



ENRICHISSEMENT EN CHÊNE ROUGE ET EN PIN BLANC DE FORÊTS DÉGRADÉES

RÉSULTATS APRÈS PLUS DE 20 ANS

L'enrichissement est un traitement sylvicole visant l'introduction ou l'augmentation du nombre d'espèces d'arbres de valeur ou rares dans un peuplement dégradé, afin d'améliorer la qualité de la régénération et la production de bois tout en favorisant la biodiversité et la résilience de l'écosystème forestier. La plantation sous un couvert forestier partiel ou en trouées représente entre autres, un traitement tout indiqué pour adapter les peuplements forestiers aux effets des changements climatiques, au moment où le gouvernement du Québec (par son Plan Nature) propose de restaurer 30 % des écosystèmes dégradés d'ici 2030.

PAR BENOIT TRUAX, PH. D., ET MARIE-JOSÉE MARTEL, ING. F., M. SC.

Les travaux de la Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est (FRFCE) en Estrie ont montré qu'il est possible de reboiser du chêne rouge et du chêne à gros fruits avec succès dans différents peuplements forestiers dégradés et particulièrement, en forêts feuillues jeunes issues de l'abandon de l'agriculture (voir le *Progrès Forestier*, hiver 2016). Ces travaux, débutés dès 1991, ont permis à l'Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie (AMFE), plus tard, d'établir de nouvelles modalités techniques pour ce traitement sylvicole déjà inclus dans la gamme des travaux admissibles et par le fait même, d'encourager son application par les propriétaires et les conseillers forestiers de la région.

Toutefois, les suivis à long terme de ce traitement novateur sont actuellement rares au Québec, d'où la nécessité de valider l'approche en utilisant les travaux d'enrichissement en chêne rouge et en pin blanc effectués par l'ensemble des conseillers de l'Estrie. Cette étude visait à :

- 1 Évaluer l'état général des chênes et pins reboisés par enrichissement (croissance et survie après plus de 20 ans);
- 2 Déterminer les conditions de réussite de l'enrichissement pour la restauration des peuplements forestiers;
- 3 Proposer des balises concrètes afin d'améliorer ce traitement sylvicole.



Pin blanc reboisé par enrichissement en 2005 subissant une forte compétition par le nerprun bourdaine. Station AIT (Sherbrooke) – juillet 2023.

Photo d'en-tête : chênes rouges plantés par enrichissement à la station LEC, municipalité de Stanstead en Estrie.

ZONE D'ÉTUDE, ÉCHANTILLONNAGE ET CHRONOLOGIE DU SUIVI DEPUIS 20 ANS

La phase initiale du projet a été réalisée au cours de l'été 2006. Vingt stations furent sélectionnées afin d'effectuer le premier échantillonnage en 2007 (figure 1) parmi 30 rapports d'exécution, datant majoritairement du début des années 2000, de différents conseillers forestiers, afin de couvrir partiellement les gradients édaphiques et climatiques de l'Estrie. Deux quadrats de 400 m², centrés sur le groupe d'arbres reboisés les plus visibles et bien répartis parmi chacune des stations ont été échantillonnés, pour un total de 40 placettes. À l'intérieur de chaque quadrat, un inventaire détaillé a été réalisé en mesurant :

