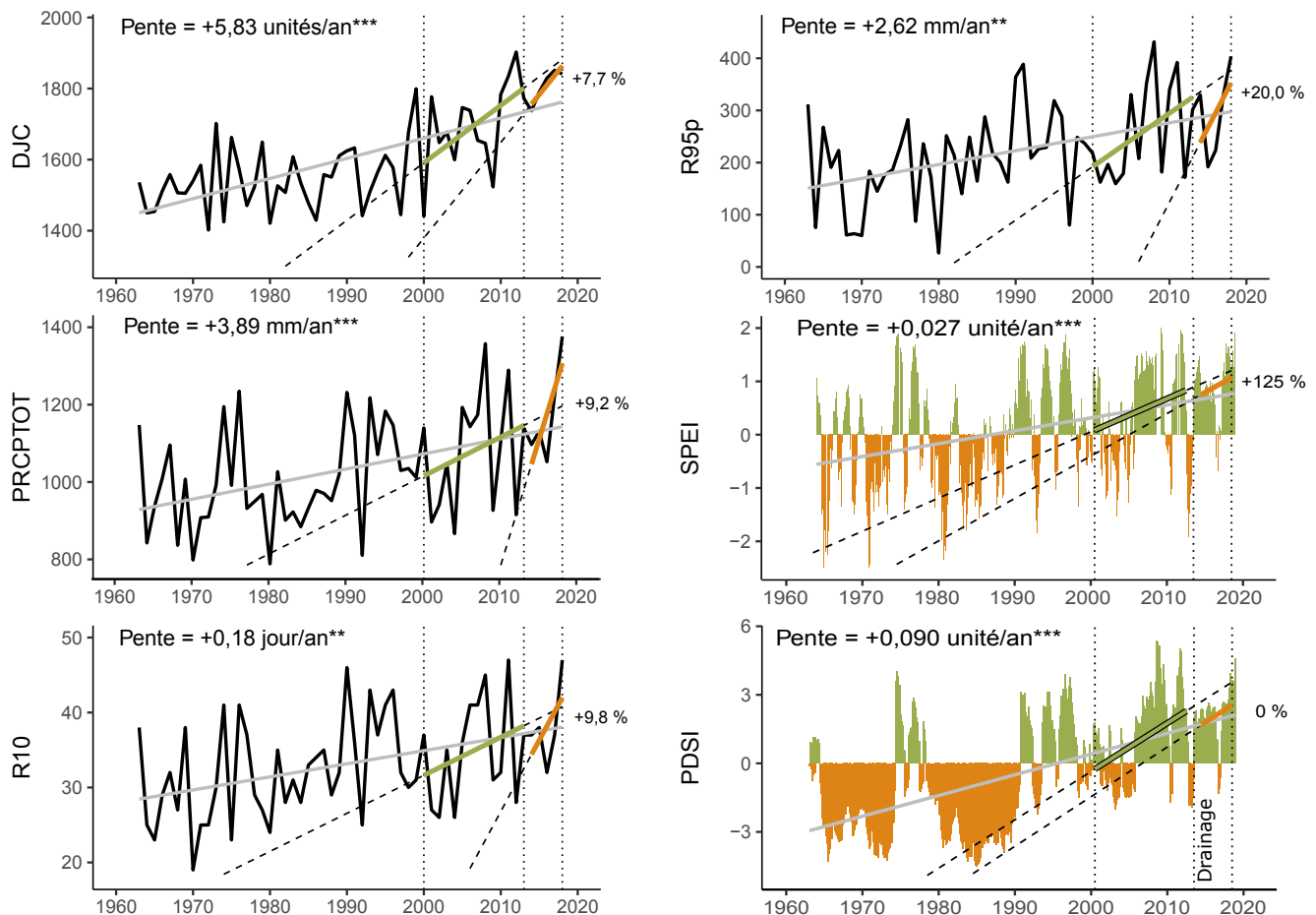


Figure 4. Évolution des indices climatiques à la station météo de Lac-Mégantic de 1963 à 2018 : degrés-jours de croissance (DJC), précipitations totales (PRCPTOT), nombre de jours pluvieux (R10), précipitations annuelles totales des jours très pluvieux (R95p), indice de précipitations-évapotranspiration (SPEI) et indice de sévérité de sécheresse de Palmer (PDSI). La pente linéaire (ligne grise) a été calculée, car tous les indices ont montré un changement monotone au cours des années. Les indices sont définis au tableau 2. ** : $p \leq 0,01$; *** : $p \leq 0,001$. Dans les graphiques du SPEI et du PDSI, les valeurs positives (surplus d'eau) sont en vert, tandis que les valeurs négatives (manque d'eau) sont en orange. La période 2000-2013 comprend les données climatiques correspondant aux cernes de croissance analysés avant le creusage des fossés de drainage (ligne pleine verte), tandis que la période 2014-2018 comprend celles après le creusage des fossés de drainage (ligne pleine orange). Les chiffres à droite indiquent le taux de changement de la pente (exprimé en pourcentage) des valeurs des indices climatiques entre ces deux périodes. Ces changements sont statistiquement significatifs au seuil de probabilité $p \leq 0,20$.

