

**Régénération de chêne rouge dans
une érablière de sommet**

**Suivi après 8 ans de la régénération
après ensemencement, plantation et
préparation de terrain
(UAF 64-52, secteur Brazeau)**

Présenté au :

**Ministère des Forêts de la Faune et des Parcs
Secteur Sud-Ouest**

Sébastien Meunier, ing.f., M.Sc.
Véronique Coudé, ing.f., M.Sc.

Par :



Guy Lessard, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Philippe Bournival, ing.f., M.Sc.
Emmanuelle Boulfroy, M.Sc.

Référence à citer :

Lessard, G., D. Blouin, P. Bournival et E. Boulfroy, 2018. Régénération de chêne rouge dans une érablière de sommet. Suivi après 8 ans de la régénération après ensemencement, plantation et préparation de terrain (UAF 64-52, secteur Brazeau). Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy (CERFO). Rapport 2018-10. 52 pages.

TABLE DES MATIÈRES

| | |
|---|------------|
| LISTE DES TABLEAUX | III |
| LISTE DES FIGURES | IV |
| REMERCIEMENTS | V |
| RÉSUMÉ | VI |
| INTRODUCTION..... | 7 |
| BUT ET OBJECTIFS..... | 8 |
| 1. MÉTHODOLOGIE..... | 9 |
| 1.1. Hypothèses | 9 |
| 1.1.1. Densité et distribution des chênes rouges plantés vsensemencés | 9 |
| 1.1.2. Densité et distribution selon les méthodes de préparation de terrain | 9 |
| 1.1.3. Pour les 1111 plus belles tiges à l’hectare, densité, distribution et hauteur des espèces désirées et non désirées..... | 9 |
| 1.1.4. Conditions « libre de croitre » et besoin de dégagement | 10 |
| 1.1.5. Peuplement futur | 10 |
| 1.2. Localisation du secteur à l’étude..... | 10 |
| 1.3. Écologie du milieu | 12 |
| 1.4. État du bois sur pied avant et immédiatement après la récolte | 13 |
| 1.5. Description du dispositif expérimental..... | 17 |
| 1.6. Rappel des traitements réalisés en 2009 | 19 |
| 1.7. Inventaire | 21 |
| 1.7.1. Inventaire de la régénération en 2017 | 21 |
| 1.7.2. Inventaire des tiges désirées | 22 |
| 1.7.3. Évaluation de la compétition..... | 22 |
| 1.8. Analyses statistiques..... | 24 |
| 2. RÉSULTATS | 25 |
| 2.1. Portrait général de la régénération..... | 25 |
| 2.2. Coefficient de distribution en chêne rouge et son évolution entre 2010 et 2017 | 26 |
| 2.2.1. Coefficient de distribution du chêne rouge après 8 ans | 26 |
| 2.2.2. Évolution du coefficient de distribution du chêne rouge en 8 ans | 26 |
| 2.3. Densité du chêne rouge et son évolution entre 2010 et 2017..... | 27 |
| 2.3.1. Densité du chêne rouge après 8 ans | 27 |
| 2.3.2. Évolution de la distribution du chêne rouge en 8 ans | 28 |

| | | |
|-----------|--|-----------|
| 2.4. | Portrait des 1111 plus belles tiges d'essences désirées à l'hectare | 29 |
| 2.4.1. | Coefficient de distribution après 8 ans des 1111 plus belles tiges à l'hectare | 29 |
| 2.4.2. | Hauteur après 8 ans (1111 plus belles tiges à l'hectare) | 30 |
| 3. | DISCUSSION | 32 |
| 3.1. | Réponses aux hypothèses | 32 |
| 3.1.1. | Densité et distribution des chênes rouges plantés vsensemencés | 32 |
| 3.1.2. | Densité et distribution selon les méthodes de préparation de terrain | 32 |
| 3.1.3. | Pour les 1 111 plus belles tiges à l'hectare, densité, distribution et hauteur des espèces désirées et non désirées | 33 |
| 3.1.4. | Conditions « libre de croître » et besoin de dégagement | 34 |
| 3.1.5. | Peuplement futur | 34 |
| 3.2. | Synthèse de l'installation et de la survie | 34 |
| 3.2.1. | Installation réussie dans certaines conditions..... | 34 |
| 3.2.2. | Pertes tant en nombre de tiges qu'en coefficient de distribution depuis l'installation | 36 |
| 3.3. | Rappel du scénario sylvicole retenu et prochains traitements à planifier | 37 |
| 3.3.1. | Peuplement cible | 37 |
| 3.3.2. | Itinéraire sylvicole retenu | 37 |
| 3.3.3. | Horizon projeté..... | 38 |
| 3.3.4. | Prochains traitements | 38 |
| 4. | RECOMMANDATIONS | 41 |
| 4.1. | Préparation de terrain | 41 |
| 4.2. | Régénération artificielle | 41 |
| 4.2.1. | Ensemencement artificiel | 41 |
| 4.2.2. | Plantation et regarni | 42 |
| 4.3. | Suivi de la régénération et dégagement hâtif | 42 |
| 4.4. | Gestion du couvert arborescent | 42 |
| 4.5. | Poursuite de la recherche | 43 |
| | CONCLUSION | 44 |
| | RÉFÉRENCES PERTINENTES EN LIEN AVEC LE SUJET | 45 |

LISTE DES TABLEAUX

| | |
|--|----|
| Tableau 1. Densité moyenne (ti/ha) par essence pour le suivi après intervention de la futaie jardinée et de la futaie irrégulière | 14 |
| Tableau 2. Surfaces terrières de la futaie irrégulière..... | 16 |
| Tableau 3. Surfaces terrières de la futaie jardinée | 16 |
| Tableau 4. Volumes de la futaie irrégulière | 16 |
| Tableau 5. Volumes de la futaie jardinée | 16 |
| Tableau 6. Travaux de préparation de terrain | 19 |
| Tableau 7. Travaux de reboisement | 20 |
| Tableau 8. Superficie par type de travaux et par régime..... | 21 |
| Tableau 9. Portrait général de la régénération par traitement et catégorie d'espèces | 25 |
| Tableau 10. Coefficient de distribution du chêne rouge en 2017 en fonction de l'origine et du traitement | 26 |
| Tableau 11. Évolution de la densité du chêne rouge entre 2010 et 2017 en fonction de l'origine et du traitement..... | 28 |
| Tableau 12. Distribution des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha en fonction de l'origine et du traitement..... | 30 |
| Tableau 13. Proportion par espèces des tiges faisant compétition aux 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha en fonction de l'origine et du traitement | 30 |
| Tableau 14. Hauteur des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha en fonction de l'origine et du traitement | 31 |

LISTE DES FIGURES

| | |
|---|----|
| Figure 1. Localisation du secteur d'intervention..... | 11 |
| Figure 2. Regroupement des cas selon le régime sylvicole du secteur Brazeau | 12 |
| Figure 3. Composition par essence pour la futaie jardinée | 14 |
| Figure 4. Composition par essence pour la futaie irrégulière | 15 |
| Figure 5. Plan du dispositif expérimental retenu pour le secteur Brazeau | 18 |
| Figure 6. Placettes d'inventaire de régénération dans le dispositif de recherche..... | 23 |
| Figure 7. Schéma d'une grappe d'inventaire de douze microplacettes..... | 24 |
| Figure 8. Évolution du coefficient de distribution du chêne rouge entre 2010 et 2017 en fonction de sa valeur initiale et des traitements..... | 27 |
| Figure 9. Évolution de la densité du chêne rouge entre 2010 et 2017 en fonction de sa valeur initiale et des traitements | 29 |

REMERCIEMENTS

Le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) tient à remercier le ministère de la Forêt, de la Faune et des Parcs (MFFP) pour son soutien financier. Le CERFO remercie particulièrement M. Sébastien Meunier et Mme Véronique Coudé pour leur encadrement et leur collaboration à la réalisation de ce projet.

Le CERFO aimerait remercier le MFFP et la Coopérative des Hautes-Laurentides pour la réalisation des inventaires de régénération à l'automne 2017.

Le projet avait été initié par Éric Forget de Nova-Sylva : devant la piètre qualité de la fibre d'érable à sucre sur les sommets, il était à la recherche d'une nouvelle solution et la conversion de sommet en chêne rouge lui était apparue comme une opportunité. Nous remercions également le partenaire ayant appuyé ce projet à son origine, soit la compagnie Lauzon Planchers de bois exclusifs avec la collaboration de MC Forêts et la Coopérative forestière des Hautes-Laurentides.

RÉSUMÉ

En 2009, dans le cadre du programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier, le CERFO, en collaboration avec Lauzon Planchers de bois exclusifs, Mc Forêt et la Coopérative forestière des Hautes-Laurentides, a élaboré un projet visant à favoriser la régénération du chêne rouge dans une érablière de sommet, poursuivant le but d'effectuer une conversion de peuplement. Différentes modalités de remise en production ont été étudiées à l'intérieur de deux dispositifs expérimentaux distincts en plan aléatoire complet. Ils comportent 44 unités expérimentales, dont 32 appartiennent au procédé de régénération par coupes progressives irrégulières et 12 au procédé de régénération par coupes jardinatoires. Dans les deux cas, deux méthodes de préparation de terrain ont été étudiées et comparées à des stations témoins. Pour le procédé de régénération par coupes progressives, deux origines de semis (glands et plants) ont été étudiées et comparées entre elles avec des stations témoins.

À l'automne 2017, grâce au soutien financier du MFFP-Outaouais, un suivi de la régénération après 8 ans a été effectué. L'objectif est de vérifier l'évolution de la cohorte de chêne rouge installée en 2010, selon les différentes modalités de préparation de terrain (débroussaillage et scarifiage) et les deux types de régénération artificielle.

Après 8 ans, la régénération en chêne rouge des traitements ayant été débroussaillés puis plantés, tout comme ceux qui ont été débroussaillés et ensemencés (avec glands prégermés), est significativement différente de celle des autres traitements, mais ne se distingue pas entre elles (respectivement 55% et 41% de distribution ainsi que 824 et 1103 tiges/ha). Bien que cela représente un certain succès, une perte avait été notée dès le début par le fait que les derniers sacs aient surchauffé. D'autre part, les résultats démontrent une chute importante des deux paramètres pendant les 8 ans. Fait à noter, pour l'ensemble du dispositif de CPI, seulement 4% des 1111 plus belles tiges bien distribuées à l'hectare sont libres de croître et le chêne rouge présente une hauteur de 1,5 à 2 fois inférieure à ses compétiteurs. Une action urgente doit être entreprise pour libérer les plants et augmenter leur proportion dans le futur peuplement.

Les réponses qu'apportent ces suivis d'installation du chêne rouge dans un procédé de régénération par coupes progressives fournissent un exemple local pour la justification d'une stratégie de conversion de peuplement permettant, entre autres, de diminuer la présence du hêtre et des autres espèces non désirées tel que recommandé dans l'avis scientifique de la Direction de la recherche forestière du MFFP (DRF, 2017). Les résultats démontrent également les enjeux qui y sont inhérents, comme la nécessité d'adopter un dégagement hâtif à l'européenne entre 4 et 7 ans, et éventuellement de procéder à une coupe secondaire ou une coupe finale. Cette décision devrait se prendre sur la base du volume résiduel sur pied, de l'intérêt ou non de laisser des legs, la capacité ou non de procéder à une coupe finale plus tard et la capacité du peuplement résiduel à être maintenu.

INTRODUCTION

Les érablières sur sommets dans les sous-domaines de l'ouest de l'érablière à bouleau jaune et de l'érablière à tilleul présentent souvent une problématique quant à leur capacité à réellement produire du bois d'œuvre de qualité. La faible épaisseur des sols, limitant la prospection des racines, et surtout les indices d'aridité élevés (150-200, Thibault, 1987), deviennent des facteurs limitants. Ainsi, la seule présence de l'érable à sucre n'est pas garante d'une productivité raisonnablement acceptable. De plus, dans le contexte où l'on vise à diminuer la présence du hêtre dans les érablières et à favoriser les essences à promouvoir (DRF, 2017), le chêne rouge est une espèce tout indiqué en lien avec ces conditions de site.

Par ailleurs, parmi les enjeux de biodiversité sur la composition, le chêne rouge revient souvent comme une cible à restaurer. Or, cette espèce est reconnue pour être xérophile (autrement dit tolérante à la sécheresse), contrairement à l'érable à sucre : cette caractéristique en fait une candidate non négligeable pour une plus grande résistance aux changements climatiques. Dans l'unité d'aménagement forestier 064-52, la présence du chêne rouge sur les sommets pourrait justifier une stratégie d'aménagement particulière de conversion de sommets avec une introduction progressive de cette essence. La situation géographique de l'érablière à tilleul ainsi que de l'érablière à bouleau jaune méridionale justifierait la présence de cette espèce qui, même si elle n'est pas située sur des stations qui lui sont optimales du point de vue de la fertilité du site, est néanmoins bien adaptée.

Enfin, les dispositifs de recherche, ayant été installés en 2009 (Lessard et al., 2009, Lessard et al., 2010)¹, seraient, selon l'état actuel des connaissances, à la limite maximale de la période prescrite pour dégager.

¹ <http://www.cerfo.qc.ca>

BUT ET OBJECTIFS

Dans les peuplements d'érable à sucre et feuillus tolérants sur sommet, constitués de 1 à 10 % de chêne rouge, le but du projet est de documenter l'un des maillons de l'itinéraire sylvicole d'un scénario de conversion de peuplement proposé dans les forêts feuillues méridionales. Cet axe vise à augmenter la proportion de chêne rouge dans le peuplement en devenir, voire de constituer ultimement une chênaie.

L'objectif principal de ce projet consiste à vérifier les modalités nécessaires pour restaurer la présence de chêne rouge dans un procédé de régénération par coupes progressives irrégulières.

Plus spécifiquement, il s'agit de :

- 1) Vérifier l'évolution de la cohorte de chêne rouge installée en 2010, selon différentes modalités de préparation de terrain (débroussaillage et scarifiage);
- 2) Vérifier l'évolution de la cohorte de chêne rouge installée en 2010, selon les deux types de régénération artificielle;
- 3) Vérifier l'état de la régénération, les besoins de dégagement et la séquence quant à la prochaine intervention du bois sur pied;
- 4) Fournir un exemple local pour la justification de l'adoption d'une stratégie de conversion de peuplement dans la planification de l'aménagement des forêts feuillues.

1. MÉTHODOLOGIE

Cette section présente d'abord les hypothèses de travail, puis la description des peuplements d'origine (avant et immédiatement après récolte) et le dispositif expérimental qui a été implanté en 2009.

1.1. HYPOTHÈSES

1.1.1. Densité et distribution des chênes rouges plantés vs ensemencés

- Les chênes rouges plantés présentent les meilleures densité et distribution, comparés aux autres méthodes d'ensemencement, peu importe l'état initial.
- Les chênes rouges plantés présentent les meilleures conditions d'évolution entre 2010 et 2017, quant à leur densité et distribution, comparées aux autres méthodes d'ensemencement, peu importe l'état initial.

1.1.2. Densité et distribution selon les méthodes de préparation de terrain

- Le scarifiage offre les meilleures densité et distribution en essences désirées, comparé aux autres méthodes de préparation de terrain, peu importe l'état initial.
- Le scarifiage présente les meilleures conditions d'évolution entre 2010 et 2017, quant à la densité et la distribution en essences désirées, comparée aux autres méthodes de préparation de terrain, peu importe l'état initial.