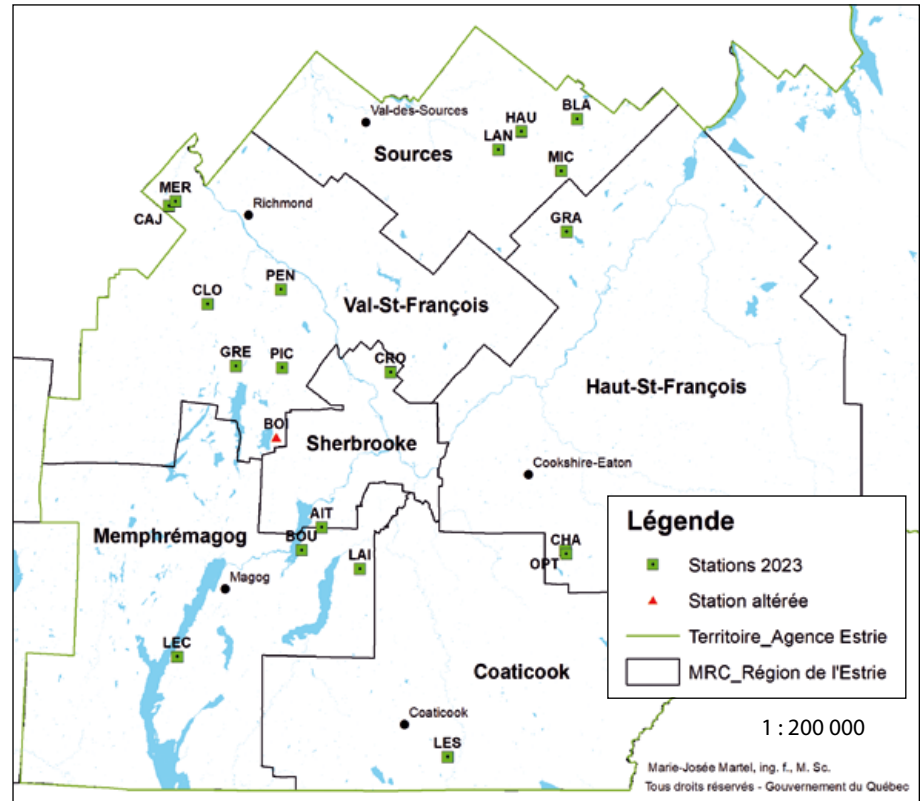
- Les classes de diamètre à hauteur de poitrine (DHP) des différentes espèces d'arbres, de gaules et de semis;
- Le pourcentage de recouvrement des arbustes et des plantes de sous-bois, incluant les espèces indicatrices et les mousses;
- L'âge et la hauteur du peuplement;
- Certains facteurs écologiques (pourcentage et orientation de la pente, classes de drainage, pierrosité et situation topographique);
- L'altitude et le positionnement systématique du centre de la parcelle;
- La texture, le pH et la richesse du sol (calcium, magnésium, potassium, azote, phosphore et matière organique);
- La hauteur totale, le DHP et le diamètre basal de tous les chênes rouges et pins blancs.

Un total de 922 chênes rouges et 498 pins blancs ont été mesurés dans l'ensemble des 40 parcelles (20 stations) du projet de recherche. Enfin, une attention particulière a été portée à l'évaluation du broutement par le cerf de Virginie puisque les plants reboisés n'avaient pas été protégés à l'aide de manchons forestiers.

En 2023, 16 années après les mesures initiales, 19 stations ont été échantillonnées à nouveau (un site ayant été perdu à la suite d'un développement résidentiel). Toutefois, l'analyse des sols et le pourcentage de recouvrement des plantes de sous-bois (à l'exception de la présence du nerprun bourdaine) n'ont pas été effectués.

Nous présentons ici les principaux résultats des analyses de croissance du dernier échantillonnage en 2023, tout en résumant les principales conclusions des analyses de l'année 2007 pour chacune des espèces.

Figure 1. Localisation des stations du dispositif de recherche en Estrie



VARIABLES EN LIEN AVEC LA CROISSANCE EN 2007

CHÊNE ROUGE

En 2007, seulement 4 des 9 variables sélectionnées (suite à l'analyse des résultats de la matrice de corrélations et de la régression multiple) expliquaient les variations de croissance du chêne rouge reboisé par enrichissement, soit le broutement par le cerf de Virginie (relation négative), la hauteur du peuplement (relation négative), la surface terrière résiduelle du peuplement à enrichir (relation négative) et finalement, la densité des gaules feuillues (relation positive). De façon concrète, plus un peuplement forestier présente une faible hauteur (station jeune) et une faible surface terrière au moment de la plantation, plus la croissance des chênes rouges est favorisée. De plus, une plus grande ouverture initiale du couvert forestier (en milieu majoritairement feuillu) génère une plus grande densité de semis et gaules qui indirectement, vont masquer ou protéger partiellement les chênes du broutement par le cerf de Virginie.