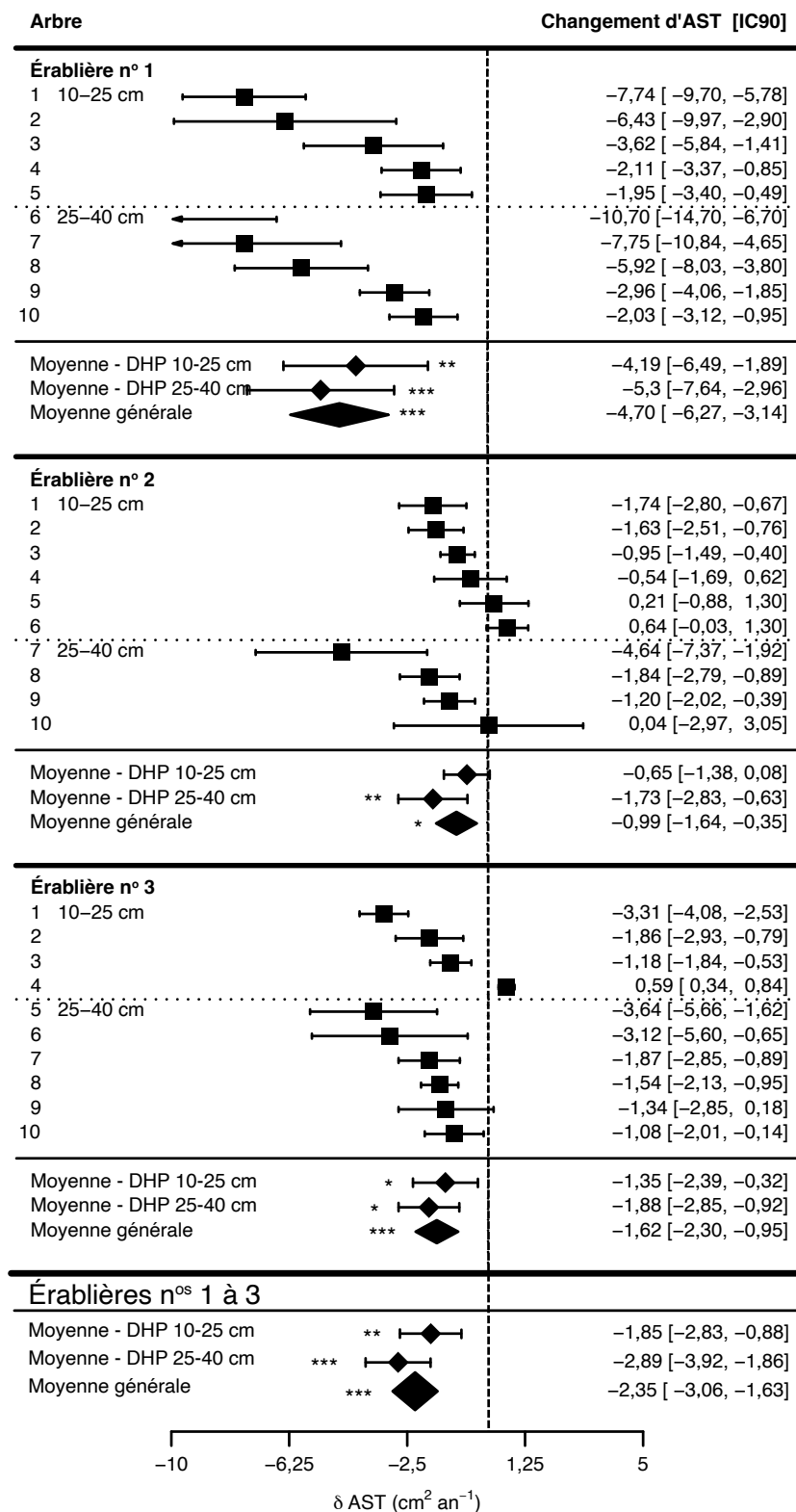


Figure 5. Effet du creusage de fossés de drainage en 2013 sur le changement d'accroissement en surface terrière (δ AST, en cm²·an⁻¹) de chacun des 10 érables à sucre dans les 3 érablières de 2014 à 2020 par rapport à la période antérieure (2000-2013), et effet de la classe de DHP sur la réaction des arbres au drainage. La ligne verticale tiretée indique le zéro. Les chiffres entre crochets à droite indiquent l'intervalle de confiance à 90 % (IC90). La probabilité que le changement d'AST soit différent de zéro est indiquée par les astérisques : * $p \leq 0,05$; ** $p \leq 0,01$; *** $p \leq 0,001$.

4. Discussion

4.1. Causes de la baisse de la croissance

L'érable à sucre préfère les sols frais, mais bien drainés. En comparant les valeurs de l'érable à sucre à celles pour d'autres essences, Carmean (1979) a trouvé que l'indice de qualité de station de l'érable à sucre baissait significativement à mesure que l'hydromorphie du sol augmentait. Certes, le creusage des fossés peut améliorer considérablement le régime d'humidité des sols selon la distance du fossé et la texture du sol, surtout dans les premiers centimètres en surface (Roy *et al.* 2000a). En contrepartie, cette pratique peut aussi causer des dommages aux racines et modifier la compaction, l'aération et le drainage du sol. En général, dans la période 2014-2019 qui a suivi le creusage des fossés en 2013, les arbres échantillonnés ont connu une baisse significative de leur croissance en surface terrière par rapport aux 14 années précédentes. Cette absence de réaction positive pourrait indiquer que la texture des sols influence la distance à respecter entre les arbres et les fossés. En effet, d'après Ouimet *et al.