Effet de l'ouverture du couvert forestier après 5 ans sur la croissance de chênes rouges reboisés par enrichissement de forêts dégradées du Centre-du-Québec

Rapport présenté à
L'Agence Forestière des Bois-Francs

Par
Benoit Truax, Ph.D.

Mars 2021

Remerciements

Ce projet de recherche a été rendu possible grâce à la contribution de plusieurs organismes et individus et principalement le Programme d'Aménagement Forestier Durable des Forêts (PADF) du Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs et la MRC de l'Érable à titre de délégataire régional. Je suis reconnaissant envers MM. Guy Larochelle et Steve Lemay de l'Agence forestière des Bois-Francs d'avoir appuyé ce projet depuis 2015 et de m'avoir aidé tout au long du processus de sélection des sites, de l'établissement et de l'application des traitements sylvicoles du dispositif et enfin de l'acquisition des données. Toute ma gratitude également aux assistants de terrain qui ont grandement aidé lors de la prise des données au fil des années (Mmes. Laurence Saucier et Émilie Larocque, MM. Olivier Dubuc, Marc-Antoine Pétrin, Alexandre Guay-Picard) et enfin, Mme Élise Bouchard pour son travail en 2016-2017 à titre de stagiaire dans le cadre du cours de 1er cycle Projet de fin d'études en sylviculture de l'Université Laval. Je tiens à remercier spécialement tous les propriétaires forestiers privés et organismes qui m'ont permis d'effectuer cette recherche sur leurs terres, et qui ont également été impliqués lors de l'exécution des traitements sylvicoles (MM. Rénald Blier, François Girard, feu Guy Roussel, Société Sylvicole Arthabaska-Drummond et Mme Bibiane Pépin). Enfin, je me dois de remercier mes collègues et collaborateurs de la Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est (MM. Daniel Gagnon et Julien Fortier et Mme France Lambert) qui ont contribué à améliorer ce rapport par leur révision scientifique et leurs commentaires.

Page couverture. Chêne rouge en peuplement forestier dégradé (automne 2015) à la station St-Albert. Crédit photo, Steve Lemay, tech. for. AFBF.

Résumé

Les forêts dégradées issues de l'abandon de culture, de coupes répétées et les plantations résineuses en déclin représentent une partie non négligeable du territoire forestier du Centre-du-Québec. Ces peuplements renferment peu d'essences d'arbres de valeur et se retrouvent très souvent sur des sites pauvres en éléments nutritifs, à drainage modéré à imparfait, où l'érable rouge et les feuillus intolérants dominent le site. Il est toutefois possible de restaurer et d'améliorer la composition de ces peuplements dégradés par la plantation d'enrichissement d'arbres de valeur. Bien que ce traitement sylvicole ait été appliqué depuis quelques décennies au Centre-du-Québec, principalement avec l'utilisation du chêne rouge, il existe peu d'information sur le devenir de ces plantations et de la méthode à suivre quant aux traitements subséquents d'ouverture du couvert forestier à appliquer, afin de maximiser la croissance des chênes. L'objectif principal de ce projet de recherche est de mesurer l'effet de l'ouverture du couvert forestier à différentes intensités (témoin, éclaircie (prélèvement de 50% des tiges), et trouée (prélèvement de 100% des tiges)) après 5 ans sur la croissance de chênes rouges, reboisés initialement sous couvert de jeunes forêts feuillues et plantations résineuses dégradées du Centre-du-Québec.

Cinq sites représentatifs des forêts dégradées et plantations résineuses en déclin de la zone d'étude (principalement localisés sur des sols pauvres à dominance de sables acides de la plaine du St-Laurent) ayant été reboisés par enrichissement au préalable ont été sélectionnés au cours de l'été 2015, où trois traitements d'ouverture du couvert ont été appliqués à l'automne 2015. Chaque site comprenait deux blocs disjoints, comportant chacun 3 traitements (6 parcelles par sites). Les parcelles avaient une dimension de 500 m^2, où 30 chênes rouges représentatifs, sur un total de 900 individus pour l'ensemble des sites, ont été identifiés et mesurés en 2015, 2016, 2017 et finalement en 2020. L'échantillonnage des sols et de la végétation a également été effectué pour l'ensemble des sites (30 parcelles au total) au cours de l'été 2020.

Les résultats après cinq ans montrent que les traitements d'ouverture du couvert forestier favorisent la croissance du chêne rouge, où le traitement de la coupe totale (trouée) permet les accroissements en volume les plus élevés (4228 cm^3), comparativement aux traitements coupe partielle (2836 cm^3) et témoin (1883 cm^3). Le taux de croissance relatif présente également le même effet traitement hautement significatif soit 2,62 cm^3/cm^3/5ans pour la coupe totale, 1,94 cm^3/cm^3/5ans pour la coupe partielle et enfin, 1,64 cm^3/cm^3/5ans pour le témoin. Fait intéressant, aucune interaction statistiquement significative (sites x traitements d'ouverture) n'a été décelée suite à l'ANOVA pour les paramètres hauteur totale, l'accroissement en hauteur et le taux de croissance relatif. Ceci indique que tous les chênes ont réagi de la même manière aux traitements d'ouverture du couvert, peu importe le site de plantation (feuillus vs résineux), facilitant ainsi la recommandation de l'application de l'enrichissement pour l'ensemble des territoires forestiers dégradés de la zone d'étude, du moins pour le chêne rouge dans des conditions de drainage adéquates. Globalement, le taux survie de l'ensemble des chênes est très élevé après 5 ans (94%), de même que pour chacun des traitements d'ouverture du couvert, ce qui suggère que les chênes étaient bien établis en 2015 au début de l'étude et avaient très bien répondu au traitement initial d'ouverture du couvert forestier (28 à 40% de la surface terrière retirée) au moment de la plantation. Par ailleurs, les faibles exigences en éléments nutritifs du chêne rouge expliquent probablement pourquoi il a été impossible d'obtenir des corrélations significatives entre la croissance des arbres et l'ensemble des facteurs édaphiques des sites de ce projet, puisqu'Il y avait au départ peu de différences entre les sites en ce qui a trait à la richesse des sols, la texture du sol et les variables de climat (température et précipitation).

Les résultats de cette étude montrent que les peuplements forestiers et plantations résineuses dégradés qui abondent sur le territoire de l'Agence forestière des Bois-Francs présentent un réel potentiel de restauration et d'aménagement, du moins avec le chêne rouge, une essence de grande valeur et qui était beaucoup plus abondante par le passé. Finalement, dans le contexte des changements globaux qui affecteront (négativement ou positivement) l'ensemble de l'écosystème forestier du sud du Québec, l'Agence Forestière des Bois-Francs devrait sérieusement envisager l'enrichissement comme traitement sylvicole adaptatif du futur, afin d'augmenter entre autres, la biodiversité et la résilience à plus long terme de ces peuplements et de favoriser un aménagement forestier durable sur l'ensemble de son territoire.

Table des matières

Remerciements ii

Résumé iii

Introduction 6

Objectif 10

Méthodes 11

Description de la zone d'étude et des sites 11

Traitements d'ouverture du couvert forestier en 2015 15

Échantillonnage et mesurage de la végétation des sites en 2020. 16

Échantillonnage et analyse des sols en 2020 17

Mesurage en 2020 des chênes reboisés par enrichissement 17

Analyse de la croissance des chênes en 2020 17

Dispositif expérimental, analyses statistiques et traitement des données 18

Résultats 19

Caractéristiques édaphiques des sites 19

Traitements d'ouverture du couvert forestier et repousse de la végétation 20

Effets des sites et des traitements d'ouverture du couvert sur la survie des chênes 21

Effet des traitements d'ouverture du couvert sur les paramètres de croissance des chênes rouges 22

Discussion 24

Conclusion et implications pour l'aménagement des forêts dégradées du Centre-du-Québec 28

Références 30

ANNEXES 33

St-Rosaire 33

Liste des tableaux

Tableau 1 Caractéristiques bioclimatiques des sites de l'étude (AFBF 2015) 11

Tableau 2 Caractéristiques générales des sites forestiers 14

Tableau 3 Caractéristiques édaphiques des cinq stations du dispositif de recherche..... 19

Tableau 4 Effet des traitements d'ouverture sur la densité totale et relative des semis et gaulis..... 20

Tableau 5 Effet des traitements d'ouverture du couvert forestier sur le pourcentage de survie des chênes rouges..... 21

Tableau 6 Effets des traitements d'ouverture sur les paramètres de croissance du chêne rouge 22

Liste des figures

Figure 1 Localisation des stations du dispositif de recherche au Centre-du-Québec 12

Figure 2 Relations entre le taux de croissance relatif du chêne rouge et la surface terrière résiduelle en 2015 et en 2020 (n=24). 23

Figure 3 Relations entre le taux de croissance relatif du chêne rouge et la densité (n/ha) de gaulis et semis en 2020 (n=30). 23

Introduction

La région du Centre-du-Québec présente un des potentiels les plus élevés en termes de productivité de la ressource forestière compte tenu de sa situation géographique favorable au niveau du climat plus chaud et des sols fertiles (Beauchesne et al.,1998; CRECQ, 2001). Cette région supportait jadis des peuplements feuillus de haute valeur, d'où son appellation des «Bois-Francs», qui ont été décimés lors de la colonisation des terres pour laisser place à l'agriculture, et ensuite par une sylviculture inappropriée qui a contribuée au déclin de ces feuillus de haute valeur (Dubeau, 2015). Cette situation n'est pas différente de celle des autres régions limitrophes et de l'ensemble du sud du Québec où les chênes, noyers et caryers sont rares actuellement sans oublier que les peuplements forestiers résiduels sont jeunes et dégradés, de distribution fragmentée, composés de feuillus intolérants et d'érables rouges issus de coupes successives ou d'abandon de culture (Laliberté et al., 2011).