Il est intéressant de noter que la texture, le drainage et la richesse du sol ont eu une influence marginale sur la croissance des chênes rouges. Cette situation peut s'expliquer par :

- Le choix initial de sites favorables par les conseillers;
- Une variabilité faible des variables entre les stations;
- Les exigences en éléments nutritifs moindres du chêne rouge.

PIN BLANC

Le cas du pin blanc est intéressant puisqu'il n'a pas répondu de la même manière aux variables biotiques et abiotiques des stations que le chêne rouge, du moins pour les sites échantillonnés dans le cadre du projet. En effet, l'analyse a montré que seulement 2 des 11 variables sélectionnées expliquaient les variations de croissance du pin blanc reboisé par enrichissement en Estrie, soit la densité des gaules de sapins baumiers (relation positive) et le pourcentage de recouvrement des mousses (relation positive). De plus, le pin blanc présentait une croissance

optimale dans les stations présentant les plus faibles valeurs de calcium du sol. D'autre part, la surface terrière résiduelle du peuplement n'a pu expliquer les variations de croissance observées pour le pin blanc.

SURVIE ET CROISSANCE EN 2023

CHÊNE ROUGE

En 2023, 16 années après le premier mesurage, près de la moitié des chênes étaient morts et cette essence était complètement absente des stations MER et LES (tableau 1). On remarque une grande disparité de la hauteur moyenne et de la densité des tiges par hectare entre les stations. On constate également un accroissement en hauteur moyen de 5,05 m dans l'ensemble des stations entre 2007 et 2023. Nos analyses statistiques (modèles de régression) ont démontré que les caractéristiques du peuplement (âge, hauteur, surface terrière et densité des gaules) sont importantes pour expliquer les variations de croissance en hauteur des chênes rouges. La surface terrière (relation négative) et la densité des gaules (relation positive) ont les effets les plus significatifs, à l'instar des résultats de 2007. Ceci implique que les attributs du peuplement en 2007 ont grandement influencé la survie et la croissance des chênes rouges par la suite, c'est-à-dire des stations :

- Ayant une faible hauteur (jeunes) et une surface terrière réduite;
- Étant composées principalement de feuillus;
- Présentant une bonne densité de gaules après la coupe initiale.

L'âge des peuplements en 2023 (relation négative) a également eu un impact majeur pouvant expliquer les variations de croissance des chênes. Nos résultats montrent que les vieux peuplements ont un effet négatif sur la croissance et la survie du chêne rouge, même si une ouverture partielle a été effectuée avant la plantation. À cet égard, la création de trouées (petites coupes totales) d'une à deux hauteurs d'arbres serait probablement plus appropriée qu'une coupe de jardinage. En général, un vieux peuplement présente une grande hauteur, une surface terrière importante et un sous-bois dégagé lorsque le peuplement est dominé par des conifères ou brouté par le cerf de Virginie de façon répétitive.

Il appert que le broutement par le cerf de Virginie dès le début de la plantation a joué un grand rôle sur les résultats. Les chênes des stations fortement affectées par le cerf de Virginie en 2007 et présentant un bon taux de survie, mais avec des hauteurs moyennes faibles (1 m) ont été les plus affectés. Ceci fut particulièrement évident dans les stations LAI, OPT, MIC, BLA, et CHA (tableau 1). Nos travaux à St-Benoît-du-Lac ont montré que le chêne rouge est particulièrement sensible au broutement répété du cerf de Virginie. Après six années, seuls 29 % des plants avaient survécu en parcelles témoin – sans l'utilisation de manchons forestiers (voir le *Progrès forestier*, automne 2018). De plus, comme un malheur n'arrive jamais seul, l'abondance du nerprun bourdaine a également nui aux chênes rouges, particulièrement dans les stations LAI et CAJ (tableau 1).