* (2005), une distance minimale de 4 m des fossés aurait dû suffire pour éviter que le creusage d'un fossé cause une perte de vigueur aux arbres échantillonnés, dont le DHP maximal était de 39 cm dans les 3 érablières. Cependant, dans ces 3 érablières, la nature et la faible perméabilité du sol pourraient avoir mené à une distribution des racines différente de celle dans les peuplements étudiés pour établir la distance minimale à respecter entre les tranchées et les arbres. De plus, l'efficacité des fossés de drainage dans les sols dont l'horizon organique est mince (< 20 cm) est limitée à moins de 5 m le long des fossés quand le sol minéral sous-jacent est caractérisé par une conductivité hydraulique très faible (Jutras *et al.* 2002), ce qui est le cas dans ces 3 érablières.

Le creusage des fossés semble donc avoir eu un effet négatif sur les racines des arbres échantillonnés. Pour vérifier cette hypothèse, il faudrait échantillonner des érables le long d'un transect perpendiculaire aux fossés en vue de déterminer si c'est leur creusage ou plutôt le constant surplus d'eau observé depuis le milieu des années 2000 qui a causé cette baisse de croissance. L'échantillonnage des arbres le long de transects perpendiculaires aux canaux de drainage aurait permis de déterminer précisément jusqu'à quelle distance le fossé a un effet sur leur croissance. De plus, l'inclusion de témoins sans traitement, c'est-à-dire situés loin des fossés, aurait permis de départager l'effet des fossés de drainage et celui du changement des indices climatiques au cours de ces années.