L'érable rouge est en constante progression depuis plus 50 ans sur l'ensemble de son aire de distribution dans l'est de l'Amérique du Nord en lien entre autres, avec une baisse de la récurrence des feux et un aménagement forestier qui favorise cette espèce, dont la coupe par pied d'arbre, la coupe à diamètre limite, et les petites trouées contribuant à la «mésophication» de sites favorables autrefois aux chênes et aux caryers (Schuler, 2004; Nowacki et Abrams, 2008). L'érable rouge est en fait un super généraliste qui est peu exigeant en ressources du sol, présente une tolérance à l'ombre modérée et pouvant coloniser une grande variété de sites à titre d'essence qui arrive tôt dans la succession forestière (vieille friche agricole) pour maintenir sa dominance par la suite (Abrams, 1998). Pour la région du Centre-du-Québec, les peuplements à dominance d'érables rouges se retrouvent en général sur des sites mésiques et présentant une très faible richesse édaphique. Ces peuplements représentent plus de 40% de la superficie forestière actuelle de cette région (AFBF, 2015) et ont fait l'objet d'une importante revue de littérature récente quant à leur mise en valeur (Boulet, 2020). Ces peuplements sont abondants et présentent un excellent potentiel pour l'aménagement forestier, autant par l'application de traitements d'éclaircies ciblées en identifiant correctement les tiges d'avenir, que par la plantation d'enrichissement d'essences nobles et du pin blanc (Boulet, 2020).

D'autre part, les statistiques de reboisement des dernières décennies montrent que les plantations résineuses représentent la majorité des plantations effectuées sur le territoire (G. Larochelle, comm. pers.). Or, plusieurs de ces plantations sont actuellement de mauvaise qualité et ne donneront pas le rendement et la qualité de bois escomptés. Ces superficies importantes s'ajoutent à celle déjà imposantes des peuplements dégradés d'érables rouges et de feuillus intolérants qui composent la mosaïque des peuplements fréquemment rencontrés pour cette région du Québec. Ironiquement, la région possède plusieurs entreprises de transformation de bois feuillus et celles-ci doivent importer leurs billes de qualité de l'extérieur de la région et en grande partie des États-Unis (AFBF, 2015). Dans ce contexte, il est important de développer une stratégie sylvicole à moyen terme, afin de répondre à la demande de bois de qualité des industriels régionaux (maintien des avantages économiques) en mettant à contribution les milliers de propriétaires forestiers privés qui détiennent le territoire le plus productif et également la majorité des plantations résineuses de mauvaise qualité et les friches de feuillus intolérants issues de l'abandon de culture.

Il sera possible de répondre en partie à la demande de feuillus de qualité en utilisant, entre autres, la méthode d'enrichissement de forêts et de plantations résineuses dégradées par la plantation de chênes. Au Québec, les travaux pionniers de Benoit Truax et Daniel Gagnon montrent qu'il est possible de réintroduire avec succès du chêne rouge par enrichissement de peuplements forestiers dégradés autant résineux que feuillus (Truax, et al., 1994; Truax et al., 2000; Truax et al., 2015; Truax et al., 2018). Nos travaux corroborent les nombreuses recherches menées aux États-Unis sur l'enrichissement du chêne rouge, où cette essence est reboisée 2 à 3 ans avant une coupe partielle du couvert forestier « shelterwood cut » (Johnson, 1984; Johnson et al., 1986; Loftis, 1990; Hannah, 1991; Buckley et al., 1998; Gribko et al., 2002; Spetich et al., 2002; Dey et al., 2008). Cette façon de faire permet une certaine acclimatation des semis à un couvert partiel et une compétition moins forte des espèces arbustives et arborescentes souvent présentes sous le couvert du peuplement dominant (Parker et Dey, 2006). Toutefois, à la différence de la majorité des travaux américains sur l'enrichissement en forêts matures à dominance de feuillus tolérants, où le chêne est une composante parfois importante (Buckley et al., 1998; Povak et al., 2008), nos travaux ont également montré l'importance de cibler des peuplements forestiers jeunes à dominance d'essences feuillues intolérantes à l'ombre, de début de succession et ayant un drainage du sol adéquat et très souvent issues de sites d'abandon de culture. Notre hypothèse propose que ce milieu de plantation présente moins de compétition pour les ressources (eau,

lumière, nutriments du sol) pour les semis de chênes reboisés sous couvert, tout en permettant à moyen terme une éclaircie naturelle du couvert forestier, compte tenu de la dominance des essences de feuillus intolérants qui sont reconnues pour leur cycle de vie court. Les conditions retrouvées dans ces peuplements dégradés correspondent essentiellement aux exigences du chêne rouge, qui selon Crow (1988) n'est pas une essence typiquement de début de succession, et non plus une essence qui peut tolérer l'ombre comme les espèces à croissance plus lente sous un couvert dense. On peut caractériser le chêne rouge comme une espèce qui croît le mieux en bordure dans les écotones, qui préfère un site relativement ouvert, mésique, où la compétition pour les ressources est faible.

Nos travaux de recherche du début de la décennie 1990 ont incité quelques agences forestières du sud du Québec (dont l'Agence Forestière des Bois-Francs) à développer cette approche de la plantation par enrichissement avec différents conseillers forestiers accrédités sur leur territoire. C'est ainsi que plusieurs plantations de feuillus nobles ont été effectuées au fil des ans, et réparties sur l'ensemble du territoire de l'Agence forestière des Bois-Francs. Toutefois, bien que plusieurs succès d'établissement de chênes rouges aient été constatés sur le territoire avec ce mode de reboisement, il n'en demeure pas moins que les gestionnaires du programme d'aménagement forestier régional se questionnent sur la séquence des traitements sylvicoles à effectuer ou non en cours de rotation, afin de maximiser le rendement des feuillus de valeur et d'optimiser le budget régional. Ce point est très important puisque le reboisement feuillu est en baisse actuellement pour la région du Centre-du-Québec, compte tenu des insuccès souvent rencontrés avec ce type de reboisement en champ abandonné agricole, ce qui était la norme dès le début du programme en 1995.

D'autre part, il faut mentionner que le programme actuel de mise en valeur des Agences forestières ne prévoit plus le remboursement pour les travaux de dégagements de la végétation concurrente (paillis, herbicide, motoculteur, etc.) et de la pose des manchons forestiers et clôtures contre le broutement par le cerf de Virginie, qui abonde dans la région. Cette situation favorise toutefois le reboisement par enrichissement puisque le dégagement de la végétation herbacée, qui est une opération onéreuse, n'est pas requis en milieu forestier. De plus, la coupe d'éclaircie initiale (shelterwood cut) avant la mise en terre des semis sous le couvert forestier résiduel permet la récupération d'un certain volume de bois, ce qui amorti en partie le coût de l'opération.

Enfin, les effets escomptés des changements climatiques en cours suggèrent que certains conifères (épinette blanche) seront plus vulnérables au sud du Québec dans le futur (Périé et al., 2014), incitant les gestionnaires forestiers à une plus grande prudence quant à l'utilisation de cette essence qui a été abondamment reboisée par le passé. L'enrichissement en feuillus nobles pourrait augmenter la biodiversité et la résilience de ces peuplements, en lien avec les changements globaux du climat en cours, ainsi que de l'arrivée inévitable de nouveaux pathogènes et d'insectes exotiques. Finalement, enrichir des forêts dégradées par la plantation de chênes va également maximiser la séquestration du carbone atmosphérique, tant au niveau de l'augmentation de la productivité du peuplement que de l'amélioration du cycle de vie du bois de haute valeur.

Pour toutes les raisons mentionnées précédemment, il est important de développer une sylviculture des feuillus nobles, entre autres pour le chêne rouge, afin d'établir des balises pour faciliter le traitement des peuplements forestiers dégradés et les plantations résineuses en déclin qui abondent sur le territoire du Centre-du-Québec. Nous émettons l'hypothèse que le chêne rouge reboisé par enrichissement pourra croître adéquatement, même si l'érable rouge est présent sur un site ayant une richesse édaphique très pauvre, pourvu que le site soit relativement jeune, ait une certaine ouverture initiale du couvert (hauteur, densité des gaulis et surface terrière plus faibles), qu'une coupe partielle initiale soit effectuée juste avant la plantation (shelterwood cut) et que celle-ci soit suivie d'un traitement de dégagement du peuplement résiduel par la suite.

Objectif

L'objectif général de ce projet est de tester une nouvelle stratégie de reboisement du chêne rouge à petite échelle, afin de restaurer l'écosystème forestier dégradé de la région du Centre-du-Québec, tout en favorisant sa résilience, son adaptabilité aux changements climatiques et de permettre, à long terme, une séquestration accrue du carbone et la production de bois de haute valeur.

Objectifs spécifiques :

1) Mesurer l'effet de l'ouverture du couvert forestier à différentes intensités (témoin, éclaircie (50 % prélèvement des tiges) et trouée (100 % prélèvement des tiges)) après 5 ans sur la croissance de chênes rouges reboisés sous couvert de jeunes forêts feuillues et plantations résineuses dégradées du Centre-du-Québec.