1.1.3. Pour les 1111 plus belles tiges à l'hectare, densité, distribution et hauteur des espèces désirées et non désirées

Chêne rouge

- Le coefficient de distribution de chêne rouge est plus élevé pour la plantation que pour l'ensemencement.
- Le coefficient de distribution de chêne rouge est plus élevé pour le traitement scarifiage que les autres traitements.
- La hauteur du chêne rouge est plus faible pour la plantation que pour l'ensemencement.

Autres espèces désirées (BOU, CET, EPR, ERS)

- Ce sont les témoins qui présentent le meilleur coefficient de distribution pour l'érable à sucre.
- Le scarifiage favorise le coefficient de distribution des bouleaux.
- Toutes les espèces désirées sont plus hautes que le chêne rouge.

1.1.4. Conditions « libre de croître » et besoin de dégagement

- Les plus belles tiges d'avenir ne sont pas libres de croître, peu importe le traitement.
- Peu de chênes rouges sont libres de croître, peu importe le traitement.

1.1.5. Peuplement futur

- Tous les traitements (sauf le témoin) ont suffisamment de tiges d'essences désirées pour créer une nouvelle strate majoritairement constituée de feuillus nobles.

1.2. LOCALISATION DU SECTEUR À L'ÉTUDE

Le site à l'étude est situé dans le secteur Brazeau, au sud de Mont-Laurier, à Notre-Dame-de-Pontmain, dans le sous-domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune de l'ouest, plus spécifiquement dans la sous-région écologique 3b-M (Hautes-Collines du Lac Simon) et l'unité de paysage régional Lac du Poisson Blanc (figure 1). La température moyenne annuelle se situe entre 2,5 et 5°C et la saison de croissance est de 170-180 jours. Les coordonnées géographiques approximatives du secteur situé dans l'UAF 64-52 sont 75° 41' ouest ; 46° 21' nord.

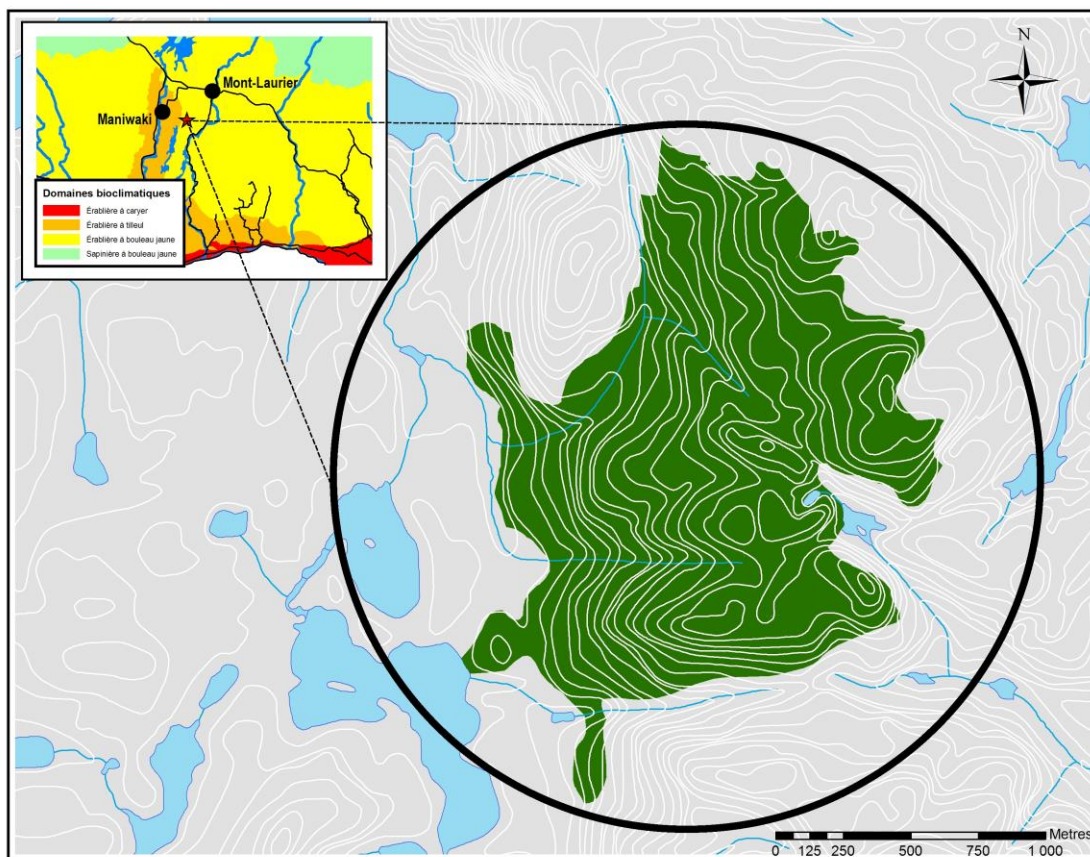


Figure 1. Localisation du secteur d'intervention

Le diagnostic sylvicole utilisé lors de la phase 1 du projet a permis d'identifier des solutions qui se regroupent dans deux régimes sylvicoles, soit le régime de la futaie irrégulière et le régime de la futaie jardinée (Lessard et al., 2009). Le secteur retenu pour l'étude couvre une superficie de 146,66 hectares dont 48,40 hectares sont représentés par la futaie jardinée et 98,26 ha par la futaie irrégulière (figure 2).

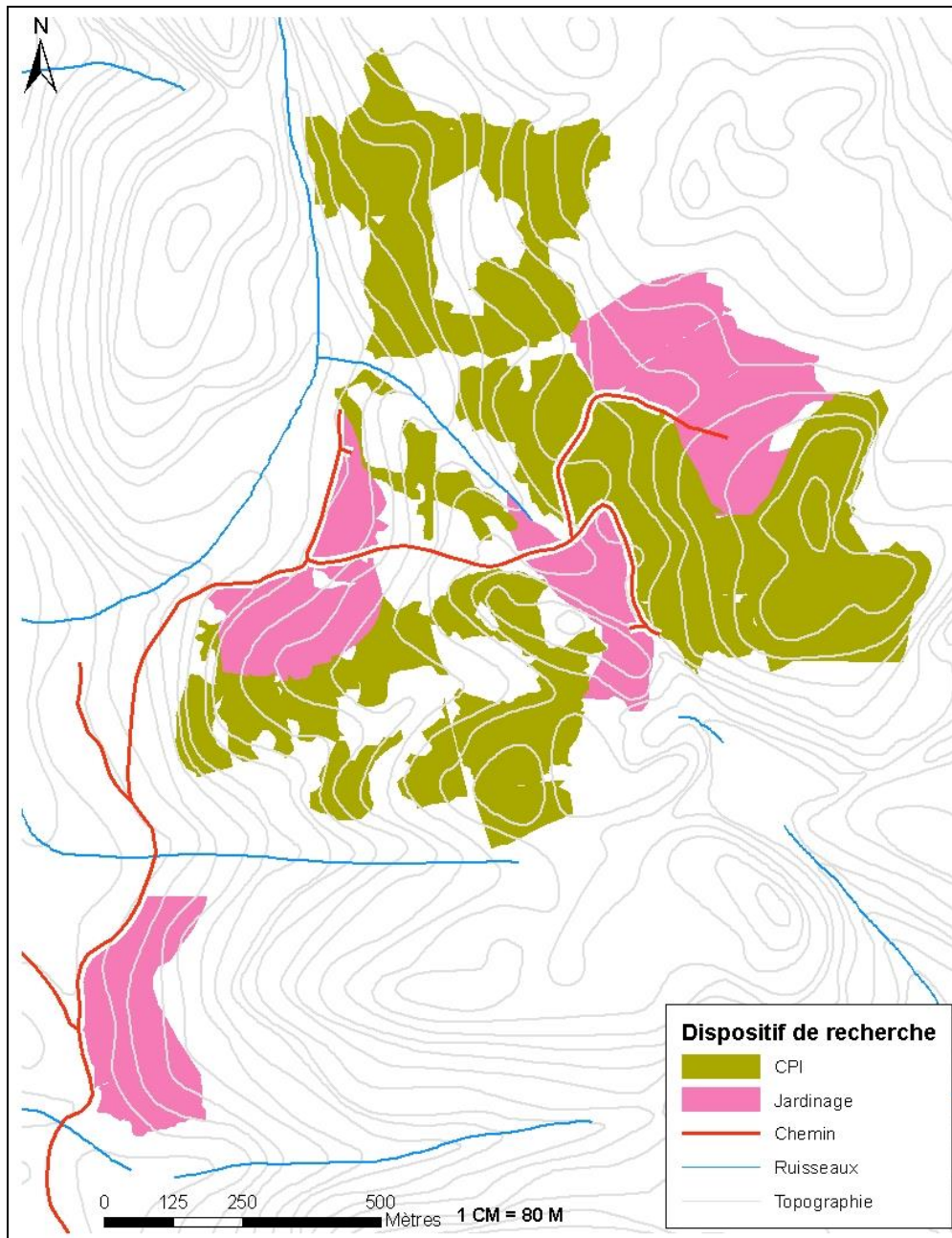


Figure 2. Regroupement des cas selon le régime sylvicole du secteur Brazeau

1.3. ÉCOLOGIE DU MILIEU

Une photo-interprétation fine a été réalisée et utilisée pour élaborer le diagnostic sylvicole. Les résultats indiquent que 6 types écologiques ont été identifiés sur le territoire à l'étude : FE32, FE35, FE60, FE62, MJ10 et MJ12. La photo-interprétation fine a permis d'identifier trois nouveaux types écologiques : le FE62, une érablière à chêne sur sol mésique épais à texture

moyenne, le FE60, une érablière à chêne sur sol très mince à texture moyenne et le FE35, une érablière à bouleau jaune riche, ici sur sol épais à drainage oblique et à texture moyenne. Le dépôt dominant recensé dans le secteur Brazeau est principalement composé de till glaciaire.

1.4. ÉTAT DU BOIS SUR PIED AVANT ET IMMÉDIATEMENT APRÈS LA RÉCOLTE

Le tableau 1 présente la densité moyenne par essence pour le suivi après intervention. Il indique qu'il reste sur pied :

- **Pour la futaie jardinée** (figure 3), une moyenne de 387 ti/ha dont la plupart des tiges sont de l'érable à sucre (52%) et du hêtre à grandes feuilles (30%). L'érable rouge représente 4 % du bois sur pied tandis que le bouleau jaune et le tilleul d'Amérique représentent respectivement 2 et 1 %. La présence importante de hêtre dans la futaie jardinée indique qu'un envahissement important du sous-couvert est à prévoir par cette espèce.
- **Pour la futaie irrégulière** (figure 4), une moyenne de 394 ti/ha dont la plupart des tiges sont de l'érable à sucre (40%) et de l'érable rouge (35%). Des traces de bouleau et de cerisier tardif ont été recensées. Les tiges semencières de chêne rouge sont peu nombreuses (35 ti/ha) et mal distribuées dans l'espace, avec une étendue des données très supérieure à la moyenne. La présence d'érable rouge et d'ostryer de Virginie indique qu'un envahissement important du sous-couvert par ces espèces est à envisager, pouvant nuire à l'établissement et la croissance des semis de chêne rouge.

Tableau 1. Densité moyenne (ti/ha) par essence pour le suivi après intervention de la futaie jardinée et de la futaie irrégulière

| Essence | Coupe de jardinage | | | | | Coupes progressives irrégulières | | | | |
|---------|--------------------|-----|----------|-----|-----------------|----------------------------------|-----|------------------|-----|-----------------|
| | Initial | 2sd | Résiduel | 2sd | Prélèvement (%) | Initial | 2sd | Résiduel réalisé | 2sd | Prélèvement (%) |
| BOJ | 8 | 24 | 7 | 22 | 7,1 | 5 | 30 | 5 | 30 | 7,8 |
| BOP | | | | | | 7 | 38 | 4 | 30 | 41,1 |
| CET | | | | | | 1 | 8 | 1 | 8 | 9,1 |
| CHR | 1 | 6 | 1 | 6 | 0,0 | 38 | 152 | 35 | 144 | 8,5 |
| EPB | 7 | 50 | 7 | 50 | 0,0 | 15 | 80 | 14 | 76 | 3,4 |
| ERR | 17 | 72 | 15 | 62 | 9,1 | 174 | 442 | 137 | 390 | 21,2 |
| ERS | 236 | 424 | 203 | 402 | 14,1 | 217 | 430 | 159 | 376 | 26,6 |
| FRN | 1 | 12 | 1 | 12 | 0,0 | | | | | |
| HEG | 130 | 370 | 118 | 364 | 9,4 | 107 | 342 | 18 | 82 | 83,3 |
| OSV | 29 | 160 | 29 | 160 | 0,0 | 21 | 124 | 21 | 124 | 0,0 |
| PEG | 1 | 6 | 1 | 6 | 42,4 | 2 | 12 | 0 | 2 | 90,9 |
| TIL | 6 | 30 | 5 | 30 | 6,5 | 1 | 8 | 0 | 0 | 100,0 |
| Total | 435 | 432 | 387 | 454 | 11,1 | 588 | 470 | 394 | 526 | 33,0 |

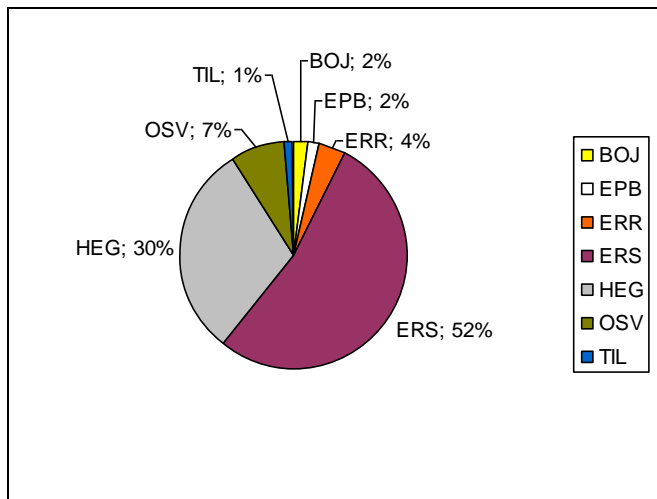


Figure 3. Composition par essence pour la futaie jardinée

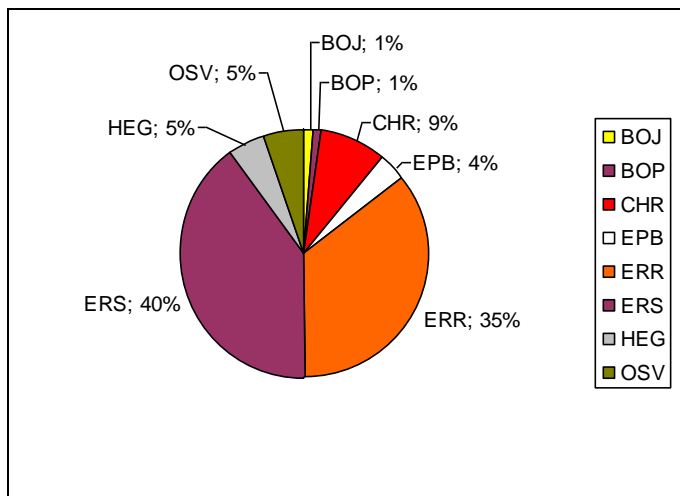


Figure 4. Composition par essence pour la futaie irrégulière

Les surfaces terrières et volumes avant et après coupe du dispositif sont les suivants ²:

- **Pour la futaie irrégulière** (tableau 2 et tableau 4), le prélèvement a été de 40,9 % en surface terrière. La surface terrière résiduelle est de 12,8 m²/ha. Il reste assez de volume pour au moins une récolte (92 m³/ha). Le peuplement résiduel est dominé par les érables et comporte 1,3 m²/ha en chêne rouge (10 %).
- **Pour la futaie jardinée** (tableau 3 et tableau 5), le prélèvement a été assez faible (17,7 %). Le volume résiduel est encore assez élevé 165 m³/ha. Le peuplement résiduel est dominé par les érables.