Durant l'année suivant le creusage des fossés en 2013, des lysimètres ont été installés à une distance de 3 m de part et d'autre des fossés dans 2 des 3 érablières. Leur suivi a indiqué que les fossés ne semblent pas avoir eu d'effet significatif sur la hauteur de la nappe perchée, qui s'est maintenue à une profondeur de 15 à 25 cm sous la surface du sol (Poisson 2013). Nous n'avons pas fait de relevés pédologiques pour observer si des changements morphologiques y étaient survenus, car la saturation en eau du sol peut survenir malgré l'absence de développement de marbrures ou d'autres caractéristiques hydromorphes (Megonigal *et al.* 1993). Inversement, les caractéristiques d'hydromorphie peuvent indiquer un historique de saturation en eau qui n'existe plus. Dans une autre étude, Hayes et Vepraskas (2000) ont observé que la durée de saturation en eau du sol n'a pas varié de manière significative avec la distance du fossé, mais que jusqu'à une distance de 30 m du fossé, la nappe phréatique a fluctué plus fréquemment que pour des sols plus éloignés. Dans le cas de nos 3 secteurs d'érablières, un phénomène semblable de saturation en eau du sol avec fluctuation de la nappe phréatique s'est sans doute installé avec le creusage des fossés de surface.

En plus de l'augmentation de la disponibilité de l'eau au cours des années 2000 causé par les changements climatiques, les travaux sylvicoles effectués il y a plus d'une dizaine d'années (avant le creusage des fossés) ont probablement contribué au problème de réduction de la perméabilité du sol. La circulation de la machinerie forestière peut compacter le sol et en modifier la structure, influencer la rétention d'eau du sol en plus de réduire l'aération, le drainage et la pénétration des racines (Greacen et Sands 1980). Les sols humides et à texture fine sont particulièrement sensibles à la dégradation structurelle induite par la circulation de la machinerie. Aux endroits où leur passage a compacté les sols, on observe souvent des réductions de la hauteur, du diamètre et de la croissance des arbres (Wert et Thomas 1981 ; Froehlich *et al.* 1985). Les plus grands changements dans la densité apparente du sol sont associés aux premiers passages de la machinerie, et même des pressions au sol assez faibles (de l'ordre de 35-65 kPa) peuvent entraîner une compaction substantielle (Froehlich 1978). Même lorsque des déplacements supplémentaires n'entraînent pas d'augmentation significative de la compaction, des changements dans la distribution de la taille des pores du sol peuvent se poursuivre, les grands pores s'effondrant pour former des pores plus petits, ce qui réduit d'autant l'aération et le drainage (Lenhard 1986).

4.2. Recommandations

D'un point de vue sylvicole, pourrait-on favoriser des essences qui transpirent plus que l'érable à sucre et qui, ainsi, réduiraient le taux d'humidité du sol ? Il y a peu de littérature scientifique à ce sujet. On considère généralement que les conifères transpirent plus que les feuillus (Swank et Miner 1968) en raison, entre autres, de leur plus grande interception de l'eau pendant la saison dormante (Swank et Douglass 1974 ; Hayati *et al.* 2018). Cependant, cette différence d'utilisation de l'eau entre conifères et feuillus dépend des conditions locales (Komatsu *et al.* 2007). Par ailleurs, on pourrait aussi favoriser l'installation de l'érable rouge, une essence qui tolère mieux les sols mal drainés (Walters et Yawney 1990) et qui contribue à maintenir le potentiel acéricole de la forêt. En ce qui a trait à la quantité et la qualité de sa sève, le rendement en sirop de l'érable rouge serait semblable à celui de l'érable à sucre (van den Berg *et al.* 2020). De plus, l'érable rouge n'est pas affecté par la livrée des forêts (Nicol *et al.* 2012) de même que par le verglas (Morris et Ostrofsky 2005), et il peut produire une grande quantité de rejets de souche (Nieves *et al.* 2022). Il est cependant sensible aux blessures (exploitation forestière, gélivures, animaux), auxquelles il répond en développant souvent de grandes zones de bois décoloré non conducteur de sève (Walters et Yawney 1990). Ces facteurs ont plusieurs répercussions potentielles sur l'entailage et la collecte de la sève de cette essence.