Tableau 1. Survie, hauteur et densité des tiges des chênes rouges

Stations	Survie (%)		Hauteur (m)		Hauteur sans rejets* (m)		Densité (tiges/ha)	
	2023	2007	2023	2007	2023	2007	2023	2007
PIC	94	1,03	7,28	7,43	588	550	538	
CLO	87	9,01	16,54	16,54	850	738	738	
LEC	80	2,69	13,41	13,41	1150	925	925	
GRA	79	3,58	9,58	10,66	425	338	300	
LAN	70	1,37	8,25	9,34	3125	2175	1900	
HAU	77	1,40	5,56	8,54	438	338	213	
GRE	45	2,06	10,53	17,33	138	63	38	
PEN	74	1,03	3,73	9,66	950	700	250	
CHA	38	0,88	3,15	4,43	488	188	125	
BLA	41	1,23	4,20	10,04	463	188	75	
CRO	8	0,69	6,90	8,44	825	63	50	
MIC	41	0,95	1,26	6,64	488	200	25	
OPT	8	0,60	2,86	5,36	638	50	25	
LAI	3	0,73	7,58	11,25	1075	38	25	
CAJ	20	0,55	0,19	-	125	25	0	
MER	0	0,57	-	-	200	-	-	
LES	0	0,23	-	-	38	-	-	
Moyenne	54	1,68	6,73	9,93				

En 2007, 922 chênes rouges ont été mesurés sur l'ensemble des sites.
En 2023, 498 chênes rouges ont été mesurés sur l'ensemble des sites.
* Excluant les chênes rouges < 1,3 m de hauteur.

D'un point de vue pratique, il est important de suggérer une classification du degré de succès de l'enrichissement du chêne rouge de l'ensemble des sites échantillonnés en 2023 en Estrie. Bien que le pourcentage de survie soit un indicateur valable, ce dernier peut dans certains cas, induire une erreur quant au succès réel à long terme de la plantation. De plus, il est important de calculer la densité à l'hectare des chênes ayant réellement une chance de devenir des arbres matures, d'où la nuance entre les mesures sur la totalité des chênes (incluant les arbres plus petits et les rejets) et celles sans les rejets (tableau 1). Ceci a permis de mieux classer les stations (excellentes, moyennes ou médiocres) par rapport à la croissance en hauteur des chênes rouges dans les blocs pour un site donné. En tenant compte du taux de survie, de la hauteur moyenne et de la densité par hectare (avec et sans les rejets), nous pouvons suggérer que 8 stations sur 17 (près de la moitié) sont jugées excellentes (PIC, CLO, LEC, GRA, LAN, HAU, GRE, et PEN), que trois sont moyennes (CHA, BLA et CRO) et que six stations sont médiocres (MIC, OPT, LAI, CAJ, MER et LES).

Une classification demeure toujours subjective, mais en deçà de 50 tiges à l'hectare, il est probable que les chances de produire une cohorte viable d'arbres matures diminuent fortement. Il faut également mentionner que le succès ou l'échec des enrichissements en chêne rouge est en lien direct avec la méthode de reboisement utilisée par les conseillers forestiers il y a 20 ans. L'utilisation de manchons forestiers, afin de réduire entre autres le broutement des plants par le cerf de Virginie, était quasi inexistante. Il est probable que la situation serait fort différente si cette méthode de protection avait été préconisée dès le départ, étant donné que la croissance des chênes était peu reliée à la richesse du sol des stations échantillonnées en 2007, mais plus en lien avec les conditions d'ouverture et de structure, et la composition du peuplement naturel.



Chêne rouge reboisé par enrichissement en 2000 suite à un important chablis du peuplement d'origine. Station LEC (Stanstead) – août 2023.



Chêne rouge reboisé par enrichissement en 1991 suite à une coupe totale d'une vieille friche de feuillus intolérants. À noter : une forte présence de semis et gaules de frênes d'Amérique. Station CLO (Melbourne) – août 2023.