Pour plus de détails sur la caractérisation du bois sur pieds avant et après intervention, il est possible de consulter le rapport de Lessard et al. (2010).

² A noter la grande variabilité des données.

Tableau 2. Surfaces terrières de la futaie irrégulière

| Essence | Initial | 2sd ¹⁵ | Résiduel prescrit | 2sd | Résiduel réalisé | 2sd | Prélèvement (%) | |
|---------|---------|-------------------|-------------------|-----|------------------|------|-----------------|---------|
| | | | | | | | Prescrit | Réalisé |
| BOJ | 0,5 | 2,0 | 0,2 | 1,0 | 0,3 | 1,4 | 69,2 | 40,0 |
| BOP | 0,4 | 2,0 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 1,0 | 61,5 | 62,5 |
| CET | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 1,0 | 23,1 | 25,0 |
| CHR | 1,5 | 5,2 | 1,2 | 3,8 | 1,3 | 4,4 | 23,1 | 13,3 |
| EPB | 0,7 | 2,8 | 0,5 | 1,8 | 0,6 | 2,6 | 34,1 | 12,1 |
| ERR | 4,9 | 9,4 | 3,3 | 7,4 | 3,2 | 7,0 | 32,5 | 34,1 |
| ERS | 9,6 | 16,6 | 5,5 | 7,4 | 6,1 | 12,2 | 43,1 | 36,8 |
| HEG | 3,1 | 9,0 | 0,2 | 1,8 | 0,6 | 2,4 | 92,6 | 80,3 |
| OSV | 0,2 | 1,4 | 0,2 | 1,0 | 0,2 | 1,4 | 23,1 | 0,0 |
| PEG | 0,4 | 2,0 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 0,8 | 100,0 | 80,8 |
| TIL | 0,1 | 0,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 100,0 |
| Total | 21,6 | 10,4 | 11,2 | 8,2 | 12,8 | 11,4 | 48,0 | 40,9 |

Tableau 3. Surfaces terrières de la futaie jardinée

| Essence | Initial | 2sd | Résiduel prescrit | 2sd | Résiduel réalisé | 2sd | Prélèvement (%) | |
|---------|---------|------|-------------------|------|------------------|------|-----------------|---------|
| | | | | | | | Prescrit | Réalisé |
| BOJ | 1,4 | 3,8 | 1,3 | 3,6 | 1,3 | 3,6 | 9,1 | 9,1 |
| CHR | 0,1 | 1,0 | 0,1 | 1,0 | 0,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| EPB | 0,3 | 1,4 | 0,3 | 1,4 | 0,3 | 1,4 | 0,0 | 0,0 |
| ERR | 1,3 | 6,2 | 1,0 | 4,4 | 1,0 | 4,4 | 20,0 | 20,0 |
| ERS | 14,6 | 16,0 | 12,3 | 13,8 | 12,0 | 13,6 | 16,2 | 17,9 |
| FRN | 0,1 | 1,0 | 0,1 | 1,0 | 0,1 | 1,0 | 0,0 | 0,0 |
| HEG | 4,0 | 8,6 | 3,3 | 7,4 | 3,1 | 7,4 | 18,8 | 21,9 |
| OSV | 0,4 | 2,2 | 0,4 | 2,2 | 0,4 | 2,2 | 0,0 | 0,0 |
| PEG | 0,3 | 1,4 | 0,0 | 0,0 | 0,1 | 1,0 | 100,0 | 50,0 |
| TIL | 0,9 | 4,4 | 0,8 | 4,4 | 0,8 | 4,4 | 14,3 | 14,3 |
| Total | 23,3 | 12,6 | 19,4 | 11,2 | 19,1 | 10,8 | 16,7 | 17,7 |

Tableau 4. Volumes de la futaie irrégulière

| Essence | Initial | 2sd | Résiduel prescrit | 2sd | Résiduel réalisé | 2sd | Prélèvement (%) | |
|---------|---------|-------|-------------------|------|------------------|------|-----------------|---------|
| | | | | | | | Prescrit | Réalisé |
| BOJ | 4,1 | 19,0 | 1,2 | 9,0 | 2,5 | 12,4 | 69,5 | 37,6 |
| BOP | 3,3 | 17,6 | 1,2 | 8,8 | 1,2 | 8,8 | 62,6 | 62,5 |
| CET | 1,8 | 13,0 | 1,8 | 13,0 | 1,8 | 13,0 | 0,0 | 0,0 |
| CHR | 10,6 | 36,4 | 7,6 | 25,4 | 8,8 | 30,4 | 27,6 | 16,5 |
| EPB | 5,4 | 21,6 | 3,4 | 13,4 | 4,7 | 20,0 | 36,8 | 13,4 |
| ERR | 31,9 | 61,6 | 19,2 | 40,6 | 19,3 | 39,4 | 39,7 | 39,6 |
| ERS | 78,3 | 139,0 | 41,4 | 80,0 | 47,1 | 94,8 | 47,2 | 39,8 |
| HEG | 22,7 | 65,8 | 1,8 | 14,4 | 4,9 | 21,6 | 91,9 | 78,5 |
| OSV | 0,9 | 5,4 | 0,5 | 3,6 | 0,9 | 5,4 | 46,0 | 0,5 |
| PEG | 4,2 | 21,8 | 0,0 | 0,0 | 0,9 | 9,0 | 100,0 | 79,3 |
| TIL | 0,8 | 7,8 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 0,0 | 100,0 | 100,0 |
| Total | 164,0 | 97,8 | 78,3 | 59,2 | 92,2 | 83,0 | 52,3 | 43,8 |

Tableau 5. Volumes de la futaie jardinée

| Essence | Initial | 2sd | Résiduel prescrit | 2sd | Résiduel réalisé | 2sd | Prélèvement (%) | |
|---------|---------|-------|-------------------|-------|------------------|-------|-----------------|---------|
| | | | | | | | Prescrit | Réalisé |
| BOJ | 13,0 | 36,0 | 11,7 | 34,0 | 11,7 | 34,0 | 9,7 | 9,7 |
| CHR | 1,1 | 8,8 | 1,1 | 8,8 | 1,1 | 8,8 | 0,0 | 0,0 |
| EPB | 1,8 | 10,6 | 1,8 | 10,6 | 1,8 | 10,6 | 0,0 | 0,0 |
| ERR | 10,0 | 51,2 | 7,9 | 35,6 | 7,9 | 35,6 | 21,5 | 21,5 |
| ERS | 130,4 | 123,6 | 107,8 | 109,0 | 106,2 | 117,6 | 17,3 | 18,5 |
| FRN | 1,3 | 10,4 | 1,3 | 10,4 | 1,3 | 10,4 | 0,0 | 0,0 |
| HEG | 32,1 | 71,6 | 25,1 | 58,2 | 23,8 | 58,6 | 21,9 | 25,8 |
| OSV | 1,6 | 9,8 | 1,6 | 9,8 | 1,6 | 9,8 | 0,0 | 0,0 |
| PEG | 2,8 | 15,4 | 0,0 | 0,0 | 1,4 | 11,2 | 100,0 | 50,5 |
| TIL | 9,6 | 47,8 | 8,2 | 47,6 | 8,2 | 47,6 | 14,9 | 14,9 |
| Total | 203,8 | 117,2 | 166,6 | 103,8 | 165,1 | 96,2 | 18,3 | 19,0 |

1.5. DESCRIPTION DU DISPOSITIF EXPÉRIMENTAL

Un dispositif expérimental en plan aléatoire par blocs a été élaboré en 2009 pour étudier les modalités de préparation de terrain et de régénération naturelle ou artificielle à prioriser dans le futur. Ce dispositif est localisé dans les 2 secteurs traités selon le régime de la futaie irrégulière et jardinée. Les modalités ont été choisies en fonction de la présence ou non de semenciers en essences désirées, de la structure du peuplement, de la machinerie et des types de régénération artificielle disponibles. Les secteurs ont été subdivisés selon un plan de dispositif d'expérimentation avec la conservation de secteur-témoin, afin d'être en mesure de faire une comparaison valable des différentes combinaisons de traitements.

Pour la futaie irrégulière, huit combinaisons de traitements ont été élaborées dans quatre blocs pour un total de 32 unités expérimentales (UE). Le code de la légende retenu pour chacune des combinaisons est identifié entre parenthèses. Le dispositif est composé de :

- 4 UE reboisées par ensemencement (E)
- 4 UE reboisées par plantation de plants PFD en récipients (P)
- 4 UE scarifiées et reboisées par ensemencement (SE)
- 4 UE scarifiées et reboisées par plantation de plants PFD en récipients (SP)
- 4 UE débroussaillées et reboisées par ensemencement (DE)
- 4 UE débroussaillées et reboisées par plantation de plants PFD en récipients (DP)
- 4 UE scarifiées (S)
- 4 UE témoins (T)

Pour la futaie jardinée, trois combinaisons de traitements sont étudiées dans quatre blocs, pour un total de 12 unités expérimentales (UE). Seule la préparation de terrain est suivie, dans un contexte de régénération naturelle. Le dispositif est composé de :

- 4 UE débroussaillées (D)
- 4 UE scarifiées (S)
- 4 UE témoins (T)

La figure 5 présente le plan du dispositif expérimental retenu pour effectuer l'étude. Au total, le dispositif est composé de 44 unités expérimentales.

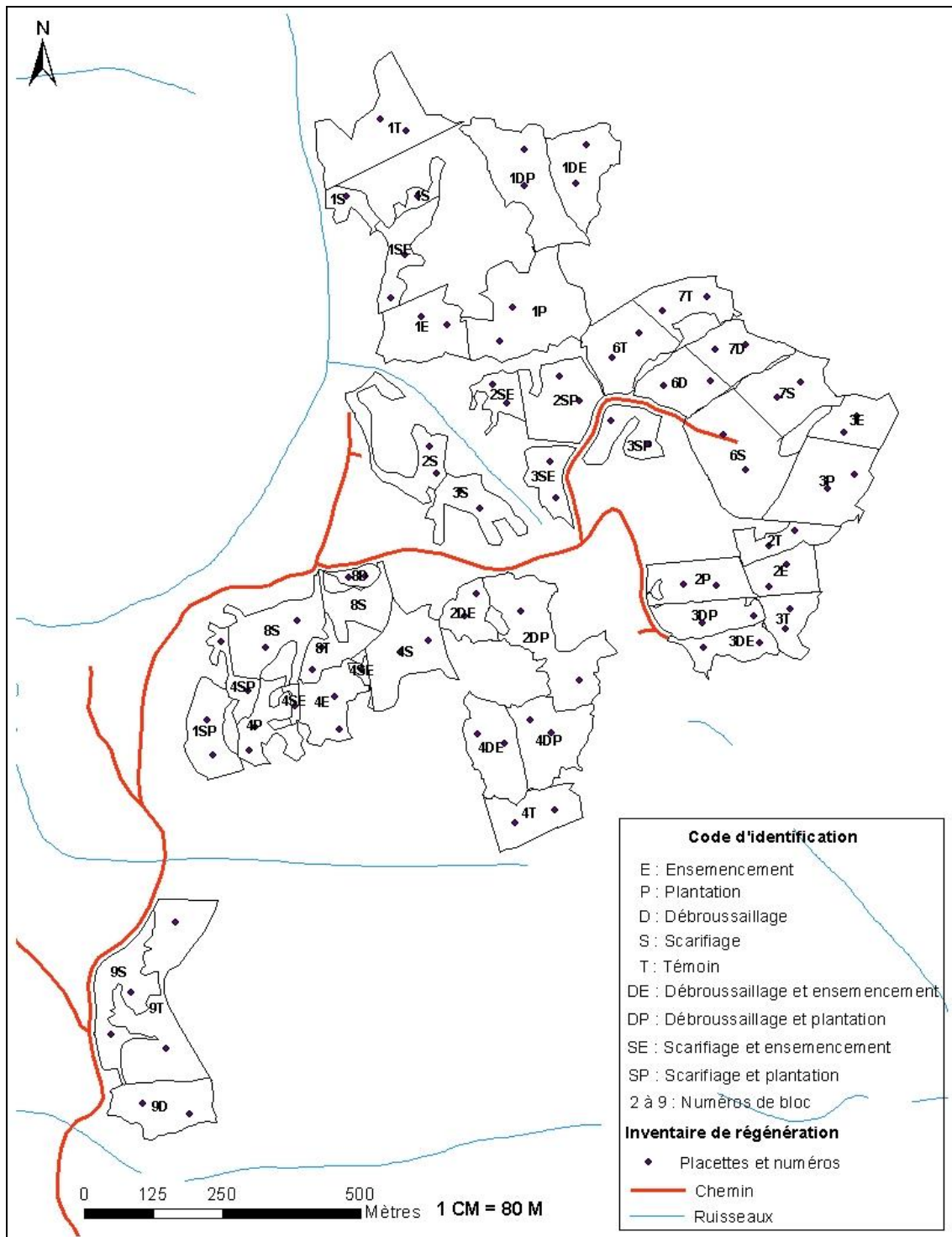


Figure 5. Plan du dispositif expérimental retenu pour le secteur Brazeau

1.6. RAPPEL DES TRAITEMENTS RÉALISÉS EN 2009

Deux méthodes de préparation de terrain ont été expérimentées (tableau 6), afin de favoriser l'implantation du chêne rouge :

- La première (S : scarifiage) consiste à briser légèrement la litière en utilisant une débusqueuse avec un peigne adapté ou une pelle mécanique en repoussant les déchets loin des semenciers. Cette préparation de terrain vise également à contrôler la compétition et à permettre aux planteurs de circuler. Les résultats indiquent que le coefficient de distribution minimum disponible à reboiser est de 85 % et que 97 % des poquets réalisés sont conformes : ces résultats indiquent que le scarifiage a bien été réalisé. Des GPS situés à l'intérieur de chacune des machines ont permis de géoréférencer leurs déplacements et de confirmer les superficies traitées.
- La deuxième méthode (D : débroussaillage) consiste à éradiquer complètement toutes les essences non désirées (slash) par débroussaillage afin de permettre aux chênes rouges d'avoir plus de lumière et de franchir la canopée arbustive le plus rapidement possible. Lorsque présentes, les essences désirées à préserver sont : le chêne rouge, le pin blanc, le cerisier tardif, le frêne d'Amérique, l'érable à sucre, le bouleau jaune et le tilleul.