De plus, depuis 2020, le drainage sylvicole est assujéti au nouveau Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement (REAFIE) de la *Loi sur la qualité de l'environnement* (Québec 2020), ce qui rend les démarches administratives plus lourdes pour réaliser des projets de drainage en forêt.

5. Conclusion

Six ans après leur creusage, les fossés de drainage de surface n'ont pas permis aux érables à sucre en place de retrouver les mêmes taux moyens de croissance qu'auparavant. Les conditions contemporaines de mauvais drainage ont probablement été exacerbées par les travaux de récolte passés, un facteur aggravant. Sans doute, l'augmentation en fréquence et en intensité des précipitations depuis les 60 dernières années dans la région, et particulièrement durant les années 2010, a aussi contribué à détériorer les conditions d'aération de ces sols, et ce, malgré l'installation des fossés.

L'absence de réaction positive des arbres au creusage de fossés gagnerait à être confirmée par une investigation plus poussée dans ces érablières, puisque l'absence de situation témoin ne permet pas de distinguer sans ambiguïté l'effet de l'installation des fossés de celui des conditions climatiques changeantes. Un autre élément à considérer sera les changements attendus dans le régime de précipitations (quantité et saisonnalité), en raison des changements climatiques. Si des acériculteurs dans ces secteurs sont aux prises avec un problème de drainage et veulent améliorer l'état de leur érablière, nous recommandons plutôt d'éviter le plus possible la compaction du sol lors de travaux sylvicoles et de favoriser l'installation de l'érable rouge (et peut-être de conifères) comme essences compagnes. Ainsi, les acériculteurs conserveront une bonne partie du potentiel acéricole de leur forêt.

Remerciements

Cette étude a été réalisée à la Direction de la recherche forestière dans le cadre du projet n° 142332065. Les auteurs tiennent à remercier les propriétaires d'érablières qui ont gracieusement accepté de faire partie de l'étude, M. Martin Perron qui a agi comme responsable de la révision scientifique de ce manuscrit, M. Sylvain Jutras et une personne anonyme qui ont apporté des commentaires judicieux pour l'améliorer, M. Louis Duchesne pour ses commentaires pertinents sur le manuscrit en prélecture, M. Simon Désalliers qui a participé à l'échantillonnage sur le terrain et qui a préparé et mesuré les carottes de sondage des arbres, et finalement, M^{mes} Armelle Ginet et Denise Tousignant pour l'édition finale, et finalement, M^{me} Stéphanie Rivet (Pulsation graphique) pour le montage graphique de cette publication.

Références bibliographiques

- American Society of Consulting Arborists, 1989. *Protecting trees during construction: Answers to frequently asked questions for builders and property owners*. Wheat Ridge, CO (États-Unis). Fiche technique. 1 p.
- Becker, M., G. Lévy et Y. Lefèvre, 1996. *Radial growth of mature pedunculate and sessile oaks in response to drainage, fertilization and weeding on acid pseudogley soils*. Ann. For. Sci. 53(23): 585-594. <https://doi.org/10.1051/forest:19960237>