2) Développer un modèle exploratoire du rendement des chênes intégrant les variables de sols, de végétation de sous-bois, des essences arborescentes résiduelles et de l'ouverture des peuplements reboisés.

3) Produire à terme, un document-résumé vulgarisé afin de favoriser le transfert des connaissances aux représentants de l'AFBF, ainsi qu'aux propriétaires forestiers privés et utilisateurs de la ressource forestière du Centre-du-Québec, afin de mieux guider leurs décisions concernant la restauration de la forêt dégradée sur le territoire.

Méthodes

Description de la zone d'étude et des sites

La sélection des sites a été effectuée conjointement par l'Agence forestière des Bois-Francs et la Fiducie de recherche sur la forêt des Cantons-de-l'Est au cours de l'été 2015. Tout d'abord, un relevé exhaustif des sites potentiels a été effectué préalablement à une visite terrain. Ces stations avaient été reboisées avec du chêne rouge sur une période de 3 à 9 ans dans le cadre d'un programme spécial de l'Agence forestière des Bois-Francs. Les sites devaient répondre à des critères de base, tels qu'un minimum de semis ou gaulis de chênes reboisés et toujours vivants, une surface adéquate pour établir le dispositif de recherche, et finalement un accord verbal avec le propriétaire forestier privé.

Suite aux visites terrain, cinq stations ont été retenues soit : les sites St-Rosaire, Bécancour, St-Sylvère, St-Albert et Ste-Sophie-de-Levrard. Ces sites se retrouvent dans le domaine bioclimatique de l'érablière à tilleul de l'Est, où le climat est de type modéré subhumide continental, et caractéristique d'une relativement longue saison de croissance, et sont tous localisés dans la région des basses terres du Saint-Laurent (Tableau 1, Figure 1). De plus, ces stations représentent trois unités de paysages distinctes soit, l'unité de Drummondville, de Nicolet et de Laurier-Station (Robitaille et Saucier, 1998).

Tableau 1 Caractéristiques bioclimatiques des sites de l'étude (AFBF 2015)

Sites	Région écologique	Nombre de jours sans gel	Précipitation annuelle totale (mm)	Température annuelle moyenne	Altitude moyenne (m)	Dépôt de surface
St-Rosaire	2b-T	155 - 170	1149 - 1204	4,6 - 5,0	104	5S
Bécancour	2b-T	155 - 170	984 - 1039	4,6 - 5,0	18	5S
St-Sylvère	2b-T	155 - 170	1039 - 1094	4,6 - 5,0	94	5S
St-Albert	2b-T	155 - 170	1149 - 1204	4,6 - 5,0	118	5S
Ste-Sophie	2b-T	155 - 170	1039 - 1094	4,6 - 5,0	81	5S
2b-T : Plaine du St-Laurent ; 5S : Marin (faciès d'eau peu profonde)						

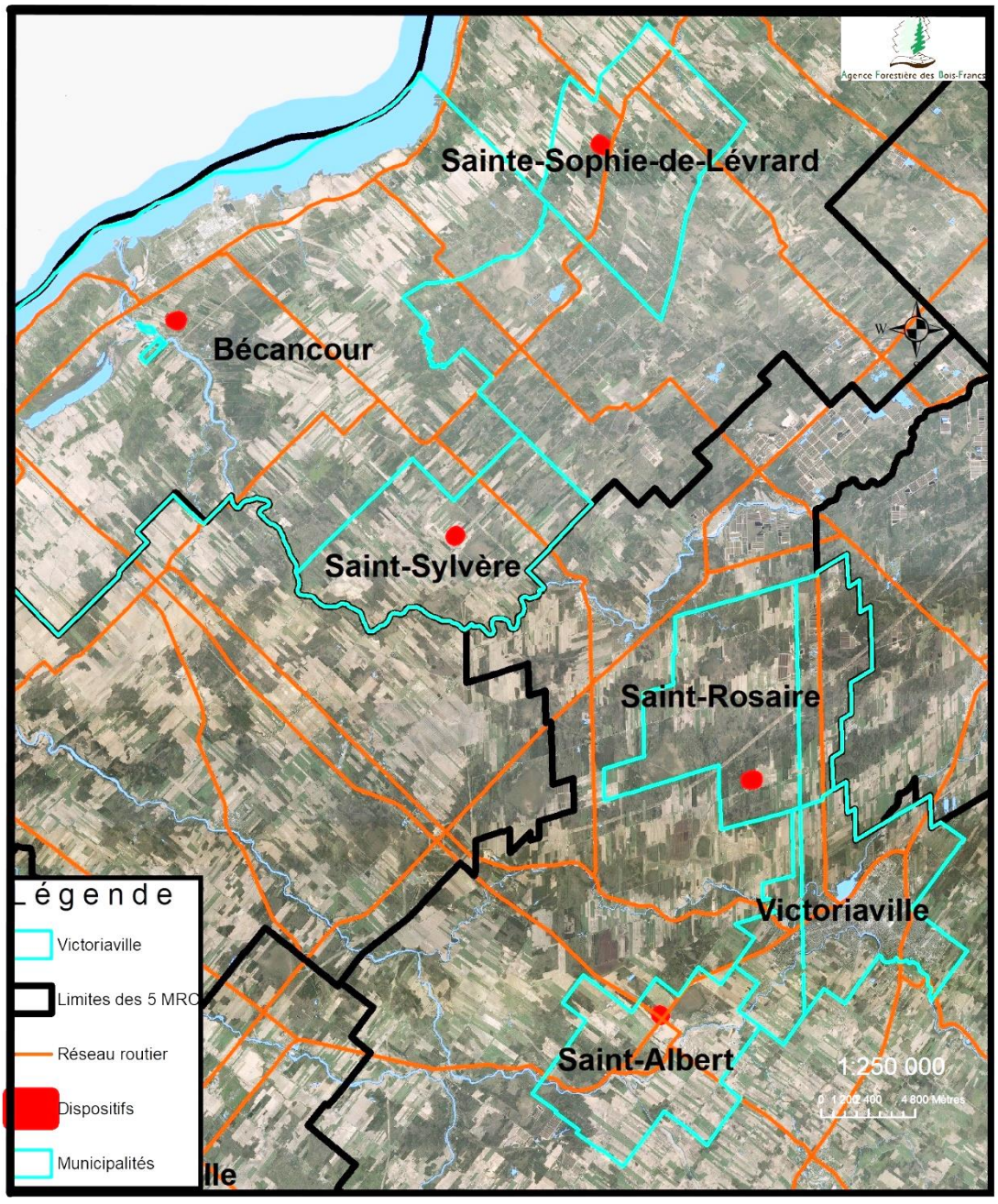

Figure 1 Localisation des stations du dispositif de recherche au Centre-du-Québec

Les données initiales de la prescription sylvicole lors de la plantation par enrichissement étaient disponibles pour chaque site. Il a été possible de colliger les données de la surface terrière initiale et finale, avant et après la plantation, et les données relatives à la qualité du peuplement forestier dégradé (Tableau 2). L'ensemble des sites étaient relativement jeunes au moment de l'application du traitement de dégagement manuel pour l'enrichissement (DMPE) et les peuplements présentaient des densités et hauteur moyennes également. Deux stations, St-Sylvère et Ste-Sophie-de-Levrard étaient des plantations résineuses alors que les stations St-Rosaire et St-Albert étaient probablement issues d'abandon de culture. Enfin, le site Bécancour était plus associé à une forêt secondaire perturbée était le plus vieux peuplement, où des chênes rouges et blancs indigènes ont été recensés. Le prélèvement de la surface terrière, suite au traitement d'ouverture initiale du couvert (DMPE) a varié entre 28 et 40 %, ce qui correspond en gros aux exigences du programme de l'Agence qui permettait des valeurs entre 30 à 50 %. Il est important de noter que ce prélèvement initial a été fait par martelage qui visait principalement les essences moins longévives, où le bouleau gris et les peupliers étaient retirés en priorité, laissant ainsi les érables en place. Il faut mentionner également que la plantation de pin gris à Ste-Sophie-de-Levrard a été traitée par une coupe d'assainissement et avait subi des dommages causés par le verglas. Tous les chênes rouges reboisés (d'une source régionale) provenaient de la pépinière du Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs du Québec de Berthierville. Puisque les plantations ont été effectuées sur une longue période par des conseillers et pour des propriétaires forestiers privés différents, il est normal que les densités retrouvées diffèrent entre les sites (Tableau 2).

Tableau 2 Caractéristiques générales des sites forestiers (données provenant des prescriptions sylvicoles des conseillers forestiers)

Sites	Gr. essences	Densité du peuplement	Hauteur du peuplement (m)	Âge* (ans)	Surface terrière avant DMPE** (m²/ha)	Surface terrière après DMPE** (m²/ha)	Pourcentage surface terrière retirée (%)	Année de plantation du chêne rouge (CHR)***	Densité plantation CHR**** (nb/ha)	Âge des semis au moment du traitement (2015) (ans)
St-Rosaire	Fi (ERR, BOG, PET)	C	11	30 (44)	11,1	8,0	28	2006	1140	9
					12,7	7,8	39	2008	2750	7
Bécancour	Eo (ERR, PET, PEG, CHR)	B	15	60 (51)	20,0	12,5	38	2010	1000	5
St-Sylvère	PiS p (PIS, PET)	B	11	30 (45)	26,0	17,0	35	2007	870	8
St-Albert	fr (BOG, ERR, PET, CEP)	B	12	30 (41)	13,0	9,0	31	2007	1000	8
Ste-Sophie	PiG p	C	16	40 (50)	40,5	24,3	40	2012	1500	3

***** Âge : Les données entre parenthèses proviennent du carottage de deux arbres des parcelles témoin en 2020.
****** DMPE : Dégagement manuel pour l'enrichissement.
******* Année de plantation : Les densités pouvaient varier puisque d'autres espèces que le chêne rouge pouvaient être reboisées.
******** Densité plantation : Deux reboisements distincts (2006 {bloc 2} et 2008 {bloc 1}) ont été effectués à la station St-Rosaire.