Tableau 6. Travaux de préparation de terrain

| Nature des travaux de préparation de terrain | Début des travaux | Superficie (ha) |
|--|-------------------|-----------------|
| Scarifiage (S) | 10 mai 2010 | 23,2 |
| Débroussaillage (D) | 17 mai 2010 | 16,5 |

Deux méthodes de reboisement ont été étudiées dans le procédé de régénération par coupes progressives irrégulière, en complément de l'ensemencement naturel des feuillus nobles à reproduction sexuée et de la faible quantité de chêne rouge (tableau 7). L'une est traditionnelle, utilisant des plants PFD en récipients (P) et l'autre consiste à mettre en terre des glands de chêne rouge prégermés (E). Dans les deux cas, les semences et les plants provenaient de la pépinière de Berthierville.

- La densité visée était de 2 500 glands par hectare et la densité obtenue est d'environ 2 370 glands/ha. Les glands prégermés ont été ensemencés selon un angle de 45° par rapport à la verticale afin de favoriser le développement du système racinaire et de la radicelle. Le

gland était déposé dans le trou pour effectuer un trou de 1 à 2 cm de profondeur et il était recouvert d'humus d'une épaisseur maximale de 1 cm.

- La densité de 800 plants par hectare (3,5 m par 3,5 m) était visée, mais la densité obtenue est d'environ 725 ti/ha. Toute régénération naturelle de DHP inférieure à 1,1 cm ne devait pas être considérée comme un empêchement à la plantation. Les plants ont été reboisés dans des puits de lumière, c'est-à-dire là où l'on distingue une trouée occasionnée par l'abattage d'un arbre (autour de la souche, à une distance minimale de 30 cm), dans des trouées naturelles ou dans un sentier d'abattage et de débusquage secondaire.

Tableau 7. Travaux de reboisement

| Nature des travaux de reboisement | Début des travaux | Quantité | Superficie (ha) |
|--|-------------------|----------|-----------------|
| Ensemencement de glands de CHR | 12 mai 2010 | 50 000 | 21,1 |
| Plantation de PFD en récipients de CHR | 24 mai 2010 | 18 000 | 24,8 |

En ce qui concerne le procédé de régénération par coupe jardinatoire, la régénération était assurée par l'ensemencement naturel pour les feuillus nobles à reproduction sexuée et par reproduction végétative pour le tilleul.

Immédiatement après l'ensemencement et le scarifiage, le débroussaillage du sous-couvert forestier a débuté, afin de réduire la compétition et de permettre aux semis de chêne rouge de se développer plus rapidement.

Le tableau 8 présente un résumé des travaux réalisés par superficie et régime dans le secteur Brazeau.

Tableau 8. Superficie par type de travaux et par régime

| Type de travaux | Code cartographique | Superficie (ha) | |
|---------------------------------|---------------------|--------------------|-----------------|
| | | Futaie irrégulière | Futaie jardinée |
| Ensemencé glands | E | 13,7 | - |
| Plantation PFD | P | 12,0 | 0,4 |
| Débroussaillé + ensemencement | DE | 4,8 | - |
| Débroussaillé + Plantation PFD | DP | 7,5 | - |
| Scarifié + ensemencement glands | SE | 2,6 | - |
| Scarifié + plantation PFD | SP | 4,9 | - |
| Scarifié | S | 5,2 | 10,5 |
| Débroussaillé | D | - | 4,2 |
| Témoin | T | 5,4 | 6,6 |

1.7. INVENTAIRE

Dans chacune des 44 unités expérimentales, deux grappes de 12 microplacettes ont été implantées pour les suivis (88 grappes), réparties comme suit (figure 6) :

- 64 placettes dans la futaie irrégulière,
- 24 dans la futaie jardinée.

Chacune des grappes contient 4 x 3 microplacettes, distancées de 5 m, disposées selon les points cardinaux : N, S, E et O (figure 7). Le même réseau de microplacettes a été utilisé pour les inventaires de 2010 et 2017.

Les rayons des microplacettes pour l'inventaire des présences et dénombrements en 2017 sont les suivants :

- Résineux : 1.26 m,
- Feuillus (incluant PRU, PIB et PIR) : 1.69 m.

1.7.1. Inventaire de la régénération en 2017

Dans les microplacettes 1, 4, 6, 7, 10 et 12, la présence des tiges par essence et classe de hauteur a été notée, soit :

- La régénération moyenne de 30 cm à 1 m de hauteur,
- La régénération haute de 1 m de hauteur à 1,1 cm de DHP,
- Les gaules en classes de gaules 2-4-6-8 pour les essences commerciales.

Pour les essences non commerciales, la présence par classe ainsi que l'essence dominante ont été notées.

Dans les microplacettes 2, 3, 5, 8, 9 et 11, le nombre de tiges par essence et classe de hauteur a été noté, selon les mêmes classes de dimension que précédemment. Pour les essences non commerciales ligneuses, le nombre par classe pour la régénération haute et les gaules a été évalué ainsi que l'essence dominante. Pour la régénération moyenne, seule la présence a été notée.

Pour le chêne rouge, toutes les tiges de plus de 30 cm ont été dénombrées par classe de hauteur dans chacune des placettes. Le nombre de tiges avec présence de broutement a aussi été considéré, selon les classes suivantes : Aucune, < 50%; > 50% de la cime broutée.

1.7.2. Inventaire des tiges désirées

Dans chaque microplacette, **la hauteur de la plus belle tige de chêne a été mesurée et son état** a été qualifié :

- LC : dégagée libre de croitre
- NLC : non libre de croitre.

Une tige est libre de croitre si le recouvrement des autres tiges est moins de 25% dans un rayon de 1 m autour du 1/3 supérieur de la tige désirée. L'essence compétitrice principale a été notée.

En absence de chêne rouge, la plus belle tige d'essence désirée a été mesurée et son état pris en note. L'ordre de priorité suivant a été suivi pour le choix de la tige : CET, NOC, PIB, BOJ, BOP, EPR/EPB, ERS.

1.7.3. Évaluation de la compétition

La compétition a été qualifiée dans un rayon de 1,13 m (effort de débroussaillage). La présence des FFE (fougères, framboisier et épilobes) a été notée en pourcentage de classe de recouvrement (au 5% près), selon les classes du MFFP, dans les microplacettes 1, 4, 6, 7, 10 et 12.

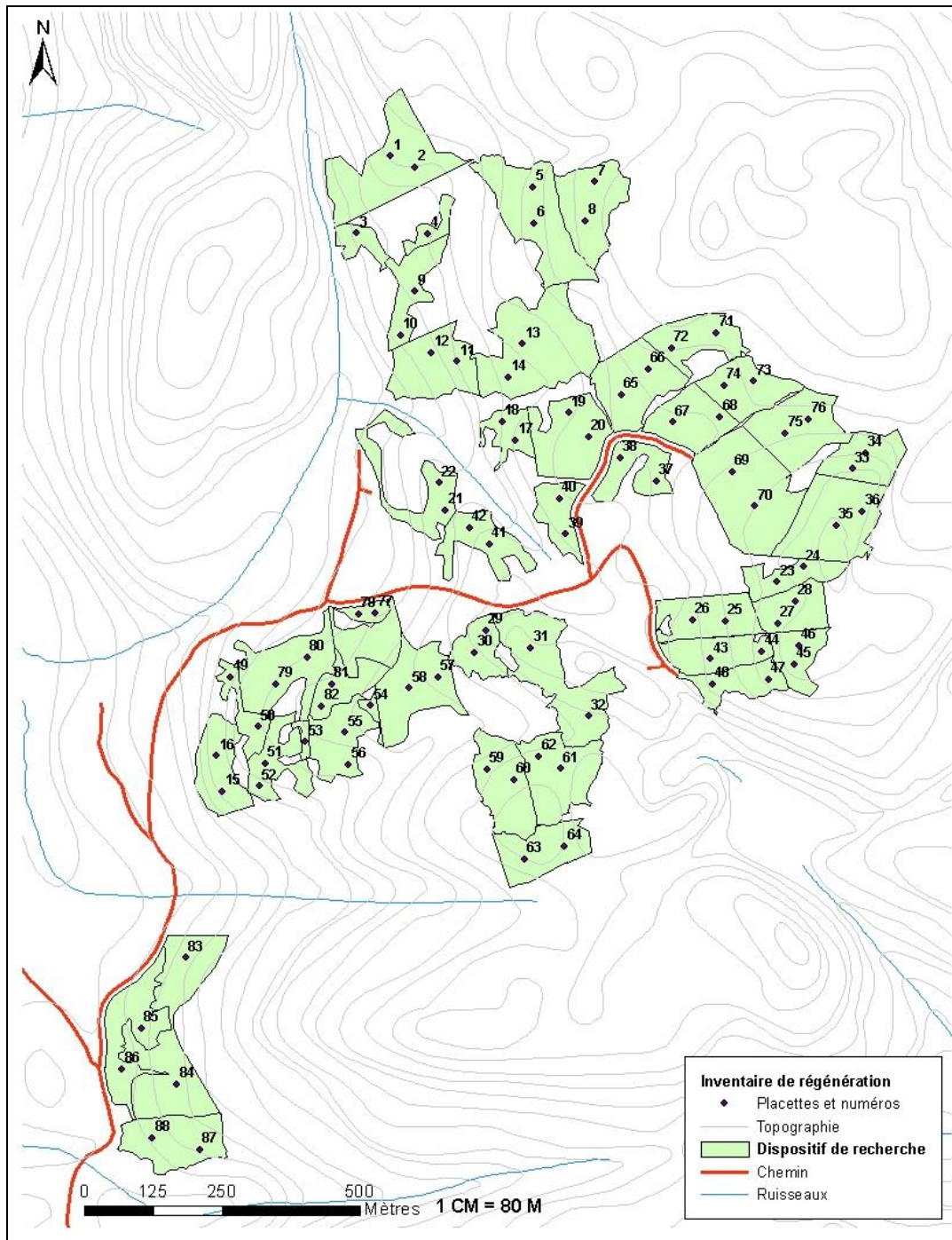


Figure 6. Placettes d'inventaire de régénération dans le dispositif de recherche

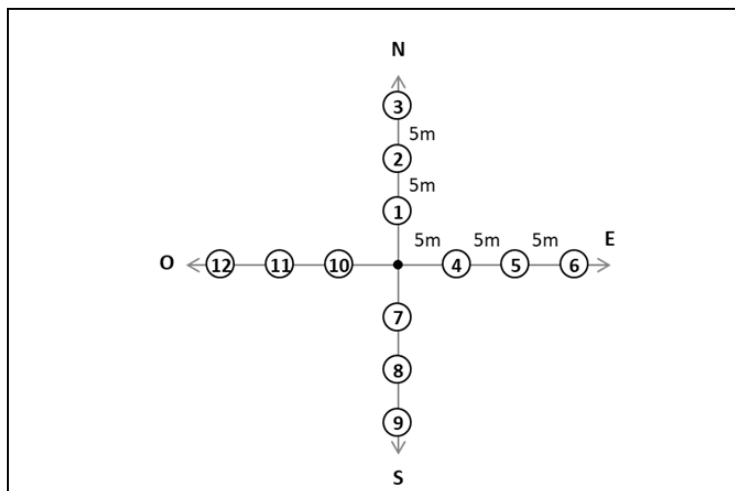


Figure 7. Schéma d'une grappe d'inventaire de douze microplacettes

1.8. ANALYSES STATISTIQUES

Les statistiques descriptives ont été utilisées pour documenter le coefficient de distribution et la densité par essence, traitement et régime. La présence et la densité des semis et des gaules d'essences désirées ont également été documentées. Les regroupements d'essences désirées ont été effectués. Les essences désirées sont : le chêne rouge, le pin blanc, le cerisier tardif, l'érable à sucre, le bouleau jaune et le bouleau à papier. Les autres essences ont été considérées comme étant non désirées.

Les analyses de variance (ANOVA) sur le coefficient de distribution et la densité du chêne rouge ont été effectuées avec la procédure « MIXED » du logiciel SAS version 9.2. Les analyses ont tenu compte de la disposition aléatoire en blocs du plan d'expérience. Cette procédure a permis de considérer les effets aléatoires reliés à l'échantillonnage et de mettre en lumière les effets fixes. La procédure « LSD » est venue compléter l'analyse de variance et a permis de déterminer s'il y avait des différences significatives entre les divers groupes étudiés (seuil $\alpha = 5\%$).

2. RÉSULTATS

Cette section présente tout d'abord un portrait général de la régénération. Elle décrit ensuite spécifiquement l'état du coefficient de distribution et de la densité du chêne rouge en 2017 ainsi que leur évolution entre 2010 et 2017. Elle se termine par le portrait des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées (coefficient de distribution et hauteur).

2.1. PORTRAIT GÉNÉRAL DE LA RÉGÉNÉRATION

Il est possible de constater un nombre intéressant de tiges en régénération en essences désirées. Il est également possible de constater un grand nombre de tiges d'essences non désirées ainsi que d'essences non commerciales dans tous les traitements (tableau 9). De façon globale, tous traitements confondus et toutes dimensions confondues, la régénération en essences désirées est constituée de BOJ à 48%, ERS à 19%, BOP à 17%, CET à 8 %, CHR à 7 % et EPR à 1%. Les 4 principales essences non-désirées constituant 97% de celles-ci sont le HEG à 54%, l'OSV à 19%, l'ERR à 18% et le PEG à 6%. Les 4 principales essences non-commerciales constituant 93% de l'espèce dominante observée dans chacune des placettes sont : l'ERP dans 46% des cas, le PRP (22%), les viornes (17%) et le noisetier (8%). La régénération de chêne rouge est peu affectée par le broutement, on observe du broutement sur 21% des semis dont la majorité (18,6% sur 21%) sont broutés à moins de 50%.

Tableau 9. Portrait général de la régénération par traitement et catégorie d'espèces (nb tiges / ha)

| Traitement | PREP | Essences désirées | | Essences non-désirées | | Essences non-commerciales | | Total | |
|---------------|------|-------------------|----------|-----------------------|----------|---------------------------|----------|---------|----------|
| | | Moyenne | Écartype | Moyenne | Écartype | Moyenne | Écartype | Moyenne | Écartype |
| CJ | D | 3 912 | 3 321 | 10 764 | 5 370 | 7 824 | 2 585 | 22 500 | 6 772 |
| | S | 2 986 | 3 870 | 4 213 | 2 120 | 4 977 | 3 384 | 12 176 | 5 953 |
| | T | 1 736 | 1 878 | 3 472 | 1 207 | 5 903 | 4 274 | 11 111 | 4 266 |
| Total CJ | | 2 878 | 3 133 | 6 150 | 4 668 | 6 235 | 3 542 | 15 262 | 7 603 |
| CPI | DE | 8 079 | 4 246 | 10 486 | 8 631 | 8 843 | 3 021 | 27 407 | 11 567 |
| | DP | 7 153 | 4 789 | 10 486 | 3 435 | 10 023 | 6 734 | 27 662 | 8 230 |
| | E | 6 806 | 3 984 | 10 116 | 4 548 | 8 241 | 4 806 | 26 204 | 8 982 |
| | P | 5 718 | 5 054 | 11 435 | 3 859 | 10 023 | 5 203 | 27 176 | 11 045 |
| | S | 5 000 | 3 756 | 6 829 | 5 086 | 5 046 | 2 155 | 16 875 | 6 880 |
| | SE | 10 046 | 6 961 | 7 731 | 3 730 | 8 449 | 4 312 | 26 227 | 9 431 |
| | SP | 3 194 | 2 023 | 8 935 | 6 757 | 6 412 | 1 822 | 18 542 | 6 854 |
| | T | 4 259 | 3 011 | 7 407 | 8 588 | 8 889 | 4 085 | 20 556 | 6 772 |
| Total CPI | | 6 282 | 4 678 | 9 178 | 5 813 | 8 241 | 4 366 | 23 831 | 9 369 |
| Total général | | 5 354 | 4 557 | 8 352 | 5 663 | 7 694 | 4 234 | 21 494 | 9 673 |

2.2. COEFFICIENT DE DISTRIBUTION EN CHÊNE ROUGE ET SON ÉVOLUTION ENTRE 2010 ET 2017

2.2.1. Coefficient de distribution du chêne rouge après 8 ans

Le tableau 10 présente le coefficient de distribution du chêne rouge 8 ans après l'installation du dispositif expérimental, en fonction du type de coupe et du traitement. Dans la coupe de jardinage, les résultats indiquent que les coefficients de chêne rouge sont plutôt faibles et qu'ils varient entre 4 et 5 %.