- Beguería, S. et S.M. Vicente Serrano, 2017. *SPEI: Calculation of the Standardised Precipitation-Evapotranspiration Index*. R package version 1.7. <http://cran.r-nexus.com/web/packages/SPEI/SPEI.pdf>
- Brodersen, K. H., F. Gallusser, J. Koehler, N. Remy et S.L. Scott, 2015. *Inferring causal impact using Bayesian structural time-series models*. *Ann. Appl. 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. <https://rdocumentation.org/packages/dplR/versions/1.5.7>
- Burns, R.M. et B.H. Honkala, 1990. *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods*. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, Washington, DC (États-Unis). *Agriculture Handbook* 654. 876 p. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/1548>
- Carmean, W.H., 1979. *Site index comparisons among northern hardwoods in northern Wisconsin and Upper Michigan*. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service, North Central Forest Experiment Station, St. Paul, MN (États-Unis). *Research Paper NC-169*. 17 p. <https://www.fs.usda.gov/treesearch/pubs/10690>
- Dubé, J.-C. et R. Camiré, 1996. *Étude pédologique du comté de Frontenac*. Gouvernement du Québec, ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation, Centre de recherche et d'expérimentation en sols. Rapport n° 96-0219. Québec. 221 p. <https://sis.agr.gc.ca/siscan/publications/surveys/pq/pq21/index.html>
- Froehlich, H.A., 1978. *Soil compaction from low ground-pressure, torsion-suspension logging vehicles on three forest soils*. Forest Research Laboratory, Oregon State University. Corvallis, Or. OR (États-Unis). *Research Paper* 36. 12 p. https://ir.library.oregonstate.edu/concern/technical_reports/tq57ns29r
- Froehlich, H.A., D.W.R. Miles et R.W. Robbins, 1985. *Soil bulk density recovery on compacted skid trails in central Idaho*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 49(4): 1015-1017. <https://doi.org/10.2136/sssaj1985.03615995004900040045x>
- Gosselin, J., 2005. *Guide de reconnaissance des types écologiques de la région écologique 3d — Coteaux des basses Appalaches*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction des inventaires forestiers. 186 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/inventaire/guide-ecologique-3d.pdf>
- Québec, 2020. *Règlement sur l'encadrement d'activités en fonction de leur impact sur l'environnement*. Q-2, r. 17.1, à jour au 1^{er} juin 2023. Québec, Éditeur officiel du Québec. <https://www.legisquebec.gouv.qc.ca/fr/document/rc/Q-2,%20r.%2017.1>
- Greacen, E.L. et R. Sands, 1980. *Compaction of forest soils*. A review. *Aust. J. Soil Res.* 18(2): 163-189. <https://doi.org/10.1071/SR9800163>
- Guijarro, J.A., 2019. *climatol: Climate tools (series homogenization and derived products)*. R package version 3.1.2. <https://rdocumentation.org/packages/climatol/versions/3.1.2>
- Hargreaves, G.H., 1994. *Defining and using reference evapotranspiration*. *J. Irr. Drain. Eng.* 120(6): 1132-1139. [https://doi.org/10.1061/\(ASCE\)0733-9437\(1994\)120:6\(1132\)](https://doi.org/10.1061/(ASCE)0733-9437(1994)120:6(1132))
- Hayati, E., E. Abdi, M. Mohseni Saravi, J.L. Nieber, B. Majnounian et G.B. Chirico, 2018. *How deep can forest vegetation cover extend their hydrological reinforcing contribution?* *Hydrol. Process.* 32(16): 2570-2583. <https://doi.org/10.1002/hyp.13174>
- Hayes, W. A. et M.J. Vepraskas, 2000. *Morphological changes in soils produced when hydrology is altered by ditching*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 64(5): 1893-1904. <https://doi.org/10.2136/sssaj2000.6451893x>
- Jutras, S., J. Bégin et A.P. Plamondon, 2002. *Impact du drainage forestier après coupe sur la croissance de l'épinette noire en forêt boréale*. *Can. J. For. Res.* 32(9) : 1585-1596. <https://doi.org/10.1139/x02-062>
- Komatsu, H., N. Tanaka et T. Kume, 2007. *Do coniferous forests evaporate more water than broad-leaved forests in Japan?* *J. Hydrol.* 336: 361-375. <https://doi.org/10.1016/j.jhydrol.2007.01.009>
- LaZerte, S.E. et S. Albers, 2018. *weathercan: Download and format weather data from environment and climate change Canada*. *J. Open Source Softw.* 3(22): 571. <https://doi.org/10.21105/joss.00571>
- Lenhard, R.J., 1986. *Changes in void distribution and volume during compaction of a forest soil*. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 50(2): 462-464. <https://doi.org/10.2136/sssaj1986.03615995005000020042x>