Chêne rouge reboisé par enrichissement en 2001 ayant réussi à croître malgré les rejets d'érable rouge issus de la coupe d'éclaircie initiale avant la plantation. À noter : une faible distance (1 mètre) entre les rejets de souche et le chêne. Station PEN (Melbourne) – juillet 2023.



Échec de l'enrichissement du chêne rouge reboisé en 2002. À noter : l'importante surface terrière d'érable à sucre et l'absence de régénération naturelle (semis et gaules) indique possiblement un broutement intense par le cerf de Virginie depuis l'enrichissement. Station MER (Ulverton) – juillet 2023.

PIN BLANC

Entre 2007 et 2023, soit après 16 années, nous constatons une baisse marquée de la survie du pin blanc sur l'ensemble des stations, où près des deux tiers des plants sont morts (tableau 2).

Tableau 2. Survie, hauteur et densité des tiges des pins blancs

Stations	Survie (%)	Hauteur (m)		Densité (tiges/ha)	
	2023	2007	2023	2007	2023
PEN	89	2,36	11,60	900	800
PIC	78	1,09	7,89	450	350
BOU	40	0,70	6,67	563	225
CAJ	30	0,70	5,40	538	163
OPT	24	1,33	6,15	775	188
AIT	20	0,84	3,02	1 000	200
GRA	14	1,81	4,87	450	63
Moyenne	35	1,26	6,51		

En 2007, 321 pins blancs ont été mesurés sur l'ensemble des sites.
En 2023, 113 pins blancs ont été mesurés sur l'ensemble des sites.

Cette diminution est plus importante que celle vue chez le chêne rouge et n'est pas reliée au broutement intense du cerf de Virginie, puisque ce facteur n'a pas influencé la croissance des pins mesurée en 2007. En effet, après 16 ans, l'âge et la hauteur du peuplement, les surfaces terrières de 2007 et 2023, et la densité des gaules de 2007 et 2023 ne peuvent expliquer significativement la hauteur des pins blancs selon nos analyses statistiques (corrélations et modèles de régression). Globalement, le pin blanc présente un accroissement en hauteur évident dans chacune des stations entre les années 2007 et 2023 (accroissement moyen de 5,25 m), mais il n'atteint pas les valeurs mesurées chez le chêne rouge dans les mêmes environnements.

La stratégie de croissance du pin blanc en enrichissement pourrait être qualifiée de conservatrice dans l'utilisation des ressources. Il est fort probable que l'ouverture initiale au moment de la plantation ait été suffisante pour maintenir une croissance moyenne depuis 20 ans puisqu'aucune des variables mesurées en lien avec la végétation des peuplements n'explique les variations de croissance du pin blanc, du moins pour les sept stations en Estrie. Il est également très probable qu'une ouverture initiale plus élevée aurait certainement changé la donne, mais les limitations initiales de ce dispositif ne permettaient pas de tester cette hypothèse.

Nous pouvons tout de même mentionner que les taux de survie et les rendements les plus faibles ont été obtenus dans les stations AIT et GRA. L'abondance du nerprun bourdaine est certainement en cause à la station AIT. Un traitement de dégagement des pins blancs aurait probablement été bénéfique pour leur survie et leur croissance. La forte repousse des feuillus tolérants pourrait expliquer les résultats à la station GRA (érable à sucre sur un site riche en éléments nutritifs et bien drainé). Nos travaux d'enrichissement du pin blanc en forêts dégradées à St-Benoît-du-Lac montrent éga-

lement que cette essence ne peut croître efficacement sur un site très fertile dominé par le frêne d'Amérique et l'érable à sucre. Finalement, vu le faible nombre de stations et de blocs mesurés dans le cas du pin blanc, nous devons demeurer prudents quant à l'interprétation de ces résultats après plus de vingt ans. Un suivi à plus long terme permettra de vérifier que la croissance de cette espèce précieuse se maintient dans l'ensemble des peuplements.