Dans la coupe progressive irrégulière, les résultats indiquent que les coefficients de distribution les plus élevés ont été observés dans les traitements présentant un débroussaillage accompagné d'un ensemencement ou d'une plantation. Ainsi, des coefficients de distribution respectifs de 41 et 55 % ont été observés en 2017. Les coefficients de distribution sont plus faibles dans les autres traitements, variant entre 8 % et 26 %. Les traitements ayant bénéficié de la plantation (P et SP) maintiennent des coefficients de distribution un peu plus élevés avec 26 et 25 %.

Tableau 10. Coefficient de distribution du chêne rouge en 2017 en fonction de l'origine et du traitement

| Origine | Traitement | Coefficient de distribution CHR (%) |
|-------------------------------------|---------------------------------|-------------------------------------|
| | | 2017 |
| Coupe de jardinage (CJ) | Débroussaillage | 5% |
| | Scarifiage | 4% |
| | Témoin | 5% |
| | Total | 5% |
| Coupe progressive irrégulière (CPI) | Débroussaillage + ensemencement | 41% |
| | Débroussaillage + plantation | 55% |
| | Ensemencement | 13% |
| | Plantation | 26% |
| | Scarifiage | 8% |
| | Scarifiage + ensemencement | 10% |
| | Scarifiage + plantation | 25% |
| | Témoin | 19% |
| | Total | 25% |

2.2.2. Évolution du coefficient de distribution du chêne rouge en 8 ans

Pour la CPI seulement, une analyse de variance a été effectuée pour documenter l'effet du traitement de remise en production et du coefficient de distribution initial sur l'évolution après 8 ans. Elle indique que les effets des traitements et du coefficient de distribution initial sont significatifs au seuil $\alpha < 0,05$ %. La figure 8 présente l'évolution du coefficient de distribution

entre 2010 et 2017, en fonction de sa valeur initiale et du type de traitement pour la coupe progressive irrégulière. Elle indique que tous les traitements présentent des baisses, mais que deux d'entre eux se démarquent en présentant des baisses moins importantes. C'est le cas en particulier des traitements de débroussaillage avec ensemencement et plantation. Une baisse de 19 et 14 % est à prévoir en présence d'un coefficient de distribution initial moyen de 60 % pour les traitements DE et DP. Dans les mêmes conditions, les traitements E, P et T ont des baisses respectives de 45, 39 et 43 %. Des différences significatives ont été observées entre les traitements présentant un débroussaillage par rapport à ceux qui n'en présentent pas. Les lettres A et B indiquant les différences significatives entre les traitements.

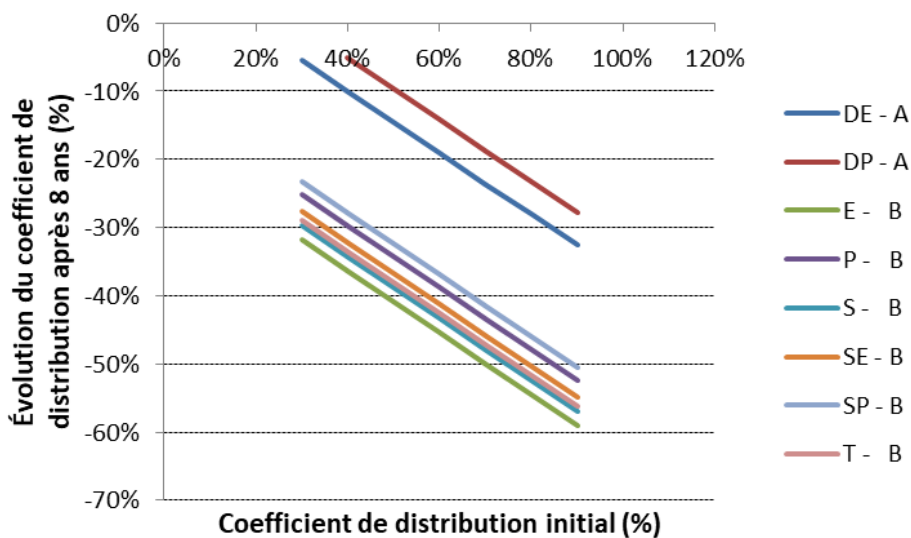


Figure 8. Évolution du coefficient de distribution du chêne rouge entre 2010 et 2017 en fonction de sa valeur initiale et des traitements

2.3. DENSITÉ DU CHÊNE ROUGE ET SON ÉVOLUTION ENTRE 2010 ET 2017

2.3.1. Densité du chêne rouge après 8 ans

Le tableau 11 présente la densité de chêne rouge en 2017 en fonction du type de coupe et du traitement. Il indique que ce sont les traitements de régénération artificielle accompagnés d'un débroussaillage qui présentent les densités de chênes rouges les plus élevées après 8 ans. Des densités respectives de 824 (DE) et 1 103 (DP) ti/ha ont été observées. En deuxième lieu, les traitements ayant bénéficié de la plantation sont ceux qui présentent les densités de chêne rouge les plus élevées, soit de 453 ti/ha pour la plantation et de 395 ti/ha pour la plantation accompagnée du scarifiage.

Tableau 11. Évolution de la densité du chêne rouge entre 2010 et 2017 en fonction de l'origine et du traitement

| Origine | Traitement | Densité CHR (ti/ha) |
|-------------------------------------|---------------------------------|---------------------|
| | | 2017 |
| Coupe de jardinage (CJ) | Débroussaillage | 116 |
| | Scarifiage | 58 |
| | Témoin | 70 |
| | Total | 81 |
| Coupe progressive irrégulière (CPI) | Débroussaillage + ensemencement | 824 |
| | Débroussaillage + plantation | 1103 |
| | Ensemencement | 232 |
| | Plantation | 453 |
| | Scarifiage | 116 |
| | Scarifiage + ensemencement | 139 |
| | Scarifiage + plantation | 395 |
| | Témoin | 290 |
| | Total | 444 |

2.3.2. Évolution de la distribution du chêne rouge en 8 ans

Pour la CPI seulement, tout comme l'analyse de variance effectuée sur le coefficient de distribution, les résultats indiquent que les effets des traitements et de la densité initiale sont significatifs au seuil $\alpha < 0,05$ %. La figure 9 présente l'évolution de la densité du chêne rouge entre 2010 et 2017, en fonction de sa valeur initiale et du type de traitement pour la coupe progressive irrégulière. Elle indique que tous les traitements présentent des baisses, mais que deux d'entre eux se démarquent en présentant des baisses moins importantes. C'est le cas des traitements de débroussaillage avec ensemencement et plantation. Une baisse de 463 (DE) et 453 (DP) ti/ha est à prévoir en présence d'une densité initiale moyenne de 1 215 ti/ha. Dans les mêmes conditions, les traitements E, P et T ont des baisses respectives de 846, 859 et 932 ti/ha. Des différences significatives ont été observées entre les traitements présentant un débroussaillage par rapport à ceux qui n'en présentent pas. Les lettres A et B indiquant les différences significatives entre les traitements. Le traitement de scarifiage avec plantation est entre les deux groupes et présente les lettres AB. À noter, les deux traitements avec dégagement, se superposent !

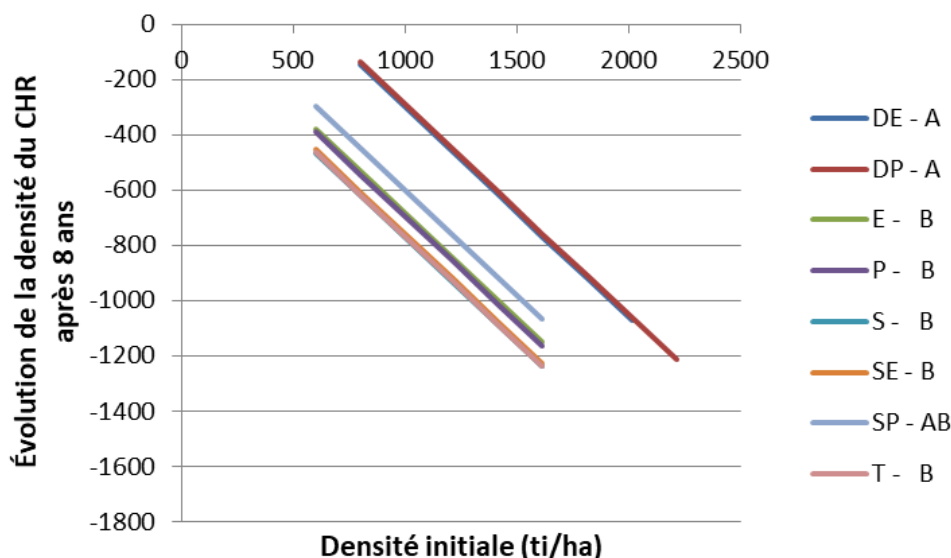


Figure 9. Évolution de la densité du chêne rouge entre 2010 et 2017 en fonction de sa valeur initiale et des traitements

2.4. PORTRAIT DES 1111 PLUS BELLES TIGES D'ESSENCES DÉSIRÉES À L'HECTARE

2.4.1. Coefficient de distribution après 8 ans des 1111 plus belles tiges à l'hectare

Le tableau 12 présente le coefficient de distribution des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha, en fonction du type de coupe et du traitement. Dans le cas de la coupe de jardinage, on observe que 53 % des microplacettes présentent une tige d'essence désirée et que seulement 12 % d'entre elles sont libres de croître. Le coefficient de distribution faible en essences désirées s'explique par la présence élevée de hêtre à grande feuille et d'érable rouge qui ne font pas partie des essences désirées. En ce qui concerne la coupe progressive irrégulière, les résultats indiquent que 77 % des microplacettes présentent une tige d'avenir et que seulement 4 % d'entre elles sont libres de croître. Une présence notable de bouleau jaune et de cerisier tardif vient compléter la matrice des 1 111 plus belles tiges pour ce type de coupe alors que c'est l'érable à sucre qui domine dans la coupe de jardinage.

Les espèces faisant compétition aux tiges d'avenir sont présentées au tableau 13. On remarque que les tiges d'essences désirées sont principalement compétitionnées par le hêtre (en moyenne 26% dans la CJ et 21% dans la CPI), suivi de l'érable de Pennsylvanie (13% dans la CJ et 13% dans la CPI), de l'ostryer (19% dans la CJ et 10% dans la CPI) et du cerisier de Pennsylvanie (7% dans la CJ et 12% dans la CPI).

Tableau 12. Distribution des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha en fonction de l'origine et du traitement

| Origine | Traitement | Total Mpep | Coefficient de distribution | | | | | | % avec tiges désirées d'avenir | % libre de croître |
|-------------------------------------|---------------------------------|------------|-----------------------------|-----------|------------|------------|-----------|------------|--------------------------------|--------------------|
| | | | BOJ | BOP | CET | CHR | EPR | ERS | | |
| Coupe de jardinage (CJ) | Débroussaillage | 96 | 20% | 0% | 9% | 5% | 2% | 27% | 64% | 15% |
| | Scarifiage | 96 | 15% | 2% | 0% | 4% | 1% | 23% | 45% | 5% |
| | Témoin | 96 | 16% | 0% | 8% | 5% | 1% | 21% | 51% | 16% |
| | Total | 288 | 17% | 1% | 6% | 5% | 1% | 24% | 53% | 12% |
| Coupe progressive irrégulière (CPI) | Débroussaillage + ensemencement | 96 | 27% | 0% | 20% | 41% | 1% | 4% | 93% | 4% |
| | Débroussaillage + plantation | 96 | 7% | 0% | 19% | 55% | 0% | 2% | 83% | 6% |
| | Ensemencement | 96 | 33% | 5% | 15% | 13% | 1% | 10% | 78% | 1% |
| | Plantation | 96 | 31% | 1% | 11% | 26% | 0% | 4% | 74% | 1% |
| | Scarifiage | 96 | 40% | 1% | 9% | 8% | 0% | 7% | 66% | 6% |
| | Scarifiage + ensemencement | 96 | 56% | 6% | 7% | 10% | 0% | 3% | 83% | 4% |
| | Scarifiage + plantation | 96 | 28% | 6% | 4% | 25% | 0% | 7% | 71% | 1% |
| | Témoin | 96 | 10% | 1% | 10% | 19% | 3% | 22% | 66% | 10% |
| | Total | 768 | 29% | 3% | 12% | 25% | 1% | 8% | 77% | 4% |

Tableau 13. Proportion par espèces des tiges faisant compétition aux 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha en fonction de l'origine et du traitement

| Traitement | PREP | AME | BOJ | BOP | CET | CHR | COC | ERP | ERR | ERS | HEG | ND | OSV | PEG | PET | PRP | SAL | SUR | VIA | VIL | VIT | Rien | Total | |
|---------------|------|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|-----|------|-------|-----|
| CJ | D | 0 | 7 | 0 | 2 | 0 | 3 | 18 | 0 | 5 | 26 | 3 | 21 | 2 | 2 | 2 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 7 | 100 |
| | S | 0 | 2 | 7 | 0 | 0 | 2 | 2 | 0 | 16 | 21 | 2 | 23 | 0 | 0 | 12 | 0 | 0 | 2 | 0 | 0 | 0 | 5 | 100 |
| | T | 0 | 2 | 2 | 0 | 0 | 8 | 16 | 2 | 8 | 30 | 0 | 12 | 0 | 0 | 10 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 4 | 100 |
| Total CJ | | 0 | 4 | 3 | 1 | 0 | 5 | 13 | 1 | 9 | 26 | 2 | 19 | 1 | 1 | 7 | 0 | 0 | 1 | 0 | 1 | 5 | 100 | |
| CPI | DE | 0 | 10 | 2 | 6 | 2 | 4 | 10 | 9 | 2 | 20 | 3 | 7 | 7 | 0 | 12 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 4 | 100 | |
| | DP | 0 | 6 | 4 | 8 | 1 | 3 | 11 | 18 | 0 | 23 | 1 | 14 | 5 | 0 | 3 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 5 | 100 | |
| | E | 0 | 8 | 12 | 4 | 0 | 1 | 13 | 9 | 4 | 23 | 0 | 3 | 9 | 1 | 9 | 0 | 0 | 0 | 0 | 0 | 3 | 100 | |
| | P | 0 | 1 | 3 | 0 | 1 | 0 | 14 | 13 | 1 | 23 | 3 | 7 | 13 | 0 | 14 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 100 | |
| | S | 0 | 17 | 5 | 0 | 0 | 0 | 10 | 5 | 2 | 21 | 2 | 11 | 5 | 0 | 11 | 0 | 2 | 5 | 0 | 0 | 5 | 100 | |
| | SE | 1 | 10 | 18 | 1 | 0 | 0 | 14 | 3 | 0 | 8 | 0 | 4 | 5 | 1 | 35 | 0 | 1 | 0 | 0 | 0 | 0 | 100 | |
| | SP | 0 | 4 | 4 | 1 | 0 | 0 | 12 | 6 | 3 | 29 | 3 | 12 | 1 | 0 | 18 | 4 | 0 | 0 | 0 | 0 | 1 | 100 | |
| | T | 0 | 3 | 3 | 5 | 2 | 0 | 24 | 6 | 16 | 10 | 2 | 11 | 2 | 0 | 6 | 0 | 0 | 0 | 2 | 0 | 10 | 100 | |
| Total CPI | | 0 | 8 | 6 | 3 | 1 | 1 | 13 | 9 | 3 | 19 | 2 | 8 | 6 | 0 | 14 | 1 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 100 | |
| Total général | | 0 | 7 | 6 | 3 | 1 | 2 | 13 | 7 | 4 | 21 | 2 | 10 | 5 | 0 | 12 | 0 | 0 | 1 | 0 | 0 | 4 | 100 | |

2.4.2. Hauteur après 8 ans (1111 plus belles tiges à l'hectare)

Le tableau 14 présente la hauteur des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha, en fonction du type de coupe et du traitement. Bien que favorisé au moment de la remise en production, le chêne rouge accuse des retards notables sur ces compétiteurs en essences désirées, en présentant des hauteurs variant entre 88 et 201 cm selon les traitements, alors que le bouleau jaune présente des hauteurs variant entre 200 et 384 cm. Cet élément s'ajoutant au fait que seuls 12 et 4% des tiges sont libres de croître (voir section précédente), on peut conclure que le chêne rouge accuse un retard important sur les autres espèces.

