



Enrichissement en essences nobles après coupe jardinatoire par trouées dans la région de Lanaudière : résultats après trois saisons de croissance

Rapport préparé par

**Daniel Bouffard, M.Sc.
Sylvain Delagrangé, Ph.D.**



pour

Benoit Couture, ing.f.

Agence régionale de mise en valeur
des forêts privées de Lanaudière

Février 2008

Remerciements

Les auteurs tiennent à remercier spécialement Messieurs Benoit Couture et Denis Routhier de l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de Lanaudière pour l'appui technique et professionnel apporté en cours de projet. Nous tenons également à souligner le travail efficace et consciencieux des conseillers forestiers ainsi que l'implication des propriétaires privés chez lesquels le dispositif expérimental a été implanté.

Table des matières

| | |
|--|-----|
| Remerciements..... | i |
| Table des tableaux..... | iii |
| Table des figures..... | iv |
| Introduction..... | 1 |
| Méthodologie..... | 2 |
| Secteur d'étude..... | 2 |
| Dispositif expérimental..... | 2 |
| Inventaires réalisés et paramètres calculés..... | 4 |
| Analyses statistiques..... | 6 |
| Résultats..... | 9 |
| Chêne rouge..... | 9 |
| Pin blanc..... | 11 |
| Cerisier tardif..... | 14 |
| Discussion..... | 16 |
| Conclusion..... | 18 |
| Références..... | 19 |
| Annexes..... | 20 |

Table des tableaux

| | |
|--|---|
| Tableau 1. Caractéristiques écologiques des sites sélectionnés pour le projet d'enrichissement en feuillus nobles et pin blanc. | 3 |
| Tableau 2. Description des trouées et nature du dépôt de surface dans celles-ci. | 5 |
| Tableau 3. Abréviations utilisées dans le document. | 7 |
| Tableau 4. Sources et degrés de liberté associés au dispositif expérimental..... | 7 |
| Tableau 5. Résultats de l'analyse de variance pour la détection de différences initiales de hauteur et de diamètre immédiatement après le reboisement en fonction des différents peuplements. | 8 |

Table des figures

| | |
|---|----|
| Figure 1. Exemple d'une trouée de 10 m de rayon utilisée dans le dispositif expérimental. | 6 |
| Figure 2. Hauteur des semis de chêne rouge après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées. | 9 |
| Figure 3. Croissance diamétrale des semis de chêne rouge après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées. | 10 |
| Figure 4. Proportion de mortalité des semis de chêne rouge après trois saisons de croissance en fonction des propriétaires..... | 10 |
| Figure 5. Proportion de broutage sur les semis de chêne rouge après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées. | 10 |
| Figure 6. Hauteur des semis de pin blanc après trois saisons de croissance en fonction de la dimension des trouées et des propriétaires ou de la position dans les trouées. | 11 |
| Figure 7. Diamètre des semis de pin blanc après trois saisons de croissance en fonction de la dimension des trouées ou de la relation entre le positionnement dans les trouées et les propriétaires..... | 11 |
| Figure 8. Proportion de broutage des semis de pin blanc en fonction de la relation entre la dimension des trouées et les propriétaires ou la position dans les trouées. | 12 |
| Figure 9. Proportion de mortalité et de mortalité terminale chez les semis de pin blanc après trois saisons de croissance en fonction respectivement des propriétaires et de la position dans les trouées. | 13 |
| Figure 10. Hauteur des semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées..... | 14 |
| Figure 11. Diamètre des semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance en fonction de la dimension des trouées et de la position des plants dans celles-ci. | 15 |
| Figure 12. Proportion de mortalité et mortalité terminale chez les semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires. | 15 |
| Figure 13. Proportion de broutage chez les semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance en fonction des propriétaires et des positions à l'intérieur des trouées. | 15 |

Introduction

La forêt privée de Lanaudière contribue de plus en plus à l'approvisionnement des usines de transformation du bois, notamment en essences de feuillus durs de qualité. En effet, la demande pour ces essences ne cesse d'augmenter alors que les contraintes à l'exploitation s'accumulent sur les terres publiques. Aussi, l'historique de coupes dans cette région fait en sorte qu'une proportion importante du territoire est composée de forêts de moindre qualité qui fournissent un rendement sous-optimal en billes de qualité.