Traitements d'ouverture du couvert forestier en 2015

À la fin de l'été 2015, une prospection fine a été effectuée sur l'ensemble de chaque site avant l'application des traitements d'ouverture du couvert forestier. Cette étape s'est avérée essentielle afin de s'assurer d'une répartition acceptable des semis et gaulis de chênes rouges dans l'ensemble du peuplement visé. Deux blocs (répétitions) ont été délimités pour chaque site dans lesquels 3 traitements sylvicoles seraient appliqués soit : une parcelle témoin, une éclaircie (50 % de la surface terrière retirée) et une trouée (100 % de la surface terrière retirée) pour un total de 6 parcelles par site. Chaque parcelle/traitement mesurait 20 m x 25 m pour une surface totale de 500 m². Une zone tampon minimale de 10 m a été établie entre chacune des parcelles/traitements du bloc afin d'éviter un effet de bordure qui pourrait amener un biais dans le dispositif de recherche. Par la suite, 30 chênes rouges ont été sélectionnés dans chacune des parcelles et identifiés à l'aide d'une petite plaque métallique permanente (en plus d'un marquage avec un ruban coloré). La sélection des chênes a été effectuée en subdivisant chaque parcelle/traitement en 4 quadrats de 5 m x 25 m, où 7 à 8 chênes bien répartis étaient sélectionnés par section.

Tous les arbres des traitements 50 % et 100 % ont été identifiés (martelage négatif réalisé par M. S. Lemay de l'AFBF), où les plus gros spécimens d'érable rouge, peuplier, bouleau et résineux étaient priorisés pour la coupe. Le même scénario a été appliqué pour les plantations résineuses en favorisant le prélèvement des plus gros arbres. L'objectif était de prioriser cette fois-ci les érables rouges et résineux de gros calibre pour permettre une ouverture plus permanente à moyen terme et favoriser la croissance des chênes sous-couvert. Les traitements d'éclaircie et de coupe totale en trouée ont été effectués par les propriétaires ou à forfait à l'automne 2015, et une vérification par l'AFBF a été effectuée par la suite. Une évaluation de la surface terrière résiduelle a également été effectuée à ce moment. Cette mesure a permis de valider le pourcentage de prélèvement pour chaque parcelle des traitements et de s'assurer que le dispositif était relativement bien balancé à ce niveau (données non présentées).

Tous les semis et gaulis de chênes identifiés (900 arbres au total pour les cinq sites) ont été mesurés à l'automne pour les années 2015, 2016 et 2017 inclusivement. Le diamètre à la souche (DHS) et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP à 1,30 mètre de hauteur) ont été mesurés à l'aide d'un vernier. La hauteur totale a été mesurée à l'aide d'une règle ou d'une perche télescopique

dépendant de l'état du semis ou gaulis de chêne. Une attention particulière a été portée à l'évaluation de l'état de chaque semis ou gaulis de chêne suite au broutement par le cerf de Virginie ou d'une cassure suite aux travaux d'éclaircie.

Échantillonnage et mesurage de la végétation des sites en 2020.

Tous les sites ont été mesurés au cours de l'été 2020. Chacune des six parcelles (deux blocs/site) a été balisée à l'aide de rubans à mesurer en utilisant les repères visuels antérieurs sur chaque coin et le long du périmètre d'origine, afin de retrouver le périmètre le plus précis possible du traitement de 2015, soit une surface de 500 m². À intérieur de chaque parcelle, chaque tige d'arbre a été comptée et mesurée par essence. Les arbres de dimensions commerciales dont le DHP était supérieur à 10 cm et les gaules ayant un DHP entre 1 à 10 cm ont été mesurés par classes de 5 cm de diamètre (1-5 cm et 5-10 cm). Une attention particulière a été apportée également à la régénération des semis naturels où le nombre a été évalué. Pour ce faire, nous avons délimité, à l'aide de rubans à mesurer, un corridor de 5 m de largeur par 25 m de longueur au centre de chacune des parcelles, afin de compter les semis dont le DHP était inférieur à 1 cm et dont la hauteur variait entre 30 cm et 1,3 m. Cette façon de procéder évitait de considérer les jeunes semis de l'année dans le calcul. Les strates arbustives et la végétation de sous-bois ont également été mesurées en utilisant le même corridor central de 125 m² décrit précédemment pour les semis en estimant le pourcentage de recouvrement total pour chaque espèce recensée. Les espèces indicatrices étaient priorisées lors de ce mesurage, dont l'onoclée sensible, les osmondes, la fougère à l'aigle, etc.

De plus, l'âge du peuplement a été évalué par carottage à l'aide d'une sonde de Pressler. Deux arbres matures d'espèces différentes et dominantes ont été sélectionnés dans chacune des parcelles témoin. La hauteur du peuplement a également été évaluée pour chaque parcelle de l'ensemble des sites en utilisant le clinomètre. Aussi, les facteurs écologiques de chaque parcelle ont été notés soit (pourcentage et orientation de la pente, classe de drainage du sol, pierrosité en surface, et altitude).

Enfin, la présence ou l'absence de mouchetures a été évaluée pour chacune des parcelles d'un site. À l'aide d'une pelle, le sol était tranché jusqu'à 40 cm de profondeur afin d'exposer une face nette et exempte de débris. Il était possible alors de constater la présence ou l'absence de mouchetures (taches orangées présentes en profondeur).

Échantillonnage et analyse des sols en 2020

Un échantillon composite de sol a été prélevé à l'intérieur de chacune des parcelles afin d'évaluer la richesse édaphique et les propriétés du sol. L'échantillon composite a été élaboré à partir de 5 sous-échantillons répartis à l'intérieur de la parcelle afin de tenir compte de la variabilité édaphique pour une surface de 500 m². Il s'agissait de prélever surtout un sol minéral sous la litière à une profondeur située entre 0 et 20 cm. De plus, une attention particulière a été portée à la présence de mouchetures. Les échantillons de sols prélevés ont ensuite été séchés à l'air, tamisés au tamis de 2 mm et expédiés au laboratoire Eurofins-Environex Environnement de Longueuil pour les analyses de base et la granulométrie (pH, Ca, Mg, K, N, P, matière organique, % sable, % argile et % limon).

Mesurage en 2020 des chênes reboisés par enrichissement

À la fin de l'été 2020, tous les semis et gaulis de chênes identifiés en 2015 (900 arbres au total pour les 5 sites) ont été retrouvés et mesurés. Le diamètre à la souche (DHS) et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP à 1,30 mètre de hauteur) ont été mesurés à l'aide d'un vernier et la survie a également été notée. La hauteur totale a été mesurée à l'aide d'une règle ou d'une perche téléscopique, dépendant de la taille du semis ou gaulis de chêne. Une attention particulière a été portée à l'évaluation de l'état de chaque semis ou gaulis de chênes suite au broutement par le cerf de Virginie ou d'une cassure suite aux travaux d'éclaircie ou de la chute d'un arbre ou de grosses branches. D'autre part, nous avons mesuré la hauteur de la première branche vivante ainsi que son diamètre pour l'ensemble des chênes rouges du dispositif.

Analyse de la croissance des chênes en 2020

Suite à l'échantillonnage des 30 parcelles (5 sites) du projet, nous avons retenu les variables suivantes: la hauteur totale en 2015 et en 2020; le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) en 2015 et en 2020; le diamètre basal ou diamètre à la souche (DHS) en 2015 et en 2020; le volume par tige en 2015 et en 2020; les accroissements en hauteur, en diamètre basal et en volume sur 5 ans et finalement le taux de croissance sur 5 ans ou « relative growth rate » (RGR). Il a été possible d'obtenir ces données en utilisant la moyenne des 30 chênes mesurés pour chacune des parcelles du dispositif.

La détermination du volume de chaque arbre a été obtenue en utilisant dans un premier cas, soit pour un arbre n'ayant pas de DHP, la formule d'un cône soit : $V = \pi * R^2 * h/3$ où le volume est exprimé en cm³, R représente le rayon du diamètre à la souche en cm et h indique la hauteur totale de l'arbre.

Dans le cas d'un arbre ayant un DHP, le volume a été calculé en utilisant dans un premier temps la formule de Perron (1996) soit : $V = \pi/12(DHS^2 + DHP^2 + DHS * DHP) * h$ de la base jusqu'au DHP et la formule d'un cône pour le reste de l'arbre. Le taux de croissance ou RGR a été calculé selon la formule de Hunt (1990) soit : $RGR = (\ln V_2 - \ln V_1)/(t_2 - t_1)$ où V1 et V2 représentent les volumes pour les années 2015 et 2020 et t1 et t2 représentent les années 2015 et 2020.

Dispositif expérimental, analyses statistiques et traitement des données.