Tableau 14. Hauteur des 1 111 plus belles tiges d'essences désirées/ha en fonction de l'origine et du traitement

| Origine | Traitement | Hauteur essence (cm) | | | | | | | | | | | |
|-------------------------------------|---------------------------------|----------------------|------------|-----------|------------|-----------|------------|------------|------------|----------|------------|-----------|------------|
| | | Nbre | BOJ | Nbre | BOP | Nbre | CET | Nbre | CHR | Nbre | EPR | Nbre | ERS |
| Coupe de jardinage (CJ) | Débroussaillage | 19 | 342 | | | 9 | 219 | 5 | 146 | 2 | 44 | 26 | 239 |
| | Scarifiage | 14 | 249 | 2 | 401 | | | 4 | 113 | 1 | 178 | 22 | 329 |
| | Témoïn | 15 | 200 | | | 8 | 291 | 5 | 88 | 1 | 350 | 20 | 322 |
| | Total | 48 | 270 | 2 | 401 | 17 | 255 | 14 | 116 | 4 | 154 | 68 | 292 |
| Coupe progressive irrégulière (CPI) | Débroussaillage + ensemencement | 26 | 304 | | | 19 | 329 | 39 | 184 | 1 | 106 | 4 | 265 |
| | Débroussaillage + plantation | 7 | 367 | | | 18 | 347 | 53 | 201 | | | 2 | 135 |
| | Ensemencement | 32 | 306 | 5 | 465 | 14 | 325 | 12 | 189 | 1 | 140 | 10 | 337 |
| | Plantation | 30 | 319 | 1 | 715 | 11 | 272 | 25 | 216 | | | 4 | 309 |
| | Scarifiage | 38 | 368 | 1 | 220 | 9 | 529 | 8 | 129 | | | 7 | 154 |
| | Scarifiage + ensemencement | 54 | 384 | 6 | 434 | 7 | 421 | 10 | 182 | | | 3 | 350 |
| | Scarifiage + plantation | 27 | 308 | 6 | 635 | 4 | 281 | 24 | 188 | | | 7 | 450 |
| | Témoïn | 10 | 265 | 1 | 170 | 10 | 306 | 18 | 184 | 3 | 308 | 21 | 304 |
| | Total | 224 | 338 | 20 | 494 | 92 | 348 | 189 | 191 | 5 | 234 | 58 | 304 |

3. DISCUSSION

Cette section présente d'abord la réponse aux hypothèses posées puis discute des résultats obtenus sous l'angle du scénario sylvicole et de l'axe de conversion de peuplement de la stratégie d'aménagement.

3.1. RÉPONSES AUX HYPOTHÈSES

3.1.1. Densité et distribution des chênes rouges plantés vs ensemencés

Comparé aux autres méthodes d'ensemencement, peu importe l'état initial :

- Les chênes rouges plantés ont la meilleure densité.

NON. Il y a très peu de différences.

- Les chênes rouges plantés ont la meilleure distribution.

NON. Il n'y a pas de différences.

- Les chênes rouges plantés présentent les meilleures conditions d'évolution entre 2010 et 2017, quant à leur densité et distribution.

NON. Aucune différence significative n'est remarquable.

3.1.2. Densité et distribution selon les méthodes de préparation de terrain

À noter que seul le traitement de CPI est considéré, étant donné la régénération quasi nulle dans le traitement de coupe jardinatoire.

Comparée aux autres méthodes de préparation de terrain, peu importe l'état initial

- Le scarifiage offre la meilleure densité d'essences désirées.

NON, c'est plutôt le débroussaillage qui présente une meilleure densité de tiges à l'hectare.

- Le scarifiage offre la meilleure distribution en essences désirées.

NON, c'est plutôt le débroussaillage qui présente une meilleure distribution en essences désirées.

- Le scarifiage présente les meilleures conditions d'évolution entre 2010 et 2017, quant à la densité et la distribution en essences désirées.

NON, c'est plutôt le débroussaillage qui présente les meilleures conditions d'évolution pour la densité et la distribution en essences désirées.

3.1.3. Pour les 1 111 plus belles tiges à l'hectare, densité, distribution et hauteur des espèces désirées et non désirées

Chêne rouge

- Le coefficient de distribution de chêne rouge est plus élevé pour la plantation que pour l'ensemencement.

NON en général, il n'y a pas de différence entre la plantation et l'ensemencement.

Par contre, les plantations semblent plus efficaces (double) que l'ensemencement lorsque c'est non débroussaillé ou même lorsque c'est scarifié.

- Le coefficient de distribution de chêne rouge est plus élevé pour le traitement scarifiage que les autres traitements.

NON en général, il n'y a pas de différence pour les 1111 plus belles tiges à l'hectare bien distribuées.

- La hauteur du chêne rouge est plus faible pour la plantation que pour l'ensemencement.

NON, elle est du même ordre de grandeur. Elle est par contre de 1,5 à 2 fois plus petite que les autres espèces désirées pour les 1111 plus belles tiges bien distribuées à l'hectare.

Autres espèces désirées (BOU, CET, EPR, ERS)

- Ce sont les témoins qui présentent le meilleur coefficient de distribution pour l'érable à sucre.

OUI. La moyenne confirme cette tendance, mais aucune statistique sur cette hypothèse n'a été produite dans le cadre de ce projet.

- Le scarifiage favorise le coefficient de distribution des bouleaux.

OUI. La moyenne confirme cette tendance : le bouleau jaune semble être l'essence dont la situation est nettement favorisée par le scarifiage. Par contre, aucune statistique sur cette hypothèse n'a été produite dans le cadre de ce projet.

- Toutes les espèces désirées sont toutes plus hautes que le chêne rouge.

OUI, de 1,5 à 2 fois plus élevées. Seule exception, l'épinette rouge qui est dans les mêmes ordres de grandeur.

3.1.4. Conditions « libre de croître » et besoin de dégagement

- Les plus belles tiges d'avenir ne sont pas libres de croître, peu importe le traitement.

OUI, effectivement, elles ne sont pas libres de croître en très grande majorité. La situation est légèrement moins dramatique pour la coupe de jardinage.

- Peu de chênes rouges sont libres de croître, peu importe le traitement.

OUI, probablement. On peut en effet déduire que la majorité des tiges de chêne rouge ne sont pas libres de croître, étant donné que la grande majorité des 1111 plus belles tiges d'avenir à l'hectare, dont font partie les tiges de chêne rouge ne sont pas libres de croître (4% sur 77%) et que le chêne rouge affiche actuellement une hauteur de 1,5 à 2 fois inférieure aux autres espèces.

3.1.5. Peuplement futur

- Tous les traitements (sauf le témoin) ont suffisamment de tiges d'essences désirées pour créer une nouvelle strate majoritairement constituée de feuillus nobles.

OUI en théorie. Mais la forte oppression des tiges d'avenir pourrait rapidement modifier négativement la situation.

3.2. SYNTHÈSE DE L'INSTALLATION ET DE LA SURVIE

3.2.1. Installation réussie dans certaines conditions

Le succès de l'installation du chêne rouge est fonction de divers facteurs comme :

- Le contrôle de la lumière au sol à 50 % d'ouverture (couvert arborescent, mais également couvert de moins de 3 m de hauteur) ;
- La présence de semenciers ;
- La préparation de terrain ;
- La régénération artificielle ;
- Le climat général et les conditions spécifiquement lors de la plantation.

Cible de 50% de lumière au sol

En utilisant des abaques de distances entre les arbres (Lessard et al., 2018), il a été plus facile de respecter la cible résiduelle de 50% de couvert arborescent, et ce, peu importe les micro-variations, dans le couvert initial. Le débroussaillage qui enlève le couvert arbustif contribue certainement aussi à atteindre les conditions de lumière recherchées de 50 %.

Préparation de terrain

Le débroussaillage semble avantageusement remplacer la coûteuse et difficile opération de scarifiage. Le scarifiage n'a pas donné les résultats escomptés en présentant des densités plus faibles que celles observées dans les autres traitements. L'excès de chaleur pourrait être une hypothèse expliquant les plus faibles stockings et densité observés en présence de scarifiage.

Régénération en chêne rouge

Il y avait très peu de semenciers dans le couvert, c'est pourquoi il est ici question de conversion plutôt que de succession assistée.

La plantation et l'ensemencement peuvent être utilisés sans distinction, semble-t-il. Si d'un côté, l'utilisation de glands permet d'éviter la coûteuse phase de production de plants en pépinière, la fenêtre opérationnelle est courte pour appliquer sur le terrain ce mode de régénération artificielle :

- Fin d'automne pour les glands sélectionnés, mais non traités,
- Début été pour les glands stratifiés et pré-germés.

L'entreposage des glands au frais doit être respecté tout au long de l'opération de mise en terre, pour ne pas affecter le taux de germination. Certains facteurs décrits dans la littérature peuvent en effet influencer le taux de survie des glands pré-germés. Il semble que la germination des glands de chêne soit fortement réduite lorsque la température est supérieure à 23°C (OMNR, 2000). Selon Environnement Canada, les températures moyennes maximales enregistrées pendant l'ensemencement des glands (mai 2010) ont varié entre 14°C et 35°C alors que les maximums moyens habituels varient entre 18°C et 21°C pour cette même période. Les maximums de température enregistrés ont dépassé 23°C pour une période de 12 journées consécutives³. Nous

³http://climate.weatheroffice.gc.ca/climateData/dailydata_f.html?timeframe=2&Prov=CA&StationID=5606&Year=2010&Month=5&Day=1, en ligne le 4 mars 2011.

posons l'hypothèse que les derniers ensemencements de la période ont été moins réussis, les derniers sacs ayant surchauffé.

La prédation (Burns et Honkala, 1990) et la nécessité d'avoir un substrat humide pour la germination (Lupien, 2004) sont également décrites comme étant des facteurs qui influencent la germination des glands de chêne rouge. La température anormalement élevée du printemps 2010 combinée au manque d'humidité par l'assèchement du sol et à la prédation par les rongeurs a constitué une combinaison de facteurs qui a certainement défavorisé la germination des glands.

La survie des plants a pu également être influencée par la température particulièrement élevée lors de l'implantation du dispositif.

3.2.2. Pertes tant en nombre de tiges qu'en coefficient de distribution depuis l'installation

Tel que mentionné souvent dans la littérature, la présence de chêne rouge diminue rapidement dans les premières années, particulièrement en présence de compétition. À titre d'exemple, les résultats suivants sont obtenus dans le cadre de la présente étude (figure 8 et figure 9) :

- Avec 500 tiges à l'hectare au départ, le nombre de tiges a chuté de 300 à 500.
- Avec 1500 tiges à l'hectare au départ, le nombre de tiges a chuté de 700 à 1200.
- Avec un coefficient de distribution de 30%, on observe une baisse de 5 à 32%.
- Avec un coefficient de distribution de 90%, on observe une baisse de 28 à 58%.

Plusieurs experts ont mentionné durant l'atelier provincial tenu sur le chêne rouge (Lessard et al., 2018), que le dégagement hâtif est nécessaire pour éviter que le chêne ne soit opprimé pendant plusieurs années et ne finisse par mourir. Certains auteurs nord-américains mentionnent que la régénération de chêne rouge peut bénéficier :

- d'un dégagement hâtif. Certains auteurs proposent 3 ans (Paquette et al., 2006; Johnson 1984).
- de plusieurs interventions successives. Même si les effets peuvent se manifester même après 10 ans (Schuler, 2006), un ou deux dégagements successifs par puits de lumière peuvent être nécessaires pour poursuivre les effets positifs de cette intervention.

3.3. RAPPEL DU SCÉNARIO SYLVICOLE RETENU ET PROCHAINS TRAITEMENTS À PLANIFIER

3.3.1. Peuplement cible

Nous rappelons que le peuplement avant intervention comportait une densité initiale 6,5% de chêne rouge et 18,2% de hêtre à grande feuille. L'objectif d'aménagement est une **conversion en chênaie à chêne rouge et érable à sucre**. Cette proposition de composition s'inscrit dans la lignée de l'avis scientifique de la Direction de la recherche forestière (2017) où le remplacement du hêtre est recommandé. Parmi les avantages de cette espèce (Lessard et al, 2018), nous retrouvons :

- Trois fois plus de valeur qu'une érablière à maturité;
- Une espèce dont les fruits possèdent une certaine valeur de remplacement des faines de hêtres (ex : apport protéiné pour les ours avant l'hiver);
- Meilleures résistances aux sécheresses de printemps en lien avec les changements climatiques.

Nous posons comme cible mesurable de l'objectif de production, l'obtention d'une chênaie à chêne rouge et d'érable à sucre, constituée de 200 arbres au total par hectare, dont au moins 130 chênes rouges (2/3) présentant un diamètre de 50 cm à 120 ans.

3.3.2. Itinéraire sylvicole retenu

La séquence actuelle de traitements sylvicoles prévue est la suivante :

- **Coupe progressive d'ensemencement** (martelage positif des semenciers).
Habituellement un couvert résiduel d'approximativement 50% d'ouverture devrait être maintenu.
(Intervention réalisée durant l'hiver 2009-2010).
Débroussaillage de toute la superficie.
(Intervention réalisée durant l'hiver 2009-2010).
(Scarifiage léger facultatif).
- **Enrichissement** avec des glands ou des plants.
- **Dégagement hâtif** (habituellement après 5 ans).
Cette intervention devient urgente à réaliser (voir la description plus bas).
- **Coupe finale** (habituellement après 5 ans).
À planifier au plus tôt.