Dans ce contexte, l'Institut québécois d'Aménagement de la Forêt feuillue (IQAFF) a été mandaté par l'Agence régionale de mise en valeur des forêts privées de Lanaudière pour élaborer, mettre en place et faire le suivi d'un dispositif expérimental dans le cadre de la réalisation d'un projet de volet II du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (PMVRMF). Ce projet, déposé au printemps 2004, visait à mettre en place des sites d'expérimentation et de démonstration sur l'enrichissement en essences de feuillus nobles et de pin blanc à l'intérieur de trouées effectuées dans des peuplements faiblement stockés en essences feuillues de qualité. Le but recherché par ce projet était d'expérimenter de nouvelles pratiques sylvicoles d'enrichissement, d'assainissement et d'amélioration de la qualité des peuplements. Le dispositif expérimental mis en place par l'IQAFF au printemps de 2005 avait pour objectifs principaux à court, moyen et long terme :

- ✍ d'améliorer les connaissances en matière d'aménagement visant la production de bois feuillu de qualité ;
- ✍ d'expérimenter de nouvelles techniques sylvicoles axées sur la mise en valeur du potentiel feuillu de la région de Lanaudière ;
- ✍ d'accroître la production des bois feuillus de qualité dans la région de Lanaudière ;
- ✍ de promouvoir l'aménagement visant la production de bois de qualité en mettant en place des sites de démonstration ;
- ✍ de démontrer au monde municipal les avantages liés à la mise en valeur des forêts feuillues ;
- ✍ d'augmenter les superficies aménagées de manière à favoriser la production de bois de qualité.
- ✍ de trouver une méthode innovatrice afin de régénérer des peuplements de faible qualité par l'introduction de feuillus nobles et de pins blancs.

Méthodologie

Secteur d'étude

La présente étude a été réalisée dans la région de Lanaudière située au nord de Montréal dans un secteur comprenant les municipalités de Ste-Émilie-de-l'Énergie, St-Gabriel-de-Brandon, Chertsey, St-Calixte, Ste-Julienne et St-Cuthbert. Parmi les sept sites sélectionnés pour effectuer de l'enrichissement en essences feuillues nobles et pin blanc, six sont situés dans l'unité de paysage régionale " Saint-Jérôme " alors que le dernier se retrouve dans l'unité de " Val David " (Robitaille et Saucier 1998). Étant localisée majoritairement dans une sous-région méridionale du domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune (Saucier *et al.* 1998), la zone d'étude est caractérisée au niveau du dépôt par la présence d'un till indifférencié épais (50 – 100 cm) sur les coteaux et dans les dépressions séparant les collines. Un till mince occupe les collines les plus élevées où il est parfois percé d'affleurements rocheux. Par ailleurs, une portion importante des dépôts composés de tills indifférenciés est caractérisée par une forte pierrosité. Le relief, relativement peu accidenté avec une altitude moyenne de 213 m, est formé de coteaux et de collines aux versants en pente généralement faible où le substrat rocheux est de nature cristalline (Robitaille et Saucier 1998). La température et les précipitations annuelles moyennes sont comprises respectivement entre 2.5 et 5.0 °C et entre 900 et 1100 mm (avec 25 % sous forme de neige), alors que la longueur de la saison de croissance se situe entre 180 et 190 jours. Enfin, la végétation potentielle des sites mésiques est l'érablière à bouleau jaune ou encore en certaines occasions l'érablière à tilleul, alors que les sommets mieux drainés sont colonisés par l'érablière à hêtre (Robitaille et Saucier 1998).

Dispositif expérimental

L'objectif principal du dispositif expérimental mis en place dans cette étude vise à mieux comprendre, au sein de peuplements de différentes natures, l'influence de la dimension des trouées et le positionnement à l'intérieur de ces dernières sur la croissance, la survie et la qualité des plants reboisés en essences dites nobles.

Sept peuplements, d'une superficie minimale de quatre hectares et dont la composition est à dominance de feuillus tolérants ou encore constituée d'un mélange de feuillus tolérants, intolérants et d'essences résineuses (Tableau 1), ont été sélectionnés chez des propriétaires dynamiques et sensibilisés à l'importance de la protection et du maintien du dispositif expérimental sur plusieurs années. Les peuplements choisis, de structure inéquienne sans perturbations majeurs depuis au moins dix ans et localisés à mi-pente, étaient tous situés dans le piedmont Lanaudois sur un till indifférencié. Le Tableau 1 illustre également le positionnement de ces peuplements dans le système de classification écologique du Québec.