Le dispositif expérimental a été établi selon un modèle factoriel à blocs aléatoire, incluant les facteurs principaux suivants : les sites (5), les blocs intra-sites (2) et les 3 traitements sylvicoles d'ouverture du couvert (témoin, éclaircie 50 % et trouée 100 %) pour un total de 30 parcelles expérimentales (Petersen, 1985). Les variables de sol, de la végétation (surface terrière des arbres par espèce, % de recouvrement des arbustes et plantes de sous-bois) et de croissance des chênes ont été traitées dans un premier temps par analyse de variance (ANOVA), afin de faire ressortir les facteurs principaux et les interactions significatives. L'erreur type a été utilisée afin de déterminer si des différences significatives étaient retrouvées entre les différents traitements d'ouverture selon trois seuils de signification soit : *p<0,05, **p<0,01 et ***p<0,001 (Petersen, 1985). Il a également été possible d'effectuer des corrélations de Pearson avec l'ensemble des variables mesurées (sol, végétation, croissance des chênes, etc.). Une fois ces données ramenées sous forme de matrice contenant les variables, il a été possible de sélectionner les variables qui présentaient les valeurs les plus élevées, pour permettre par la suite la sélection finale pour l'analyse de régression. Des régressions simples et multiples ont été effectuées. Par la suite, il a été possible de représenter graphiquement chacune de ces relations, principalement entre le taux de croissance relatif du chêne rouge et les surfaces terrières mesurées en 2015 et en 2020, ainsi qu'entre le taux de croissance du chêne rouge et la densité totale des gaulis et semis retrouvés pour chaque traitement d'ouverture du couvert en 2020.

Résultats

Caractéristiques édaphiques des sites

Les résultats indiquent que les 5 sites diffèrent peu en ce qui a trait aux caractéristiques édaphiques, sauf la station St-Sylvère qui ressort clairement hors du groupe (Tableau 3). Cette station présente des différences statistiquement significatives pour les classes texturales, le pH, le Ca, Mg, K et la saturation en Ca (%). Le pH moyen (toutes stations confondues) est faible, avoisinant 4,4. Les classes texturales du sol présentent également peu de variation entre les sites allant d'un gradient de loam sableux, en passant par le sable loameux et finalement d'un sable, résultats typiques de la zone d'étude où des dépôts de sable de la plaine du Saint-Laurent sont fréquents. Les mouchetures à 40 cm de profondeur étaient quasi absentes des cinq sites à l'étude (données non présentées).

Tableau 3 Caractéristiques édaphiques des cinq stations du dispositif de recherche

Sites	Argile	Limon	Sable	Classe texturale	Drainage	Mat. org.	pH	Ca	Mg	K	P	Saturation Ca
	(%)	(%)	(%)			(%)		kg/ha	kg/ha	kg/ha	kg/ha	(%)
St-Rosaire	4,3	15,5	80,2	Sable loameux	Modéré-Bon	5,2	4,5	103	20	48	50	1
Bécancour	6,5	11,3	82,2	Sable loameux	Modéré	5,9	4,3	263	34	61	31	3
St-Sylvère	11,8	25,6	62,6	Loam sableux	Modéré-Bon	4,6	4,7	418	53	96	50	6
St-Albert	4,5	17,3	78,2	Sable loameux	Modéré-Imparfait	7,0	4,2	176	27	78	67	3
Ste-Sophie	4,6	11,2	84,2	Sable	Bon	5,2	4,4	110	15	48	107	1
Erreur type	1,3	2,1	2,3			0,7	0,1	47	5	8	29	1
p<	0,01	0,01	0,001			NS	0,01	0,01	0,01	0,01	NS	0,01

Seuils de signification: *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, NS = Non significatif.

Traitements d'ouverture du couvert forestier et repousse de la végétation

Les relevés de végétation de l'été 2020 ont permis d'évaluer la régénération de toutes les essences arborescentes ou de compétition retrouvées pour les trois traitements d'ouverture du couvert forestier du dispositif (témoin, coupe 50 % et coupe totale ou trouée). Le Tableau 4 présente tout d'abord les densités moyennes des semis et gaulis (toutes espèces confondues) pour chaque traitement d'ouverture du couvert. Les résultats montrent que la coupe totale présente la valeur la plus élevée avec 5 824 tiges/ha et est la seule variable significative. La densité des semis toutes espèces confondues ne varie pas de façon significative entre les trois traitements d'ouverture. Bien que l'ANOVA de la densité relative des gaules et semis d'érable rouge ne montre pas d'effet significatif pour ces variables, il est intéressant de noter que l'érable rouge représente tout de même 62 % des gaules et 54 % des semis mesurés.

Tableau 4 Effet des traitements d'ouverture sur la densité totale et relative des semis et gaulis

	Traitements d'ouverture du couvert						
	Témoin	**Coupe 50%**	**Coupe totale**	Moyenne	Erreur type	F statistique	Seuils de signification
Densité des gaules 1-5 cm toutes espèces (nb/ha)	2896	4112	5824	4277	592	6,1726	p < 0,05
Densité relative des gaules 1-5 cm pour l'érable rouge (%)	67	56	62	62	5	1,0298	NS
Densité des semis toutes espèces (nb/ha)	7912	8840	6850	7867	1501	0,4402	NS
Densité relative des semis pour l'érable rouge (%)	49	49	64	54	7	1,6554	NS

Seuils de signification: *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, NS = Non significatif.

Effets des sites et des traitements d'ouverture du couvert sur la survie des chênes

Le Tableau 5 présente le détail de l'interaction significative (F=2,3463 p<0,05) du pourcentage de survie en 2020 entre les cinq sites et les trois traitements d'ouverture du couvert forestier. Premièrement, on remarque qu'il n'y a pas de différences significatives entre les cinq stations du dispositif et que les valeurs oscillent entre 90 et 99 %, pour une moyenne tous sites confondus de 94 % de survie. Toutefois, il est intéressant de noter qu'il y a des variations notables pour certaines stations et certains traitements d'ouverture. Le pourcentage de survie le plus faible est retrouvé principalement à la station Ste-Sophie pour le traitement de coupe totale (75 %), suivi de la station St-Albert pour le traitement témoin (85 %) et finalement de la station Bécancour pour le traitement coupe totale (85 %). En général, le traitement coupe totale ou trouée présente le pourcentage de survie le plus faible (91 %), alors que 96 % des chênes mesurés depuis 2015 ont survécus dans les traitements témoin et coupe partielle à 50 %.

Tableau 5 Effet des traitements d'ouverture du couvert forestier sur le pourcentage de survie (%) des chênes rouges

Sites	**Traitements**			
	Témoin	**Coupe 50%**	**Coupe totale**	Moyennes
St-Rosaire	98	98	100	99
Bécancour	100	97	85	94
St-Sylvère	98	93	100	97
St-Albert	85	97	95	92
Ste-Sophie	100	95	75	90
Moyennes	96	96	91	**94**

Erreur type Sites = 3; F statistique = 2,0734; NS

Erreur type Traitements = 2; F statistique = 2,3463; NS

Erreur type Sites X Traitements = 4; F statistique = 3,2147; *p<0,05

Seuils de signification: *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, NS = Non significatif.

Effet des traitements d'ouverture du couvert sur les paramètres de croissance des chênes rouges

Les résultats obtenus indiquent que les traitements d'ouverture du couvert forestier favorisent la croissance des chênes rouges (Tableau 6). En effet, dix variables mesurées presentent des effets significatifs à très hautement significatifs autant pour la hauteur, le diamètre basal et le DHP, le volume et le taux de croissance. De plus, l'erreur type de la majorité des variables mesurées montre des différences significatives pour chaque traitement, indiquant qu'ils sont statistiquement différents les uns des autres. Le traitement coupe totale est celui qui présente les valeurs les plus élevées, suivi du traitement coupe partielle et finalement du témoin (Tableau 6). Enfin, la hauteur de la première branche vivante est le seul paramètre qui ne presente pas de différences significatives entre les trois traitements d'ouverture du couvert forestier en 2020.

Tableau 6 Effets des traitements d'ouverture sur les paramètres de croissance du chêne rouge

	Traitements d'ouverture du couvert						
	Témoin	**Coupe 50%**	**Coupe totale**	Moyenne	Erreur type	F statistique	Seuils de signification
Hauteur (cm)	381	423	471	425	17	6,7441	p < 0,05
Acc. hauteur (cm)	176	207	262	215	12	13,1499	p < 0,01
Diamètre basal (mm)	36,6	43,7	56,7	45,7	1,5	48,9427	p < 0,001
Acc. diam. basal (mm)	15,3	21,8	35,1	24,1	1,1	87,9604	p < 0,001
DHP (cm)	22,8	27,2	35,7	28,6	0,9	49,7000	p < 0,001
Acc. DHP (cm)	12,6	16,8	25,7	18,4	0,7	91,0286	p < 0,001
Volume (cm^3)	1883	2836	4706	3142	209	47,0792	p < 0,001
Acc. volume (cm^3)	1405	2350	4228	2661	164	76,5476	p < 0,001
Taux de croissance (cm^3/cm^3/5 ans)	**1,64**	**1,94**	**2,62**	**2,07**	**0,09**	**31,7557**	**p < 0,001**
Hauteur 1ière branche vivante (cm)	127	138	131	132	7	0,7784	NS
Diamètre 1ière branche vivante (mm)	8,39	9,70	12,30	10,13	0,45	19,7021	p < 0,001

Seuils de signification: *p<0,05, **p<0,01, ***p<0,001, NS = Non significatif.