- **Dégagement par puits de lumière.** L'objectif de l'ensemble de ce traitement, entre 15-20 ans, est de pouvoir favoriser le développement des tiges d'avenir, d'augmenter davantage la proportion de chêne rouge dans le peuplement final et de gérer le risque lié à l'oppression. Il est suggéré de le réaliser sur 400 ti/ha.
- **Régime d'éclaircies commerciales,** qui devrait permettre d'assurer une croissance régulière en bois d'œuvre, grâce à la sélection de tiges d'avenir et leur détourage. L'utilisation d'un nomogramme de densité est fortement recommandée, notamment pour le calcul des espacements cibles à chaque éclaircie (Lessard et al, 1999, Meadows et Goelz, 2006).
- **Récolte par coupes progressives régulières** (succession assistée).

3.3.3. Horizon projeté

Pour un peuplement qui présenterait un indice de qualité de station de 15 m à 50 ans, on retrouve un volume produit de 197 m³/ha à 85 ans (selon Gauthier 1974 dans Lessard 2006). Dans le dispositif expérimental du Denholm (Blouin et al., 2018), le scénario anticipé pourrait même produire une chênaie rouge avec des billes de 40 cm de DHP en 70 ans: après 18 années. Les hauteurs moyennes sans branche sont en effet de 2,69 m, permettant d'anticiper la production d'au moins une bille de bois d'œuvre par tige. En attendant l'installation d'un régime d'éclaircie commerciale et la validation de ces rendements, la cible actuelle du MFFP de mettre la maturité à 120 ans est pertinente.

Par contre, certaines projections du dispositif du Denholm, plus au sud, permettent d'anticiper la production de bois de chêne rouge à 40 cm en 70 ans, si la croissance actuelle en diamètre se maintient (0,66 cm/an). Cela nécessitera des éclaircies commerciales. Et dans ce cas, il est fortement recommandé d'utiliser le nomogramme de densité ontarien pour réguler le régime d'éclaircie commerciale, qui peut débuter dès que l'état du peuplement permettra une récolte suffisante.

3.3.4. Prochains traitements

Deux traitements sont prévus à court terme, le dégagement hâtif et la coupe secondaire ou finale. Il devient urgent de les mettre en place si l'on en veut pas compromettre les objectifs poursuivis.

Dégagement des chênes rouges

Tel que présenté, l'ensemble des 1111 tiges d'avenir, où le chêne rouge occupe une place importante, n'est pas libre de croître. La situation est urgente, d'autant plus que le chêne rouge présente une hauteur inférieure à celle des autres espèces. Ce dégagement hâtif semble faire l'unanimité tant dans la littérature (Thiffault et Hébert, 2013 ; Cogliastro et Paquette 2012 in Ferrer et al, 2018 ; Lupien, 2008) que chez les experts (cf. résultats de l'atelier dans Lessard et al, 2018). L'objectif de l'ensemble de ce traitement est d'augmenter la proportion de chêne rouge dans le peuplement final et diminuer la quantité de hêtre et d'érable rouge. Il pourrait être réalisé à l'européenne pour dégager le tiers supérieur des cimes et maintenir un couvert latéral favorisant alors un élagage naturel. Pour diminuer les coûts, le dégagement pourrait s'effectuer sur 400 cercles bien distribués à l'hectare, en comparant 2 rayons de dégagement (2,0 m et 2,5 m).

Il serait bon également d'exécuter des tailles de formations et des élagages, si l'obtention d'une seconde bille de bois d'œuvre est possible.

Le contrôle de la prédation (broutage) semble aussi une avenue à explorer, dans le contexte où un dégagement peut rendre les plants plus exposés (Lessard et al., 1999).

Prochaine coupe à prévoir d'ici 2 ans

La prochaine coupe est importante pour compléter la mise en lumière des plants. Par contre, la poursuite du scénario mis en place en 2009-2010 pose certaines interrogations. En effet, dans le dispositif, deux types de traitements ont été installés : le procédé de régénération par coupes progressives irrégulières qui maintient un couvert partiel plus longtemps pour étirer la période de régénération et le procédé de régénération par coupes jardinatoires par trouées qui maintient un couvert permanent, tout en permettant d'installer différents feuillus nobles comme le tilleul.

Or, habituellement, après une installation abondante de chêne rouge, il est recommandé de procéder à une coupe finale du procédé de régénération par coupes progressives régulières. Pourrait-on penser à modifier la prescription de CPI pour une CPR ?

L'un des défis dans ces types de coupe en peuplement feuillu (coupe progressive irrégulière et coupe jardinatoire) est la difficulté de protéger la régénération installée. Contrairement aux résineux, les feuillus ont une vaste cime : ils sont non seulement difficiles à manipuler avec une multifonctionnelle, mais leur abattage peut endommager davantage la régénération. La relation entre la surface terrière résiduelle et la perte en distribution des tiges est directe (Lessard et al., 1997). Et il serait recommandé de ne pas dépasser la récolte de plus de 14 m²/ha. Selon le volume sur pied résiduel, la prochaine coupe serait une coupe secondaire si le volume sur pied permet une coupe supplémentaire dans le futur ou une coupe finale avec rétention de legs biologique et d'îlots en croissance s'il y a lieu.

4. RECOMMANDATIONS

Les résultats du projet ont permis d'identifier quelques pistes de recommandations qui sont formulées ci-après. L'ajout artificiel de régénération de chêne rouge, par ensemencement ou par plants, combiné à une mise en lumière par la coupe progressive et l'élimination complète de la régénération préétablie en essences non désirées par débroussaillage permettent l'établissement d'une cohorte intéressante en essences désirées.

4.1. PRÉPARATION DE TERRAIN

Il est recommandé de :

- 1) **Privilégier le débroussaillage sur toute la superficie**, afin de préparer l'ensemencement naturel, manuel ou la plantation de chêne rouge.
- 2) Si l'on veut profiter de la présence de semenciers, **synchroniser la préparation de terrain avec les bonnes années semencières**. Cela constitue un véritable atout, non seulement en augmentant la régénération en chêne rouge, mais en entraînant aussi une *satiation* pour les prédateurs.

4.2. RÉGÉNÉRATION ARTIFICIELLE

4.2.1. Ensemencement artificiel

L'ensemencement de glands semble une avenue valable, mais il importe de prendre en compte les préoccupations suivantes :

- 1) **Mettre les glands en terre, le plus tard possible à l'automne** pour limiter la prédation, notamment par les vers.
- 2) **Éviter les périodes de sécheresse** (OMNR, 2000).
- 3) **Effectuer si possible l'ensemencement en même temps qu'une bonne année semencière**, soit en période d'abondance de nourriture. Cela contribuerait à diminuer la prédation par les rongeurs des glands ensemencés manuellement (Lessard et al., 2009 et Luc Bournival, conseiller forestier, communication personnelle).
- 4) **Si l'ensemencement est effectué au printemps avec des glands stratifiés, privilégier un ensemencement tardif pour contribuer à diminuer la prédation**. En effet,

l'ensemencement survient alors à une période où la quantité de nourriture est abondante en forêt. Cependant, il a le désavantage d'induire un retard du développement du chêne rouge sur la végétation concurrente.

- 5) **Préférer l'ensemencement de glands à la plantation sur les terrains inaccessibles** pour la livraison des plants.

4.2.2. Plantation et regarni

Pour la plantation, il est recommandé de :

- 1) **Utiliser des plants de chêne rouge de forte dimension (PFD)** lorsque la régénération en chêne est insuffisante.
- 2) **Restaurer le chêne même aux endroits même où il en demeure encore sur pied,** comme *police d'assurance*.

4.3. SUIVI DE LA RÉGÉNÉRATION ET DÉGAGEMENT HÂTIF

Il est recommandé de :

- 1) **Réaliser au plus tôt le dégagement hâtif à l'euro péenne** (prévu entre 4 et 7 ans).
- 2) **Suivre l'évolution de la régénération par rapport au brout du chevreuil,** afin de trouver des solutions si celui-ci devient problématique.
- 3) **Considérer le cerisier tardif parmi les espèces désirées.** Sa présence s'est avérée non négligeable sur le terrain et pourra être un atout lors des éclaircies commerciales.
- 4) **Prévoir un autre dégagement vers 15 ans.**

4.4. GESTION DU COUVERT ARBORESCENT

En raison des besoins importants de lumière du chêne rouge pour sa croissance, il est recommandé de :

- 1) **Évaluer la possibilité de devancer la récolte pour compléter la coupe finale à l'intérieur des 10 ans après ensemencement.** La coupe progressive irrégulière deviendrait une coupe progressive régulière.
- 2) **Prévoir le maintien de legs biologiques.**
- 3) **Dans le cadre de la planification, anticiper que les coupes progressives régulières ou irrégulières nécessitent de revenir sur les chantiers très rapidement** (autour de 5 ans) pour la coupe finale ou une coupe secondaire, de manière à libérer la régénération

installée en essences semi-tolérantes. Les approches de planification et les normes doivent être ajustées en fonction de ce principe sylvicole essentiel pour la réussite des conversions de peuplement.

4.5. POURSUITE DE LA RECHERCHE

Étant donné l'importance des premières années pour l'installation et la survie du chêne rouge :

- 1) **Incorporer dans le dispositif actuel, une étude sur le dégagement à l'Européenne** de 400 tiges /ha avec différents rayons, en priorisant le chêne rouge. Dans le rayon dégagé, les autres tiges de chêne rouge sont considérées *fantôme* et doivent être maintenues.
- 2) **Planter un dispositif expérimental pour développer des méthodes de protection de la régénération lors de la coupe finale.** Prévoir également des formations pour l'ensemble du personnel impliqué.

CONCLUSION

La poursuite du projet qui a débuté en 2009 a permis de vérifier l'évolution de la cohorte de chêne rouge installée en 2010, selon deux types de régénération artificielle (glands et plants) et différentes modalités de préparation de terrain (débroussaillage et scarifiage). À partir d'un peuplement formé de 9 % de chênes rouges sur le total des tiges/hectare, le débroussaillage accompagné d'un ensemencement ou d'une plantation est apparu le scénario d'installation le plus performant vers une chênaie rouge.

Si certains traitements testés ont permis d'installer une régénération assez abondante, celle-ci décline rapidement tant en nombre qu'en distribution. Il apparaît alors urgent de traiter le peuplement :

- En réalisant d'abord un dégagement hâtif à l'Européenne, pour poursuivre la constitution de la cohorte de tiges utiles avec une dominance de chêne rouge.
- En favorisant ensuite une mise en lumière complète des gaules, par une nouvelle ouverture du couvert (coupe finale ou coupe secondaire), le défi étant de bien protéger la régénération lors de la coupe.

Ce dispositif expérimental constitue un exemple local pour la justification de l'adoption d'une stratégie de conversion de peuplement dans la planification de l'aménagement des forêts feuillues. Les prochaines phases sont critiques cependant pour mettre en valeur le capital investi et constituer une forêt future potentiellement de très haute qualité.

RÉFÉRENCES PERTINENTES EN LIEN AVEC LE SUJET

- ACIA, 2018. *Ceratocystis fagacearum* (Flétrissement du chêne) - Fiche de renseignements, In: aliments, A.c.d.i.d. (Ed.).
- Andreadis, T.G., Weseloh, R.M., 1990. Discovery of *Entomophaga maimaiga* in North American gypsy moth, *Lymantria dispar*. *Proceedings of the National Academy of Sciences* 87, 2461.
- Beaulieu, J., Plourde, A., Daoust, G., Lamontagne, L., 1996. Genetic variation in juvenile growth of *Pinus strobus* in replicated Quebec provenance-progeny tests. *Forest Genetics* 3, 103-112.
- Beeman, L.E., Pelton, M.R., 1980. Seasonal Foods and Feeding Ecology of Black Bears in the Smoky Mountains. *Bears: Their Biology and Management* 4, 141-147.
- Blouin D., G. Lessard, F. Grenon et E. Boulfroy. 2018. Dispositif de CPE 1996 à Denholm – Suivi à l'âge de 18 ans, soit 5 ans après un dégagement à l'euro péenne visant à favoriser la régénération du chêne rouge. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 2018-08. 41 pages.
- Blouin, D., P. Bournival et G. Lessard. 2009. Suivi après 12 ans dans un dispositif de coupe progressive d'ensemencement du chêne rouge sur les sommets de l'aire commune 72-01. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). 57 p.
- Boilard, Y.e.a., 2008. Insectes, maladies et feux dans les forêts québécoises. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec.
- Bouchard, E.e.a., 2006. Portrait territorial Outaouais. Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Direction régionale de la gestion du territoire public de l'Outaouais.
- Boulet, B., Huot, M., 2013. L'autécologie des essences commerciales - Le chêne rouge, Le guide sylvicole du Québec: Les fondements biologiques de la sylviculture. Les Publications du Québec, Québec.
- Boulet, B., Lorenzetti, F., 2013. Les insectes forestiers - La livrée des forêts, Le guide sylvicole du Québec: Les fondements biologiques de la sylviculture. Les publications du Québec, Québec
- Brown, 1992. Principes et normes d'aménagement des peuplements naturels de pin blanc et de pin rouge proposés pour le Québec. Sainte-Foy: gouvernement du Québec, ministère des forêts, Direction de la recherche.
- Burns, R. M. et B. H. Honkala. 1990. *Silvics of North America*. Volume 1, Conifer / Volume 2. Hardwood. Agricultural Handbook 654. Forest Service. United States Department of Agriculture.
- Chollet, S., Padié, S., Stockton, S., Allombert, S., Gaston, A.J., Martin, J.-L., 2016. Positive plant and bird diversity response to experimental deer population reduction after decades of uncontrolled browsing. *Diversity and Distributions* 22, 274-287.