Les peuplements sélectionnés ont été soumis à une coupe jardinatoire par trouées réalisée à l'hiver ou au printemps de 2005. Des trouées circulaires de 10 ou 17 mètres de rayon ont été effectuées sur 15 à 17% de la superficie totale des peuplements. La répartition des trouées, aléatoire, a été réalisée par l'aménagiste forestier. La délimitation du pourtour des trouées a été effectuée à partir du fût des arbres situés en périphérie, et non en fonction de l'étendue de la cime. La distance minimale entre les trouées devait correspondre à au moins une fois la dimension des trouées. Tous les arbres de plus de 10 cm au DHP ont été récoltés alors que les tiges non désirées ayant un DHP inférieur à 10 cm ont été rabattues au sol. Un jardinage par pied d'arbre avec amélioration de la qualité du peuplement a été pratiqué en dehors des trouées avec un niveau de prélèvement d'environ 20%.

L'utilisation de trouées de dimensions variables permet d'agir sur la composition végétale future du peuplement (Leak et Filip 1977, Smith 1981, Philipps et Shure 1990, McClure et

Tableau 1. Caractéristiques écologiques des sites sélectionnés pour le projet d'enrichissement en feuillus nobles et pin blanc.

| Classification écologique | Sites sélectionnés | | | | | | |
|---------------------------|----------------------------|------------------------------|---------------------------|----------------------------|----------------------------|---------------------------------|---------------------------|
| Propriétaire | Bournival (A) | Lafortune (B) | Quévillon (C) | Homsy I (D) | Homsy II (E) | Lessard (F) | Paquin (G) |
| Localisation | Ste-Julienne | St-Émilie | St-Cuthbert | St-Calixte | St-Calixte | Chertsey | St-Gabriel |
| Domaine bioclimatique | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 | 3 |
| Région écologique | C | C | C | C | C | C | C |
| Sous-région écologique | M | M | M | M | M | T | M |
| District écologique | Collines du Lac Pontbriand | Collines du Lac Noir | Coteaux Rivière du Chicot | Collines du Lac Pontbriand | Collines du Lac Pontbriand | Hautes Collines du Lac des Îles | Coteaux Rivière du Chicot |
| Essences dominantes | ERR, ERS, PET, BOP | ERS, ERR, PET, BOP, SAB, EPB | ERS, HEG | ERS, ERR, HEG | PEG, ERS, ERR | ERR, PET, SAB, BOP, EPB | ERR, BOP, SAB |

Lee 1993, Dale *et al.* 1995, Gray et Spies 1996, Jenkins et Parker 1998). C'est pourquoi, dans le cadre de cette étude, deux dimensions de trouées ont été retenues afin d'en vérifier l'impact. Le choix des rayons de 10 et 17 m amène une différenciation réelle de la taille des trouées en terme de superficie (315 versus 908 m²). De plus, compte tenu de la précision réelle qu'il est possible d'obtenir par la méthode de délimitation par les fûts (plus ou moins deux mètres sur le rayon), ces deux dimensions permettent l'obtention de deux populations de trouées bien distinctes (Tableau 2). Par ailleurs, la superficie des trouées de 10 m de rayon tend à s'approcher de celle observée en milieu naturel qui dépasse que rarement 200 m² (Runkle 1982, Payette *et al.* 1990, Beaudet et Messier 1997). Quant aux trouées plus grandes (17 m de rayon), elles sont connues pour favoriser notamment la réinstallation du pin blanc et du chêne rouge, deux des essences étudiées dans ce projet. Les caractéristiques des trouées, ainsi que des dépôts de surface qu'on y retrouve, sont présentées au Tableau 2. Pour les besoins de l'étude, trois trouées de 10 et 17 m de rayon ont été aléatoirement choisies chez chaque propriétaire, et ce parmi l'ensemble des trouées réalisées.