- Lyubchich, V., Y.R. Gel et S. Vishwakarma, 2022. *funtimes: Functions for time series analysis*. R package version 9.0. <https://rdocumentation.org/packages/funtimes/versions/9.0>
- Marcotte, P., V. Roy, A.P. Plamondon et I. Auger, 2008. *Tenyear water table recovery after clearcutting and draining boreal forested wetlands of eastern Canada*. Hydrol. Process. 22(20): 4163-4172. <https://doi.org/10.1002/hyp.7020>
- Megonigal, J.P., W.H. Patrick Jr. et S.P. Faulkner, 1993. *Wetland identification in seasonally flooded forest soils: Soil morphology and redox dynamics*. Soil Sci. Soc. Am. J. 57(1): 140-149. <https://doi.org/10.2136/sssaj1993.03615995005700010027x>
- [MFFP] Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2022. *Cartographie du cinquième inventaire écoforestier du Québec méridional. Méthodes et données associées*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction des inventaires forestiers. 110 p.
- Morris, J. L. et W.D. Ostrofsky, 2005. *Influence of stand thinning on ice storm injury in Maine hardwood stands*. North. J. Appl. For. 22(4): 262-267. <https://doi.org/10.1093/njaf/22.4.262>
- Nicol, R.W., J.T. Arnason, B. Helson et M.M. Abou-Zaid, 2012. *Effect of host and nonhost trees on the growth and development of the forest tent caterpillar, Malacosoma disstria (Lepidoptera: Lasiocampidae)*. Can. Entomol. 129(6): 991-999. <https://doi.org/10.4039/Ent129991-6>
- Nieves, J.M., J.S. Ward, A.A. Royo, M.E. McDill, J.K. Kreye et K.C. Steiner, 2022. *Stand and site characteristics affect the probability of stump sprouting in some eastern North American hardwoods*. For. Ecol. Manage. 511: 120-136. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2022.120136>
- Oswald, E.M., J. Pontius, S.A. Rayback, P.G. Schaberg, S.H. Wilmot et L.A. Dupigny-Giroux, 2018. *The complex relationship between climate and sugar maple health: Climate change implications in Vermont for a key northern hardwood species*. For. Ecol. Manage. 422: 303-312. <https://doi.org/10.1016/j.foreco.2018.04.014>
- Ouimet, R. et G. Drolet, 2019. *Premiers constats de mortalité de l'érable à sucre dans des érablières de la région de Lanaudière et de Mirabel*. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis technique SGRE-21. 16 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/recherche/AT-SGRE-21.pdf>
- Ouimet, R., S. Guay et P. Lang, 2005. *Évaluation de la distance minimale à respecter entre une tranchée et les arbres pour éviter la perte de vigueur des érables dans les érablières*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 130. 12 p. <https://mffp.gouv.qc.ca/documents/forets/connaissances/recherche/Note130.pdf>
- Ouimet, R., C. Camiré, M. Brazeau et J.-D. Moore, 2008. *Estimation of coarse root biomass and nutrient content for sugar maple, jack pine, and black spruce using stem diameter at breast height*. Can. J. For. Res. 38: 92-100. <https://doi.org/10.1139/X07-134>
- Peterson, T. C., C. Folland, G. Gruza, W. Hogg, A. Mokssit et N. Plummer, 2001. *Report on the activities of the working group on climate change detection and related rapporteurs 1998-2001*. World Meteorological Organization. ICPO Publication Series n° 48. 143 p. <https://core.ac.uk/download/pdf/9700748.pdf>
- Poisson, V., 2013. *Impact du drainage et de l'égouttement des eaux de surface en érablière sur la vigueur des tiges dans les peuplements d'érablière et sur l'environnement*. ProForêt Consultants. Rapport présenté à la Conférence régionale des élus de l'Estrie. 50 p.
- Roy, V., A.P. Plamondon et P.Y. Bernier, 2000a. *Draining forested wetland cutovers to improve seedling root zone conditions*. Scand. J. For. Res. 15(1): 58-67. <https://doi.org/10.1080/02827580050160475>
- Roy, V., J.-C. Ruel, et A.P. Plamondon, 2000b. *Establishment, growth and survival of natural regeneration after clearcutting and drainage on forested wetlands*. For. Ecol. Manage. 129(1): 253-267. [https://doi.org/10.1016/S0378-1127\(99\)00170-X](https://doi.org/10.1016/S0378-1127(99)00170-X)