- Clatterbuck, W.K., Liebhold, A.M., Coyle, D.R., 2017. Gypsy moth in the southeastern US: Biology, ecology, and forest management strategies. SREF-FH-008. Athens, GA: Southern Regional Extension Forestry. 10 p., 1-10.
- Cogliastro, A., Paquette, A., 2012. Thinning effect on light regime and growth of underplanted red oak and black cherry in post-agricultural forests of south-eastern Canada. *New Forests* 43, 941-954.
- Cooke, B.J., Lorenzetti, F., 2006. The dynamics of forest tent caterpillar outbreaks in Québec, Canada. *Forest Ecology and Management* 226, 110-121.
- Coudé, V., Communication personnelle, réponse au questionnaire préliminaire à l'atelier sur l'enrichissement en pin blanc et chêne rouge des sommets de l'Outaouais, 2018
- Danneyyrolles, V., Arsenault, B., 2014. Reconstitution de la composition des forêts préindustrielles dans la sapinière à bouleau jaune du Témiscamingue à partir des archives d'arpentage. Rapport d'étape pour la Conférence régionale des élus de l'Abitibi-Témiscamingue.
- Dawe K., B.E.M., Boutin S., 2014. Influence of climate and human land use on the distribution of white-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) in the western boreal forest. *Canadian Journal of Zoology* 92, 353-363..
- Desmarais, K.M., 1998. Northern red oak regeneration: biology and silviculture. UNH Cooperative Extension.
- De Turckheim, B. L'intensité en sylviculture. Quelques réflexions sur l'orientation de la gestion dans nos forêts. 1990.
- Dey, D.C., 1996. Regeneration of red oak (*Quercus rubra* L.) using shelterwood systems: ecophysiology, silviculture and management recommendations. Forest Research Information paper 126.
- Direction de la recherche forestière, 2017. Expansion du hêtre à grandes feuilles et déclin de l'érable à sucre au Québec : portrait de la situation, défis et pistes de solution. Avis scientifique du comité chargé d'étudier l'écologie et la sylviculture des peuplements contenant du hêtre et de l'érable. Gouvernement du Québec, ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, Direction de la recherche forestière. Avis scientifique, 146 p.
- Doyon, F.e.a., 2003. L'invasion par le hêtre dans les érablières de l'Outaouais: phénomène fantôme ou glissement de balancier? Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue.
- Ferrer, F., G. Lessard, G., E. Bouffroy et D. Blouin. 2018. Développement de stratégies sylvicoles pour la production de peuplements résilients et tolérants constitués de chêne rouge et de pin blanc. État des connaissances sur l'Enrichissement en pin blanc (*Pinus strobus*, L.) et chêne rouge (*Quercus rubra*, L.) des sommets sensibles à la sécheresse de l'Outaouais. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. Rapport 2018-05. 29 pages + 4 annexes

- Guay, L., Communication personnelle, réponse au questionnaire préliminaire à l'atelier sur l'enrichissement en pin blanc et chêne rouge des sommets de l'Outaouais, 2018
- Gagné, L., Sirois, L., Lavoie, L., 2015. Forest management and climate change: adaptive measures for the temperate-boreal interface of Eastern North America. *Ecological Forest Management Handbook*, 561-587.
- Haas, J.P., Heske, E.J., 2005. Experimental Study of the effects of Mammalian Acorn Predators on red Oak Acorn survival and germination.. *Journal of Mammalogy* 86, 1015-1021.
- HaavikL.J., StahleD.W., StephenF.M., 2011. Temporal aspects of *Quercus rubra* decline and relationship to climate in the Ozark and Ouachita Mountains, Arkansas. *Canadian Journal of Forest Research* 41, 773-781.
- Hannah, P.R., 1988. The shelterwood method in northeastern forest types: A literature review. *Northern Journal Of Applied Forestry* 5, 70-77.
- Horsley, S.B., Stout, S.L., DeCalesta, D.S., 2003. White-tailed deer impact on the vegetation dynamics of a northern hardwood forest. *Ecological Applications* 13, 98-118.
- Huot M. , Communication personnelle, réponse au questionnaire préliminaire à l'atelier sur l'enrichissement en pin blanc et chêne rouge des sommets de l'Outaouais, 2018
- Johnson, P. S.,1984. Responses of planted northern red oak to three overstory treatments. *Revue canadienne de recherche forestière*, 1984, 14(4): 536-542.
- Kriebel, H.B., Bagley, W.T., Deneke, F.J., Funsch, R.W., Roth, P., Jokela, J.J., Merritt, C., Wright, J.W., Williams, R.D., 1976. Geographic variation in *Quercus rubra* in north central United States plantations. *Silvae Genetica* 25, 118-122.
- Laflamme, J., Munson, A., Grondin, P., Arseneault, D., 2016. Anthropogenic Disturbances Create a New Vegetation Toposequence in the Gatineau River Valley, Quebec. *Forests* 7, 254.
- Lafèche V., L.C., Guillemette, F., 2013. L'éclaircie commerciale, *Le guide sylvicole du Québec: Les concepts et l'application de la sylviculture*. Les Publications du Québec, Québec
- Lamson, N., 1976. Appalachian hardwood stump sprouts are potential sawlog crop trees [USA]. *USDA Forest Service Research Note NE (USA)*. no. 229.
- Lanier, L., 1968a. Contribution à l'étude du rouge cryptogamique du Pin sylvestre dû au *Lophodermium pinastri* (Schrad) Chev.: germination des ascospores, *Annales des Sciences Forestières*. EDP Sciences, pp. 69-81.
- Lanier, L., 1968b. Contribution à l'étude du rouge cryptogamique du Pin sylvestre dû au *Lophodermium pinastri* (Schrad.) Chev.: étude phénologique sur la chute des aiguilles et sur la maturation des hystérothécies, *Annales des Sciences forestières*. EDP Sciences, pp. 35-50.

- Leffelman, L.-J. et H. R. Chipman. Studies of Connecticut hardwoods: The treatment of advance growth arising as a result of thinnings and shelterwood cuttings. Yale University, 1925.
- Le Goff, H., Leduc, A. et Jayen, K., 2012. Évaluation de la vulnérabilité aux changements climatiques de trois projets d'aménagement forestier écosystémique au Québec, Rapport final de projet #530006-107, pp. 228-243.
- Lessard, G., E. Boulfroy, G. Joannis, F. Ferrer et D. Blouin 2018. Développement de stratégies sylvicoles pour la production de peuplements résilients et tolérants constitués de chêne rouge et de pin blanc. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. Rapport 2018-06. 97 pages.
- Lessard, G., D. Blouin, F. Grenon et G. Joannis. 2010. Essai de régénération de chêne rouge dans une érablière de sommet. Diagnostic, prescription et suivi du martelage et suivi après intervention. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). 107 p.
- Lessard, G., D. Blouin, F. Grenon et G. Joannis. 2009. Essai de régénération de chêne rouge dans une érablière de sommet. Diagnostic, prescription et suivi du martelage. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). 87 p.
- Lessard, G., 2006. Notes de cours, Fondement de la foresterie. Faculté de foresterie et de géomatique, Université Laval.
- Lessard, G., Saint-Julien C., Blouin D., Desjardins, J., Zenaddochio, N., van der Kelen, G., 1999. Etude de différents travaux complémentaires à la coupe progressive dans les érablières à chêne rouge de l'Ouatouais - Volet 1 In: CERFO (Ed.), Québec.
- Lessard, G., Blouin D. et Vallée, H. 1997. Système de régénération par coupe progressive : Étude de la coupe finale dans une érablière à hêtre de l'Ouatouais. Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO). Rapport 97-02. 35 p + annexes.
- Logan, T., Charron, I., Chaumont, D., Houle, D., 2011. Atlas de scénarios climatiques pour la forêt québécoise. Ouranos et MRNF.
- Lorimer, C.G., 1993. Causes of the oak regeneration problem, Oak regeneration: Serious problems, practical recommendations. USDA For. Serv., Gen. Tech. Rep. SE-84, Southeastern Forest Experiment Station, Asheville, NC, pp. 14-39.
- Lucas, R.W., Salguero-Gómez, R., Cobb, D.B., Waring, B.G., Anderson, F., McShea, W.J., Casper, B.B., 2013. White-tailed deer (*Odocoileus virginianus*) positively affect the growth of mature northern red oak (*Quercus rubra*) trees. *Ecosphere* 4, 1-15.
- Lupien, P. 2004. Des feuillus nobles en Basse-Mauricie. Guide de mise en valeur. Fonds d'information, de recherche et de développement de la forêt privée mauricienne (FIRDFPM). Syndicat des producteurs de bois de la Mauricie. Shawinigan. 248 p.

- Lupien, P., 2008. Conduites sylvicoles dans les zones feuillues et mixtes du Québec. Guide d'accompagnement. Fonds d'information de recherche et de développement de la forêt privée mauricienne (FIRDFPM), Syndicat des producteurs de bois de la Mauricie, Trois-Rivières.
- Major, K.C., Nosko, P., Kuehne, C., Campbell, D., Bauhus, J., 2013. Regeneration dynamics of non-native northern red oak (*Quercus rubra* L.) populations as influenced by environmental factors: A case study in managed hardwood forests of southwestern Germany. *Forest Ecology and Management* 291, 144-153.
- Marçais, B., 1992. Influence de facteurs de l'environnement sur le développement de l'encre du chêne rouge (*Quercus rubra* L.), maladie provoquée par *Phytophthora cinnamomi*, p. 1 vol. (104 p.).
- Meadows, J. S. et J.C.G. Goelz, 2006. Fourth-year effects of thinning on growth and epicormic branching in a red oak-sweetgum stand on a minor streambottom site in west-central Alabama. Gen. Tech. Rep. SRS-48. Asheville, NC: U.S. Department of Agriculture, Forest Service, Southern Research Station. pp. 201-208.
- Melissa, T.-V.G., James, R., Beth, A.M., Walter, C., 2014. Reversing legacy effects in the understory of an oak-dominated forest. *Canadian Journal of Forest Research* 44, 350-364.
- Ministère des Forêts, de la Faune et des Parcs, 2016 a. Intégration des enjeux écologiques dans les plans d'aménagement forestier intégré de 2018-2023, Cahier 4.1 – Enjeux liés à la composition végétale, Direction de l'aménagement et de l'environnement forestiers, 86 p.
- MRN. 1995. Petit manuel des semences forestières au Québec. Gouvernement du Québec, ministère des Ressources naturelles. 72 p.
- Miller, D.R., Schlarbaum, S.E., 2005. Acorn Fall and Weeviling in a Northern Red Oak Seedling Orchard. *Journal of Entomological Science* 40, 31-38.
- Miltner, S., Kupka, I., 2016. Silvicultural potential of northern red oak and its regeneration-Review. *Journal of Forest Science* 62, 145-152.
- Moore, J.E., Swihart, R.K., 2006. Nut Selection by Captive Blue Jays: importance of availability and implications for seed dispersal. *L. The Condor* 108, 377-388.
- Moricca, S., Ragazzi, A., 2011. The Holomorph *Apiognomonina quercina*/*Discula quercina* as a Pathogen/Endophyte in Oak.
- Morneau, A., Communication personnelle, réponse au questionnaire préliminaire à l'atelier sur l'enrichissement en pin blanc et chêne rouge des sommets de l'Outaouais, 2018
- Morrissey, R.C., Jacobs, D.F., Davis, A.S., Rathfon, R.A., 2010. Survival and competitiveness of *Quercus rubra* regeneration associated with planting stocktype and harvest opening intensity. *New Forests* 40, 273-287.

- Myczko, Ł., Dylewski, Ł., Zduniak, P., Sparks, T.H., Tryjanowski, P., 2014. Predation and dispersal of acorns by European Jay (*Garrulus glandarius*) differs between a native (Pedunculate Oak *Quercus robur*) and an introduced oak species (Northern Red Oak *Quercus rubra*) in Europe. *Forest Ecology and Management* 331, 35-39.
- Olson, D.F.J., Hooper, R.M., 1968. Early Survival and Growth of Planted Northern Red Oak in the Southern Appalachians.
- Olson Jr, D.F., Boyce, S.G., 1971. Factors affecting acorn production and germination and early growth of seedlings and seedling sprouts, *Proceedings of Oak Symposium*, pp. 16-20.
- Ontario Ministry of Natural Resources. 2000. A Silviculture Guide to Managing Southern Ontario Forests. Forest Analyst, Southcentral Sciences Section, OMNR, 654 p.
- Ontario Ministry of Natural Resources, 1998a. A Silvicultural Guide for the Great Lakes-St. Lawrence Conifer Forest in Ontario. Version 1.1, p. 471.
- Ontario Ministry of Natural Resources, 1998b. A silvicultural guide for the tolerant hardwood forest in Ontario. Peterborough: Ontario Ministry of Natural Resources.
- P., L., H., B., B., H., 2012. Responses of northern red oak seedlings to lime and deer exclosure fencing in Pennsylvania. *Canadian Journal of Forest Research* 42, 698-709.
- Paquette, A., A. Bouchard et A. Cogliastro, 2006. Successful under-planting of red oak and black cherry in early-successional deciduous shelterwoods of North America. *Ann. For. Sci.* 63 (2006) 823–831.
- Perea, R., San Miguel, A., Gil, L., 2011. Leftovers in seed dispersal: ecological implications of partial seed consumption for oak regeneration. *Journal of Ecology* 99, 194-201.
- Périé, C.e.D.B., S., 2015. Anticiper les effets des changements climatiques sur l'habitat des arbres dans la forêt sous aménagement au Québec: Perspectives et approches. *Avis de recherche forestière* 62.
- Robitaille, D., 2002. Le rabattage des plants à racines nues et l'utilisation de plants en récipients pour contrer l'antracnose dans les nouvelles plantations de chêne rouge. Direction de la recherche forestière [Ressources naturelles].
- Rol, R., 1951. Le chancre du chêne rouge d'Amérique.
- Rooney, T.P., Waller, D.M., 2003. Direct and indirect effects of white-tailed deer in forest ecosystems. *Forest Ecology and Management* 181, 165-176.
- Schlarbaum, S., Bagley, W., 1981. Intraspecific genetic variation of *Quercus rubra* L., northern red oak. *Silvae Genetica*.
- Schuler, T. M., 2006. Crop tree release improves competitiveness of northern red oak growing in association with black cherry. *Northern Journal of Applied Forestry*, Volume 23, Issue 2, 1 June 2006, Pages 77–82.

- Schütz, J.-Ph et Oldeman, R. A. A. Gestion durable par automation biologique des forêts. Revue forestière française, 1996, S, fascicule thématique " La gestion durable des forêts tempérées", 1996.
- Sork, V.L., Stowe, K.A., Hochwender, C., 1993. Evidence for Local Adaptation in Closely Adjacent Subpopulations of Northern Red Oak (*Quercus rubra* L.) Expressed as Resistance to Leaf Herbivores. *The American Naturalist* 142, 928-936.
- Stephen, F.M., Salisbury, V.B., Oliveria, F.L., 2001. Red Oak Borer, *Enaphalodes rufulus* (Coleoptera: Cerambycidae), in the Ozark Mountains of Arkansas, U.S.A.: An Unexpected and Remarkable Forest Disturbance. *Integrated Pest Management Reviews* 6, 247-252.
- Thiffault, N., Hébert, F., 2013. Le dégagement et le nettoyage, *Le guide sylvicole du Québec: Les concepts et l'application de la sylviculture*. Les Publications du Québec, Québec.
- Thiffault, N., Roy, V., 2011. Living without herbicides in Québec (Canada): historical context, current strategy, research and challenges in forest vegetation management. *European journal of forest research* 130, 117-133.
- Trencia, J., 1995. Identification de descripteurs morphométriques sensibles aux conditions générales de croissance des semis de chêne rouge [*Quercus rubra*] en milieu naturel. *Canadian Journal of Forest Research* 25, 157-165.
- Urban, N.A., Swihart, R.K., 2011. Small mammal responses to forest management for oak regeneration in southern Indiana. *Forest Ecology and Management* 261, 353-361.
- Van der Kelen, G., Communication personnelle, réponse au questionnaire préliminaire à l'atelier sur l'enrichissement en pin blanc et chêne rouge des sommets de l'Outaouais, 2018
- Weigel, D.R., Dey, D.C., Peng, C.-Y.J., 2011. Stump sprout dominance probabilities of five oak species in southern Indiana 20 years after clearcut harvesting.
- Weigel, D.R., Peng, C.-Y.J., 2002. Predicting stump sprouting and competitive success of five oak species in southern Indiana. *Canadian Journal of Forest Research* 32, 703-712.
- White, M.A., 2012. Long-term effects of deer browsing: Composition, structure and productivity in a northeastern Minnesota old-growth forest. *Forest Ecology and Management* 269, 222-228.
- Woolery, O., Jacobs Douglass, F., 2014. Planting stock type and seasonality of simulated browsing affect regeneration establishment of *Quercus rubra*. *Canadian Journal of Forest Research* 44, 732-739.