Selon York *et al.* (2003), la croissance des semis à l'intérieur d'une trouée varie peu selon l'axe est-ouest rendant ainsi l'échantillonnage inutile à ce niveau. Il en est autrement pour les portions sud, centre et nord d'une trouée (Denslow *et al.* 1990, Demetry 1995, Palik *et al.* 1997, York *et al.* 2003). Par conséquent, trois zones ont été délimitées à l'intérieur de la trouée en tenant compte des positions géographiques mentionnées précédemment (Figure 1). Par ailleurs, une autre zone a été installée en périphérie nord de la trouée afin de tester l'effet de la pénétration lumineuse de proximité. Afin d'obtenir un espacement suffisant entre chaque boîte à l'intérieur d'une trouée, les dimensions suivantes ont été attribuées aux différentes zones de reboisement en tenant compte de leur positionnement : i) 2 x 10 m pour les secteurs sud (S), nord (N) et en périphérie nord (NE) et ii) 4 x 8 m pour la position centrale (C) (Figure 1).

Les 42 trouées sélectionnées dans le cadre du projet, six par propriétaire, ont donc été reboisées avec du chêne rouge, du pin blanc et du cerisier tardif, trois essences bien adaptées au climat régional et au dépôt dominant du piedmont Lanaudois. Les semis utilisés provenaient de la pépinière de Berthierville et étaient adaptés aux sous-régions écologiques 3ct et 3cm. La densité du reboisement dans les trouées, et par conséquent dans les boîtes, était de l'ordre de 2 500 plants à l'hectare (2 x 2 m). Le reboisement de quatre semis par essence dans les boîtes situées au sud, au nord et en périphérie nord et de cinq semis en milieu de trouée, tous distribués de façon aléatoire, a permis d'obtenir le nombre nécessaire de plants vivants (trois individus par essence et par position) pour mener à bien les analyses statistiques.

Inventaires réalisés et paramètres calculés

À la fin du printemps 2005, peu de temps après le reboisement et juste avant le débourrement des plants, trois semis de chêne rouge, de pin blanc et de cerisier tardif ont été sélectionnés aléatoirement dans les trouées au niveau de chaque position (soit un total de 1 508 plants) et identifiés afin de les distinguer de la régénération naturelle et d'en assurer le suivi à moyen terme. Au même moment, des données de croissance - hauteur (hauteur initiale) et diamètre au collet (diamètre initial) - ont été récoltées sur tous les plants suivis.

Après une et trois saisons de croissance, c'est-à-dire en septembre 2005 et 2007, la hauteur et le diamètre au collet ont été remesurés en plus de noter l'état des semis (mort ou vivant) ainsi que la présence de broutage et de mortalité terminale. À l'aide de ces données, les proportions de mortalité, de broutage et de mortalité terminale pour les trois essences ont été calculées pour chaque position à l'intérieur de chacune des trouées.

Tableau 2. Description des trouées et nature du dépôt de surface dans celles-ci.