Pin blanc mature issu de la régénération naturelle retrouvé sur le site. À noter : une forte présence de fougères et de sapins baumiers malgré une station à drainage imparfait et présentant une forte pierrosité. Station PEN (Melbourne) – juillet 2023.



Pin blanc reboisé par enrichissement en 2001. À noter : la faible présence de la repousse de feuillus de valeur est très représentative d'une station mésique pauvre en éléments nutritifs où l'érable rouge dominait le peuplement initial. Station PEN (Melbourne) – juillet 2023.

CONCLUSION ET IMPLICATIONS POUR L'AMÉNAGEMENT DES FORÊTS DÉGRADÉES DE L'ESTRIE

Ce projet de recherche a permis, 16 années après le premier échantillonnage, de cerner les facteurs importants liés aux variations de croissance des chênes rouges et pins blancs reboisés par enrichissement en Estrie. La croissance du chêne rouge est liée principalement à l'âge et la hauteur des peuplements en 2023, alors que la densité des gaules et la surface terrière des sites en 2007 exercent toujours une très grande influence depuis le dernier échantillonnage. Les conclusions de 2007 sont toujours valides en 2023 et montrent que plus le peuplement présente une faible hauteur (station jeune) et une faible surface terrière des arbres au moment de la plantation, plus la croissance des chênes est favorisée. À l'opposé, les stations plus âgées (ébrâlières matures) ayant une ouverture insuffisante et où les strates de semis et gaules sont fortement réduites par le broutement du chevreuil présentent les croissances les plus faibles. D'autre part, le broutement répété du cerf de Virginie a eu un impact important pouvant expliquer en partie les résultats de survie et de croissance du chêne rouge, où près de la moitié des chênes sont morts depuis le dernier échantillonnage (2007). Toutefois, l'introduction

d'une diversité d'essences dans des peuplements feuillus matures dans une optique d'adaptation aux changements climatiques n'est pas à proscrire pour autant. C'est plutôt le scénario sylvicole – la préparation du site aux traitements d'éducation en passant par le choix des essences et la pose de protecteurs – qui est à revoir.

Le cas du pin blanc est intéressant, car aucune des variables biotiques des peuplements explique les variations de croissance de cette essence en 2023. Nos résultats montrent que le pin blanc présente toujours un potentiel de reboisement par enrichissement en Estrie malgré un taux de survie moindre que celui du chêne rouge. Toutefois, nous devons demeurer prudents quant à une conclusion définitive étant donné le plus faible nombre de parcelles mesurées pour cette espèce en 2023. Néanmoins, cette espèce ubiquiste peut coloniser des stations qui seraient défavorables au chêne, principalement en termes de type de végétation arborescente (résineuse ou feuillue) et également au niveau de la richesse du sol et du drainage.

Un des objectifs de cette étude était de pouvoir émettre des pistes de solution pour améliorer l'enrichissement comme traitement sylvicole novateur en Estrie, particulièrement en lien avec les changements climatiques qui affectent déjà l'écosystème forestier du sud du Québec. À la lumière des résultats de cette étude, il est recommandé de diminuer la densité de plantation des chênes et pins en visant 500 plants à l'hectare et de maximiser systématiquement la protection des chênes (ou autres essences feuillues) à l'aide de manchons forestiers, afin de contrer l'effet néfaste du broutement par le cerf de Virginie. Nous recommandons le manchon de type K développé par feu M. Peter Kilburn qui a abondamment testé avec succès cette méthode en Estrie. En utilisant les manchons, les conseillers peuvent cibler un plus grand spectre de peuplements en termes d'âge et de composition. Il faut également porter une attention particulière à l'invasion du sous-bois des forêts estriennes par le nerprun bourdaine avant de planifier un enrichissement et prévoir de réduire sa présence avant et après la mise en terre des plants. Pour maximiser le succès de son enrichissement en peuplements naturels ou en plantation, le propriétaire devrait au préalable réaliser une coupe partielle forte ou des trouées, utiliser systématiquement des manchons forestiers et planter rapidement au printemps, car tout se joue au cours des premières années suivant la mise en terre. Également, il ne faut pas exclure un dégagement par puits de lumière et/ou une éclaircie subséquente dans la suite du scénario sylvicole afin de favoriser la croissance des plants.