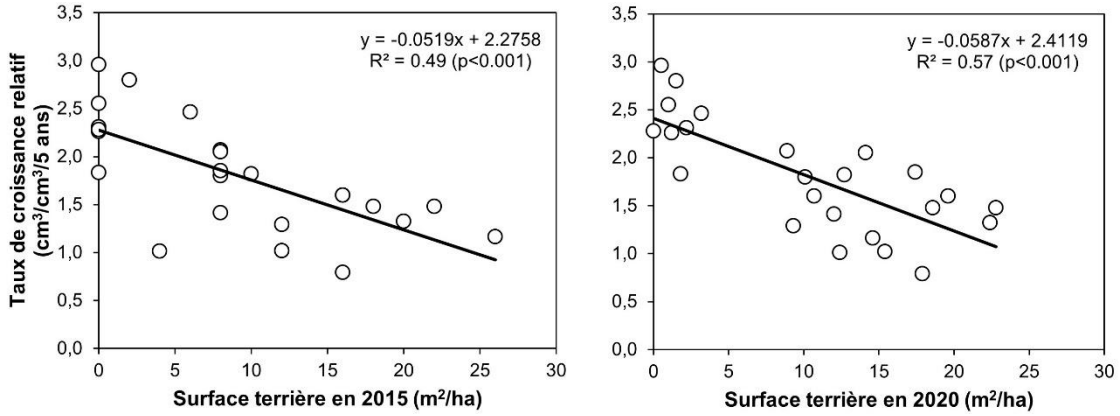

Figure 2 Relations entre le taux de croissance relatif du chêne rouge et la surface terrière résiduelle en 2015 et en 2020 (n=24).

La Figure 2 montre des relations hautement significatives autant en 2015 (R^2=0,46 p<0,001) qu'en 2020 (R^2=0,57 p<0,001). Le taux de croissance relatif du chêne rouge, 5 ans après l'application des traitements d'ouverture du couvert forestier, varie négativement avec l'augmentation de la surface terrière. Le site Ste-Sophie-de-Levrard a été exclu de l'analyse dans ce cas précis en raison des valeurs très élevées (« outlier ») chez les chênes les plus jeunes du dispositif.

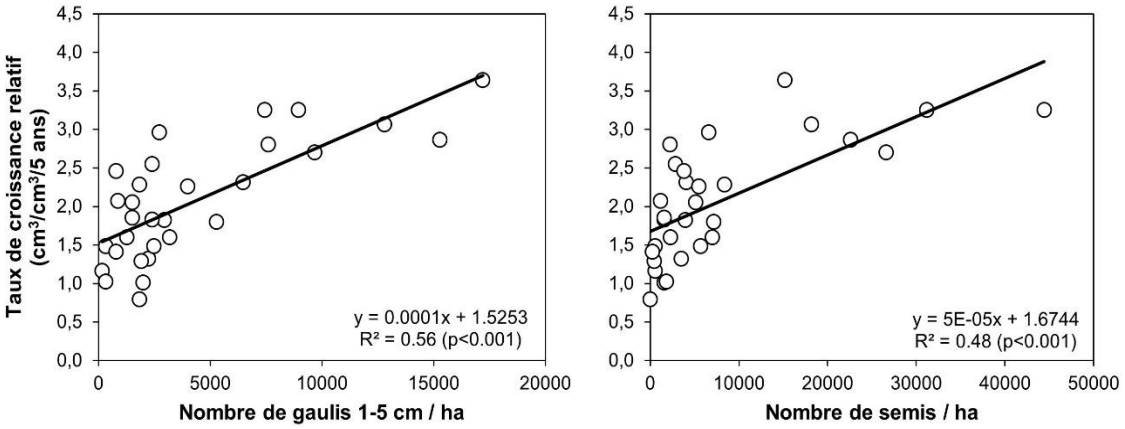

Figure 3 Relations entre le taux de croissance relatif du chêne rouge et la densité (n/ha) de gaulis et semis en 2020 (n=30).

La Figure 3 montre des relations hautement significatives en 2020. Le taux de croissance relatif du chêne rouge, 5 ans après l'application des traitements d'ouverture du couvert forestier, varie positivement en lien avec l'augmentation des semis et gaulis toutes espèces confondues.

Discussion

Cette étude a montré, cinq années après l'application de traitements d'ouverture du couvert forestier, que le chêne rouge reboisé initialement par enrichissement de peuplements dégradés répond positivement à cette perturbation artificielle et confirme notre hypothèse de départ (Tableau 6, Figure 2). La coupe totale (trouée de 500 m²) est sans l'ombre d'un doute le traitement le plus favorable à l'accroissement des chênes rouges reboisés par enrichissement pour l'ensemble des sites étudiés, suivi par la coupe partielle et finalement le témoin. D'autre part, l'ANOVA montre que l'interaction «sites x traitements d'ouverture» s'est avérée non significative pour la hauteur ($F=1,2410$ $p<0,25$), l'accroissement en hauteur ($F=1,3620$ $p<0,25$) et le taux de croissance relatif des chênes rouges après 5 ans ($F=2,1785$ $p<0,20$). Ce résultat indique que les chênes rouges reboisés par enrichissement ont tous réagi de la même façon aux traitements d'ouverture, peu importe que les semis se soient retrouvés en plantation de conifères ou dans de vieilles friches d'origine agricole, où les feuillus intolérants et l'érable rouge dominent.

Ce résultat confirme nos travaux antérieurs sur l'enrichissement de jeunes forêts dégradées en Estrie, région limitrophe mais différente de la zone d'étude du présent rapport (Truax et al., 2000; Truax et al., 2015; Truax et al., 2018). En effet, les cinq sites de la zone d'étude au Centre-du-Québec se trouvaient sur des sols pauvres en éléments nutritifs (sable loameux à pH faible) et pour la plupart mésiques, où la végétation au moment de la plantation sous couvert était moins dense et la hauteur du peuplement plus faible également (Tableaux 2 et 3). Ces dépôts de sable acides de la plaine du St-Laurent se retrouvent fréquemment sur une couche d'argile imperméable sous-jacente, qui maintient une certaine humidité du sol à longueur d'année (St-Jacques et Gagnon, 1988). Ceci permet à certaines espèces d'arbres (ex. l'érable rouge) de coloniser ces sites et de se développer efficacement puisque cette essence tolère des pH faibles (< 4,5), des hauts niveaux d'aluminium et des faibles concentrations en calcium, de phosphore et d'azote du sol (Kelly et Kelly, 2001; Bigelow et Canham, 2010). Le chêne rouge peut également se régénérer sur des sites pauvres à pH faible et carencés en éléments nutritifs. Les travaux de Gagnon et al., (2003) sur les peuplements naturels de chênes rouges en Estrie ont montré également que cette espèce est retrouvée autant sur des sites xériques (sols minces, pente forte), mésiques riches (sols profonds fertiles typique de l'érablière à sucre) et mésiques pauvres (sols pauvres en éléments nutritifs, pente faible, drainage modéré à imparfait). De plus, cette étude a montré que l'accroissement en diamètre (cm²/5ans) du chêne rouge est le plus élevé sur sites

mésiques pauvres et même supérieur à l'accroissement de l'érable rouge pour ce type de milieu. D'autre part, les travaux de Truax et al., (2008) ont montré que seulement trois variables expliquaient le succès de l'enrichissement du chêne rouge après 10 ans en Estrie soit : la faible hauteur du peuplement, la faible surface terrière des arbres feuillus et finalement, un faible broutement par le cerf. Enfin, l'augmentation de la densité des gaulis d'essences feuillus était également associée à l'accroissement accru des chênes rouges en Estrie, phénomène directement relié à la diminution de la surface terrière et l'augmentation de la pénétration de la lumière au sol. Aux États-Unis, les travaux de Long et al. (2012) et ceux de Frank et al. (2018) ont montré que les semis de chêne rouge répondent peu à l'application de chaux dolomitique ou de fertilisants (Osmocote NPK) sur des sites forestiers ayant reçu une coupe d'éclaircie au préalable (shelterwood cut) et protégés par des clôtures contre le broutement par le cerf de Virginie. Ces informations sur les faibles exigences en éléments nutritifs du chêne rouge expliquent probablement pourquoi il a été impossible d'obtenir des corrélations significatives entre la croissance des arbres et l'ensemble des facteurs édaphiques du présent projet au Centre-du-Québec, puisqu'Il y avait au départ peu de différences entre les sites en ce qui a trait à la richesse des sols, les classes texturales et les variables climatiques (Tableaux 1 et 3).

Dans le cadre de nos travaux au Centre-du-Québec, il est intéressant de noter que l'analyse de la végétation cinq ans après l'application des traitements d'ouverture du couvert a montré une nette augmentation de la densité des gaulis (classe de diamètre 1-5 cm) passant de 2896 tiges/ha pour le traitement témoin, à 4112 tiges/ha pour le traitement de coupe partielle et finalement à 5824 tiges/ha pour la coupe totale d'une superficie de 500 m² (Tableau 4). De plus, comme montré par Truax et al. (2008) en Estrie, cette augmentation de la densité des gaulis était corrélée avec la croissance du chêne rouge, dans ce cas-ci au Centre-du-Québec, l'augmentation des gaulis est également corrélée avec le taux de croissance relatif des chênes (Figure 3). Il est important de mentionner également que l'érable rouge représentait 62 % de tous les gaulis recensés pour l'ensemble des trois traitements d'ouverture du couvert forestier. Cette situation nous amène à se questionner sur le degré de compétition réel des semis et gaulis d'érable rouge lors de l'enrichissement des peuplements étudiés dans le cadre de ce projet. Toutefois, il a été impossible de mesurer ce facteur précisément parce que le dispositif n'a pas été conçu pour tester cette hypothèse, et que certains propriétaires avaient déjà effectué un traitement de dégagement de la compétition à l'aide d'une débroussailleuse à scie circulaire avant le début des mesures en 2015. Or, en comparant les taux de croissance des chênes rouges entre les sites Bécancour

(station où a été appliqué un traitement de dégagement) et St-Rosaire (station n'ayant pas reçue le traitement de dégagement), nos résultats montrent qu'il n'y a pas de différences statistiquement significatives entre ces deux stations en 2020 (RGR 1,71 vs 1,60; erreur type=0,11). De plus, les travaux de Palik et Pregitzer (1991) au Michigan (USA) ont montré après 42 ans, que le chêne peut cohabiter avec l'érable rouge et croître sur des sites perturbés ou xériques, soit un peuplement typique de peuplier à grandes dents (850 tiges/ha et 19,7 m²/ha de surface terrière), ou la plus faible disponibilité des ressources et la plus faible régénération naturelle pouvaient expliquer ce résultat.