| Propriétaire | Caractéristiques des trouées | | | | Nature des dépôts | | |
|---------------|------------------------------|-----------------|------------|-----------|-------------------|------------|----------------|
| | No | Dimension (m) | Exposition | Pente (%) | Type | Pierrosité | Épaisseur (cm) |
| Bournival (A) | 1 | E-O(32),N-S(33) | - | - | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 2 | E-O(31),N-S(31) | E-O | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 3 | E-O(20),N-S(22) | N-S | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 4 | E-O(34),N-S(31) | N-S | 5-10 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 5 | E-O(20),N-S(21) | E-O | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 6 | E-O(23),N-S(21) | E-O | 5-10 | 1aY | Forte | 50-100 |
| Lafortune (B) | 7 | E-O(20),N-S(20) | E-O | 15-25 | 1a | Nulle | > 100 |
| | 8 | E-O(32),N-S(37) | N | 10-15 | 1a | Nulle | > 100 |
| | 9 | E-O(30),N-S(32) | - | - | 1aY | Nulle | 50-100 |
| | 10 | E-O(21),N-S(25) | E-O | 0-5 | 1aY | Nulle | 50-100 |
| | 11 | E-O(34),N-S(33) | E-O | 15-25 | 1aY | Nulle | 50-100 |
| | 12 | E-O(26),N-S(20) | E-O | 15-25 | 1aY | Nulle | 50-100 |
| Quévillon (C) | 13 | E-O(32),N-S(34) | E-O | 0-5 | R1a | Forte | < 50 |
| | 14 | E-O(20),N-S(20) | E-O | 0-5 | R1a | Forte | < 50 |
| | 15 | E-O(33),N-S(33) | - | - | R1a | Forte | < 50 |
| | 16 | E-O(34),N-S(34) | N | 0-5 | R1a | Forte | < 50 |
| | 17 | E-O(21),N-S(21) | - | - | R1a | Forte | < 50 |
| | 18 | E-O(20),N-S(21) | E-O | 0-5 | R1a | Forte | < 50 |
| Homsy I (D) | 19 | E-O(34),N-S(35) | N-S | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 20 | E-O(34),N-S(30) | NO-SE | 5-10 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 21 | E-O(30),N-S(29) | N-S | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 22 | E-O(22),N-S(20) | N-S | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 23 | E-O(20),N-S(20) | O-E | 5-10 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 24 | E-O(24),N-S(20) | O-E | 35 | 1aY | Forte | 50-100 |
| Homsy II (E) | 25 | E-O(34),N-S(34) | O-E | 15-25 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 26 | E-O(32),N-S(32) | N-S | 5-10 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 27 | E-O(34),N-S(34) | N-S | 5-10 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 28 | E-O(20),N-S(22) | N-S | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 29 | E-O(23),N-S(22) | O-E | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| | 30 | E-O(20),N-S(20) | O-E | 0-5 | 1aY | Forte | 50-100 |
| Lessard (F) | 31 | E-O(23),N-S(20) | S-N | 0-5 | 1a | Forte | > 100 |
| | 32 | E-O(36),N-S(34) | N-S | 0-5 | 1a | Forte | > 100 |
| | 33 | E-O(35),N-S(35) | E-O | 5-10 | 1a | Forte | > 100 |
| | 34 | E-O(20),N-S(20) | S-N | 5-10 | 1a | Forte | > 100 |
| | 35 | E-O(35),N-S(35) | E-O | 5-10 | 1a | Forte | > 100 |
| | 36 | E-O(21),N-S(20) | - | - | 1a | Forte | > 100 |
| Paquin (G) | 37 | E-O(33),N-S(34) | N-S | 0-5 | 1a | Forte | > 100 |
| | 38 | E-O(32),N-S(32) | Butte | 5-10 | 1a | Forte | > 100 |
| | 39 | E-O(31),N-S(32) | Butte | 15-20 | 1a | Forte | > 100 |
| | 40 | E-O(19),N-S(21) | E-O | 10-15 | 1a | Forte | > 100 |
| | 41 | E-O(19),N-S(22) | E-O | 10-15 | 1a | Forte | > 100 |
| | 42 | E-O(19),N-S(22) | E-O | 15-20 | 1a | Forte | > 100 |