Finalement, bien que le chêne rouge et le pin blanc soient au cœur d'une stratégie possible de restauration des peuplements forestiers de l'Estrie, il faut envisager dès maintenant l'utilisation d'autres espèces d'arbres de valeur, dont les chênes blancs, les caryers, les noyers, le tilleul, l'érable à sucre, le micocoulier, le cerisier tardif, la

pruche et l'épinette rouge, sans limitations d'ajout d'autres essences potentielles. Il faut également considérer l'utilisation d'hybrides tolérants aux pathogènes exotiques (ex. châtaignier d'Amérique) ou de lignées résistantes d'essences indigènes, afin de favoriser la résilience des peuplements forestiers qui subiront probablement de grands bouleversements d'ici la fin du siècle. La restauration de l'écosystème forestier dégradé, en utilisant entre autres la méthode d'enrichissement comme mode de plantation, deviendra au fil des années un passage obligé, compte tenu de la progression fulgurante des insectes et pathogènes exotiques qui affectent déjà négativement nos forêts et qui continueront de le faire dans le futur.

REMERCIEMENTS

Ce projet d'acquisition de connaissances a été rendu possible grâce à la contribution de plusieurs organismes et individus. Nous sommes reconnaissants envers le CLD du Haut-St-François à titre de délégataire du Programme d'aménagement durable des forêts et le ministère des Ressources naturelles et des Forêts pour l'octroi du financement. Nous exprimons notre gratitude à l'ensemble des conseillers forestiers de l'Estrie et des propriétaires forestiers privés qui ont facilité la sélection initiale des stations et le mesurage subséquent des arbres. Nous tenons à remercier sincèrement M. Guyôm Cheval (ing.f.) de l'Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie et Messieurs Normand Bérubé et Hugues Meyers (agr.) pour leur aide précieuse lors du mesurage des stations au cours de l'été 2023. Enfin, nous désirons remercier M^{me} France Lambert (M. Sc.) de la Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est et M. Charles Truax (Bacc. Mathématiques) pour la saisie, le traitement et l'analyse statistique de l'ensemble des données.

Sources des images : Marie-Josée Martel

EN SAVOIR PLUS

Communiquez avec les auteurs :

Benoit Truax, Ph. D., chercheur, directeur général et fiduciaire, Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est (FRFCE)

btruax@frfce.qc.ca ou 819 821-8377

Marie-Josée Martel, ing.f., M. Sc., coordonnatrice au suivi du PPMV, Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie (AMFE)

mj.martel@abacom.com ou 819 875-1007

Voyez les articles cités dans le texte :

Truax, B., Gagnon, D., Lambert, F., Fortier, J. (2016). Restauration du chêne rouge et du chêne à gros fruits : rendements inattendus après 18 ans dans différents environnements. *Progrès Forestier*, Hiver 2016: 8-13.

Truax, B., Gagnon, D., Fortier, J., Lambert, F., Pétrin, M.-A. (2018). Quels facteurs influencent le succès d'arbres à noix et du pin blanc plantés en sous-bois d'une jeune forêt post-agricole? *Progrès Forestier*, Automne 2018: 26-31.

AMEX

Bois Franc – Hardwood Inc.

Petite quantité acceptée
Mesurage et paiement très rapides


Acheteur de billes de qualité
depuis 1995

**MERISIER
PLAINE
FRÊNE BLANC
CERISIER
ÉRABLE
CHÊNES**

2515, av. Vallée, Plessisville, Québec

Appelez-nous pour obtenir notre liste de prix ou pour planifier une livraison.

877 362-8307

info@amexhardwood.com  amexhardwood.com