D'autre part, en comparant l'écart des surfaces terrières mesurées entre les années 2015 et 2020 pour chacun des traitements d'ouverture du couvert forestier de l'ensemble des sites, il appert que le gain sur cinq ans est plutôt faible passant de 19,6 m²/ha à 20,6 m²/ha pour le traitement témoin, de 9,4 m²/ha à 12,4 m²/ha pour la coupe partielle et enfin, de 0,8 m²/ha à 1,3 m²/ha pour la coupe totale. Ceci indique que le couvert forestier résiduel ne se referme pas rapidement même si l'érable rouge était présent sur la majorité des sites au départ et que ses gros gaulis en 2015 (diamètre 5-10 cm) ne présentent pas une cohorte importante en 2020. Enfin, nos résultats indiquent que les traitements d'ouverture du couvert forestier ont peu d'impact sur la hauteur de la première branche vivante des chênes, suggérant que la compétition latérale n'était pas très forte, et ce même à l'intérieur des parcelles où la coupe totale a été appliquée malgré le fait que l'on retrouve la plus grande densité de gaulis (Tableau 6).

La survie est un facteur important à considérer lors d'un suivi à long terme de semis et gaulis de chênes reboisés par enrichissement. Tout d'abord. Il est important de mentionner que moins de 5 % des semis et gaulis de chênes identifiés en 2015 avaient été affectés (cassés, pliés ou disparus) malgré les travaux sylvicoles importants, afin de retirer des tiges et balancer les traitements d'ouverture du dispositif. Cet élément est important car il indique qu'il est possible pour les propriétaires forestiers privés d'effectuer ce traitement sans nuire sérieusement à la régénération des chênes reboisés par enrichissement. Nos résultats ont montré après 5 ans un très haut taux de survie (94%) globalement pour l'ensemble des 900 chênes mesurés au départ (Tableau 5). Ceci indique que les arbres étaient bien établis en 2015 au début de l'étude et avaient très bien répondus au traitement initial d'ouverture du couvert forestier (DMPE 28 à 40 % de la surface terrière retirée) au moment de la plantation. De plus l'ANOVA n'a détecté aucun effet bloc, site et traitement d'ouverture, avec seulement une interaction faible mais significative, indiquant que

les traitements n'ont pas agi de la même manière pour l'ensemble des sites, principalement à cause d'une perte de 25 % des chênes associés au traitement coupe totale à la station Ste-Sophie-de-Levrard (Tableau 5). Cette baisse pour ce traitement particulier est dû, entre autres, à des dommages par des rongeurs qui ont fortement annelé et affecté la base et les racines des chênes rouges pour ce traitement. Il est rare de constater ce genre de dégâts sur des semis de chênes reboisés en milieu forestier. Toutefois, les travaux de Schreiber et Swihart, (2009) apportent un éclairage intéressant à ce sujet. En effet, ces auteurs ont montré que les campagnols des pins (*Microtus pinetorum*) préfèrent manger les racines de chênes à celles des conifères, en particulier celles des pins, résultant en une nette diminution de la capacité des chênes à s'établir sous couvert de peuplements à dominance résineuse. Il a été impossible dans le cadre de cette étude de valider si effectivement ce type de rongeur était vraiment présent au site de Ste-Sophie-de-Levrard, mais l'information mérite d'être diffusée advenant l'enrichissement à plus grande échelle dans le futur de plantations résineuses dégradées, fréquentes au Centre-du-Québec.

D'autre part, il s'est avéré difficile d'évaluer l'impact du broutement par le cerf de Virginie sur la croissance des 900 chênes rouges de l'étude, bien que des indices de broutements aient été constatés, mais sans dommages majeurs. Ce facteur ne semble pas avoir joué un rôle important compte tenu de l'âge plus avancée des arbres au moment du mesurage et du haut taux de survie globalement pour l'ensemble des chênes pendant 5 ans. Ces résultats suggèrent que le broutement des semis tout de suite après la plantation n'était pas sévère. Or, Kern et al., (2012) ont montré que le succès de la plantation de chênes rouges dans des trouées en forêts matures au Wisconsin (USA) est fortement diminué par le broutement du cerf de Virginie après 12 ans, même si la compétition pour les ressources était faible au départ. Les travaux de Truax et al., (2018) en Estrie ont montré que le chêne rouge est très sensible au broutement par le cerf de Virginie et que plus de 60% des semis reboisés par enrichissement étaient morts après 6 ans, si aucune protection contre la déprédation du chevreuil était utilisée (manchon forestier). De plus, Truax et al., (2008) ont montré également (par régression multiple) que le broutement par le cerf de Virginie était le facteur le plus important en lien avec la croissance du chêne rouge reboisé par enrichissement en Estrie. La prudence est donc de mise quant à la recommandation de reboisement par enrichissement dans le sud du Québec, si des mesures de protection contre le cerf de Virginie ne sont pas appliquées.

Conclusion et implications pour l'aménagement des forêts dégradées du Centre-du-Québec

Les résultats de cette étude montrent que les peuplements forestiers et les plantations résineuses en déclin qui abondent sur le territoire de l'Agence Forestière des Bois-Francs présentent un réel potentiel de restauration et d'aménagement, du moins avec le chêne rouge, une essence de grande valeur qui était beaucoup plus abondante par le passé. Ces résultats sont d'autant plus probants et réalistes puisqu'ils découlent des directives de l'Agence Forestière des Bois-Francs proposées au départ aux différents conseillers forestiers, afin de réaliser la première étape de l'enrichissement, soit l'identification d'un site favorable, la coupe partielle initiale (DMPE) et finalement le reboisement. Le site favorable doit absolument répondre à certains critères, tels le drainage du sol (éviter les classes imparfaits à mauvais), l'âge (des sites jeunes idéalement), la structure (densité et hauteur du peuplement plus faibles) et la composition en espèces du peuplement (évaluer la proportion d'érables rouges autant pour les arbres que les gaulis et les feuillus intolérants également), les plantes indicatrices (ex. la fougère à l'aigle et l'onoclée sensible) et finalement, la présence de plantes exotiques envahissantes tel le nerprun bourdaine et l'indice de broutement sévère des gros semis et arbustes en sous-bois par le cerf de Virginie, où dans ce cas, il est fortement recommandé d'utiliser des manchons forestiers. Par ailleurs, la densité de plantation pourrait jouer entre 1000 et 2000 semis/ha, tout dépendant des microsites favorables et si l'utilisation de manchons forestiers est nécessaire (protéger un arbre sur deux pour minimiser les coûts). Par exemple, la station St-Sylvère avait la plus faible densité de l'ensemble des sites (870 semis ha), et il a été aisé d'identifier 30 arbres par parcelle de 500 m², où chaque chêne mesuré occupait une surface de 16,6 m² pour une densité finale de 588 tiges/ha.

La coupe initiale du peuplement avant la plantation d'enrichissement visant de 30 à 50 % de la surface terrière, dépendant de la qualité du peuplement au départ, est toujours valable pour des peuplements dégradés retrouvés principalement sur des sites pauvres, comme ceux étudiés dans le cadre de ce projet. La deuxième coupe du peuplement résiduel est nécessaire de 3 à 5 ans après la plantation par enrichissement, idéalement ne pas dépasser 3 années pour ce traitement. Le type de coupe est important également. Les résultats montrent que la croissance des chênes rouges est maximale lors d'une coupe totale ou trouée de 500 m². Cette façon de faire est plus simple à appliquer et surtout recommandée s'il y a une forte abondance d'érables rouges dans la strate supérieure. Cette coupe est moins critique si des feuillus intolérants de début de succession

comme le bouleau gris dominent le peuplement initial, puisque ces derniers vont sans doute mourir et se dégrader rapidement suite aux aléas du climat, tels les chablis et verglas, laissant l'espace et les ressources aux chênes sous couvert. Dans ce cas, la coupe partielle (50 % de la surface terrière résiduelle retirée) pourrait très bien donner des résultats valables, puisque nos résultats montrent que le taux de croissance relatif moyen, tous sites confondus, est de 1,94 cm^3/cm^3/5ans pour ce traitement d'ouverture. D'autre part, dans le cas d'un peuplement dégradé issu d'une plantation de conifères, il serait possible d'effectuer une trouée initiale et d'éviter un deuxième traitement de coupe. Ce milieu est généralement moins envahi par les semis, gaulis et arbustes en sous-bois. De plus, l'ouverture plus forte au départ permet aux rayons du soleil de réchauffer et minéraliser le sol plus rapidement, ce qui est très important puisque la litière d'aiguilles agit comme un isolant et retarde la croissance des semis, ce qui n'est pas le cas d'un site où les feuillus dominent.