- Swank, W.T. et J.E. Douglass, 1974. *Streamflow greatly reduced by converting deciduous hardwood stands to pine*. Science 185(4154): 857-859. <https://www.science.org/doi/10.1126/science.185.4154.857>
- Swank, W.T. et N.H. Miner, 1968. *Conversion of hardwood-covered watersheds to white pine reduces water yield*. Water Resour. Res. 4(5): 947-954. <https://doi.org/10.1029/WR004i005p00947>
- van den Berg, A., M. Isselhardt et A. D'Amato, 2020. *Red maple as crop trees for maple syrup production*. University of Vermont Proctor Maple Research Center. 4 p. <https://mapleresearch.org/wp-content/uploads/rmcroptrees.pdf>
- Viechtbauer, W., 2010. *Conducting meta-analyses in R with the metafor package*. J. Stat. Softw. 36(3): 148. <https://doi.org/10.18637/jss.v036.i03>
- Walters, R.S. et H.W. Yawney, 1990. «*Acer rubrum*». Dans: Burns, R.M. et B.H. Honkala (édit.). *Silvics of North America: Volume 2. Hardwoods*. United States Department of Agriculture (USDA), Forest Service. Washington, DC (États-Unis). Agriculture Handbook 654. p. 60-69. <https://www.fs.usda.gov/research/treesearch/1548>
- Wang, X., J. Guo, A. Fenech et A.A. Farooque, 2022. *Future climate projections for Eastern Canada*. Clim. Dyn. 59(9): 2735-2750. <https://doi.org/10.1007/s00382-022-06251-y>
- Wert, S. et B.R. Thomas, 1981. *Effects of skid roads on diameter, height, and volume growth in Douglas-fir*. Soil Sci. Soc. Am. J. 45(3): 629-632. <https://doi.org/10.2136/sssaj1981.03615995004500030038x>
- Wood, D., R. Yanai, D. Allen et S. Wilmot, 2009. *Sugar maple decline after defoliation by forest tent caterpillar*. J. For. 107(1): 29-37. <https://doi.org/10.1093/jof/107.1.29>
- Zhang, X., L.A. Vincent, W.D. Hogg et A. Niitsoo, 2000. *Temperature and precipitation trends in Canada during the 20th Century*. Atmosphere-Ocean 38: 395-429. <https://doi.org/10.1080/07055900.2000.9649654>
- Zhong, R., X. Chen, Z. Wang, C. Lai, S. Goddard, N. Wells et M. Hayes, 2018. *scPDSI: Calculation of the conventional and self-calibrating Palmer Drought Severity Index*. R package version 0.1.3. <https://rdrr.io/cran/scPDSI/>



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

On peut citer ce texte en indiquant la référence.

Citation recommandée :

Ouimet, R. et G. Weiss, 2024. *Effets du creusage de fossés sur la croissance de l'érable à sucre dans trois érablières en Estrie*. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles et des Forêts, Direction de la recherche forestière. Note de recherche forestière n° 162, 14 p.

ISSN 0834-4833

ISBN (PDF) : 978-2-550-97268-6

G.F.D.C. : 385.1 561.25 (714)

L.C. : S621, SD396, SD397.S775

Dépôt légal 2024

Bibliothèque nationale du Québec

© 2024 Gouvernement du Québec

**Ressources naturelles
et Forêts**

Québec 