D'autre part, comme les peuplements dégradés à dominance d'érable rouge abondent sur le territoire, soit les vieux taillis de plus de 25 ans où beaucoup de tiges montrent des signes de pourriture du cœur, il devient alors pertinent de favoriser l'enrichissement avec du chêne rouge mais également avec d'autres espèces de valeur. Pour la grande région du Centre-du-Québec, on peut facilement imaginer favoriser l'enrichissement des forêts dégradées sur sites pauvres avec le chêne blanc, qui a été recensé à Bécancour dans le cadre du présent projet, de même que le cerisier tardif, le pin blanc et la pruche. Il serait pertinent dans ce cas, de tester ce modèle dans la région, afin d'augmenter le nombre d'espèces de valeur et couvrir un plus large gradient de conditions de drainage et de sol. D'autre part, une attention particulière doit être apportée à l'envahissement des peuplements forestiers par le nerprun bourdaine qui colonise facilement des sites plus pauvres, mais en général moins bien drainés. La station St-Albert est le seul site où la présence du nerprun a été recensée de l'ensemble des sites du projet d'étude. Cette station présentait également le moins bon drainage et le plus haut pourcentage de recouvrement de l'onoclée sensible. Finalement, dans le contexte des changements globaux qui affecteront (négativement ou positivement) l'ensemble de l'écosystème forestier du sud du Québec, l'Agence Forestière des Bois-Francs devrait sérieusement envisager l'enrichissement comme traitement sylvicole adaptatif du futur, afin d'augmenter, entre autres, la biodiversité et la résilience à plus long terme de ces peuplements et de favoriser un aménagement forestier durable sur l'ensemble de son territoire.

Références

Abrams, M.D., 1998. The red maple paradox - What explains the widespread expansion of red maple in eastern forests? BioScience, 48, 355-364.

Agence forestière des Bois-Francs (AFBF). 2015. Plan de protection et de mise en valeur des forêts privées du Centre-du Québec, Tome 1 – Portrait du territoire, 159 p.

Beauchesne, P., Gérardin, V., Ducruc, J.-P., Bellavance, D., 1998. Cadre écologique de référence de l'Agence forestière des Bois-Francs: caractérisation des grands écosystèmes pour le plan de protection et de mise en valeur des forêts privées. Québec. 122 p.

Boulet, B., 2020. Mise en valeur des peuplements issus de rejets de souche avec une référence particulière à l'érable rouge. Agence forestière des Bois-Francs, Victoriaville, 43p.

Bigelow, S.W., Canham, C.D., 2010. Evidence that soil aluminum enforces site fidelity of southern New England forest trees. Rhodora 112, 1-21.

Buckley, D.S., Sharik, T.T., Isebrands, J.G., 1998. Regeneration of northern red oak: positive and negative effects of competitor removal. Ecology 79, 65-78.

Conseil régional de l'environnement du Centre-du-Québec (CRECQ), 2001. Le portrait de l'environnement du Centre-du-Québec. Drummondville. 170 p

Crow, T.R., 1988. Reproductive mode and mechanisms for self-replacement of northern red oak (*Quercus rubra*) – A review. Forest Science 34, 19-40.

Dey, D.C., Jacobs, D., McNabb, K., Miller, G., Baldwin, V., Foster, G., 2008. Artificial regeneration of major oak (*Quercus*) species in the eastern United States-A review of the literature. Forest Science 54, 77-106.

Dubeau, A., 2015. Portrait de la forêt du Centre-du-Québec – En quoi le passé est-il différent du présent? Forêt précoloniale, Progrès forestier, hiver 2015, p. 18 à 22.

Frank, G.S., Rathfon, R.A., Saunders, M.R., 2018. Ten-year responses of underplanted northern red oak to silvicultural treatments, hebivore exclusion, and fertilization. Forests 9,

Gagnon, D., Truax, B., Barrette, S., 2003. Aménagement et sylviculture du chêne rouge en Estrie via la connaissance des peuplements naturels. Rapport final, Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie. 30p.

Gribko, L.S., Schuler, T.M., Ford, W.M., 2002. Biotic and abiotic mechanisms in the establishment of northern red oak seedlings: a review. USDA forest service, northeastern research station, General technical report NE-295, 20p.

Hannah, P.R., 1991. Regeneration of northern hardwoods in the northeast with the shelterwood method. North. J. Appl. For. 8, 99-104.

Hunt, R.H., 1990. Basic growth analysis. Unwin-Hyman. London. 112 p.

Johnson, P.S., 1984. Responses of planted northern red oak under three overstory treatments. Can. J. For. Res. 14, 536-542.

Johnson P.S., Dale C.D., Davidson K.R., 1986. Planting northern red oak in the Missouri Ozarks: A prescription, North. J. Appl. For.3 (1986) 66–68.

Kelly, J.M., & Kelly, J.K., 2001. Phosphorus and potassium uptake kinetics in red maple seedlings. Forest Science 47, 397-402.

Kern, C.C., Reich, P.B., Montgomery, R.A., Strong, T.F., 2012. Do deer and shrubs override canopy gap size effects on growth and survival of yellow birch, northern red oak, eastern white pine, and eastern hemlock. For. Ecol. Manage. 267, 134-143.

Laliberté, F. et coll., 2011. Portrait de la forêt naturelle du Centre-du-Québec. Préparé pour la CRRNT du Centre-du-Québec. Groupe OptiVert inc. 136 p.

Loftis, D.L., 1990. A shelterwood method for regenerating red oak in the southern Appalachians. Forest Science 36, 917-919.

Long, R.P., Brose, P.H., Horsley, S.B., 2012. Responses of northern red oak seedlings to lime and deer exclosure fencing in Pennsylvania. Can. J. For. 42, 698-709.

Nowacki, G.J., Abrams, M.D., 2008. The demise of fire and «mesophication» of forests in the eastern United States. BioScience,58, 123-138.

Palik, B.J., Pregitzer, K.S., 1991. The relative influence of establishment time and height-growth rates on species vertical stratification during secondary forest succession. Can. J. For. Res. 21, 1481-1490.

Parker, W.C., Dey, D.C., 2008. Influence of overstory density on ecophysiology of res oak (*Quercus rubra*) and sugar maple (*Acer saccharum*) seedlings in central Ontario shelterwoods. Tree Physiol. 28, 797-804.

Périé, C., de Blois, S., Lambert, M.-C., Casajus, N., 2014. Effets anticipés des changements climatiques sur l'habitat des espèces arborescentes au Québec. Mémoire de recherche forestière No 173. Direction de la recherche forestière, gouvernement du Québec, Ministère des Ressources naturelles. Québec. 48 p.

Perron, J.-Y., 1996. Inventaire forestier. In Manuel de Foresterie; Ordre des Ingénieurs Forestiers du Québec, Ed.; Les Presses de l'Université Laval: Ste-Foy, QC, Canada, pp. 390-473.

Petersen, R.G., 1985. Design and analysis of experiments. Marcel Dekker inc. New York. 429 p.

Povak, N.A., Lorimer, C.G., Guries, R.P., 2008. Altering successional trends in oak forests: 19-year experimental results of low-and moderate-intensity silvicultural treatments. Can. J. For. Res. 38, 2880-2895.

Robitaille, A., Saucier, J.P., 1998, Paysages régionaux du Québec méridional. Direction de la gestion des stocks forestiers, Ministère des ressources naturelles du Québec, Les publications du Québec (Éd.), 215p.

Shuler, T.M., 2004. Fifty years of partial harvesting in a mixed mesophytic forest: composition and productivity. Can. J. For. Res., 34, 985-997.

Schreiber, L.A., Swihart, R.K., 2009. Selective feeding of pine voles on roots of tree seedlings. Can, J. Zool. 87, 183-187.

Spetich M.A., Dey D.C., Johnson P.S., Graney D.L., 2002. Competitive capacity of *Quercus rubra* L. planted in Arkansas' Boston Mountains, For. Sci. 48, 504–517.

St-Jacques, C., Gagnon, D., 1988. La végétation forestière du secteur nord-ouest de la vallée du St-Laurent, Québec. Can. J. Bot. 66, 793-804.

Truax, B., Gagnon, D., Chevrier, N., 1994. Nitrate reductase activity in relation to growth and N-forms in red oak and red ash planted in three different environments: forest, clear-cut and field, clear-cut and field. For. Ecol. Manage. 64, 71-82

Truax, B., Lambert, F., Gagnon, D., 2000. Herbicide-free plantations of oaks and ashes along a gradient of open to forested mesic environments. For. Ecol. Manage. 137, 155-169

Truax, B., Gagnon, D., Martel, M.J., 2008. Acquisition de connaissances sur l'enrichissement de feuillus nobles en Estrie : bilan après 10 ans. Rapport final, Agence de mise en valeur de la forêt privée de l'Estrie. 35p.

Truax, B., Gagnon, D., Lambert, F., 2015. Multiple-Use Zoning Model for Private Forest Owners in Agricultural landscapes: a case study. Forests 6, 3614-3664.

Truax, B., Gagnon, D., Fortier, J., Lambert, F., Pétrin, M.A., 2018. Ecological factors affecting white pine, bitternut hickory and black walnut underplanting success in a northern temperate post-agricultural forest. Forests 9, 50-73.

ANNEXES

St-Rosaire

Station St-Rosaire, traitement coupe partielle (50%), septembre 2020