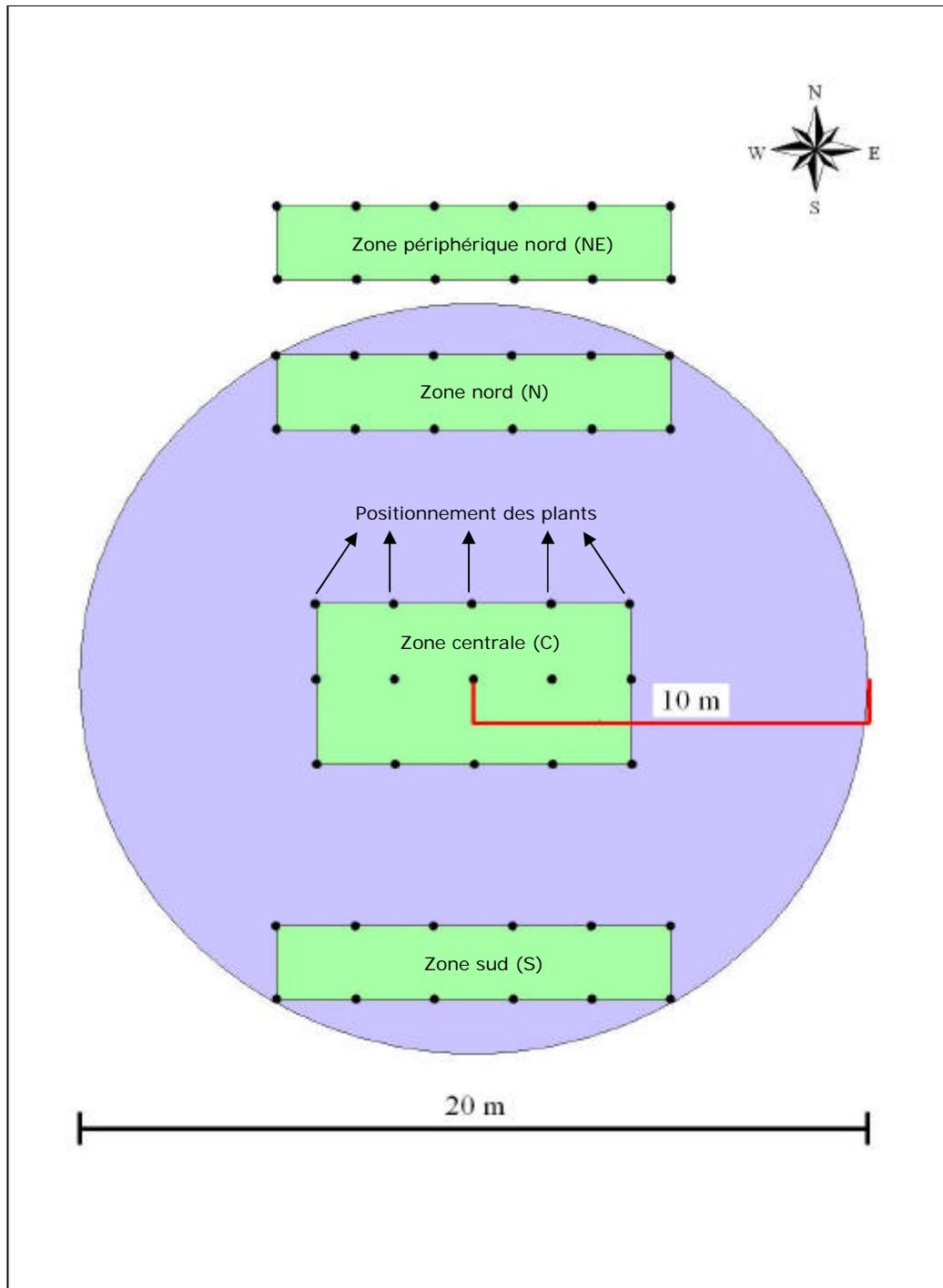


Figure 1. Exemple d'une trouée de 10 m de rayon utilisée dans le dispositif expérimental.

Analyses statistiques

1°/ Dispositif expérimental

L'effort d'échantillonnage des peuplements a été évalué à partir de la distribution de Fisher-Snedecor. Ainsi, il a été estimé qu'un nombre de six peuplements s'avérait suffisant pour avoir des résultats statistiques précis. Par soucis de sécurité, nous avons tout de même

opté pour un échantillonnage de huit peuplements. Toutefois, pour des raisons de non-conformité, un des peuplements pré-sélectionnés a dû être éliminé (Beauchamp) avant analyses et aucun résultat n'est présenté pour ce dernier. Les facteurs principaux des analyses correspondent aux peuplements (ou propriétaires), aux diamètres des trouées et au positionnement des plants dans les trouées. Dans le but de détecter l'effet de chaque source de variation et des interactions potentielles entre celles-ci, des analyses de variance (ANOVA) du type factoriel complet ont été utilisées. Pour des raisons de simplification de l'interprétation des résultats, les trois essences ont été étudiées séparément. On notera d'ailleurs que dans ce dispositif, l'unité expérimentale étudiée s'avère être une moyenne de 3 semis de la même espèce et dans la même position. Les inférences statistiques ne portent donc pas sur des semis individuels, mais bien sur la moyenne d'un ensemble de semis dans la même position. Un seuil alpha de signification statistique de 0.05 a été utilisé pour l'ensemble des analyses. Les comparaisons de moyennes ont été réalisées selon la méthode de Bonferoni ou encore celle du LSD de Fisher lorsque cela s'avérait nécessaire. L'ensemble des analyses statistiques a été réalisé à l'aide du logiciel NCSS (Hintze 2004). Enfin, la signification des différentes abréviations utilisées dans la présentation des résultats pour la description des facteurs principaux est illustrée au tableau 3 alors que les sources et les degrés de liberté associés au dispositif expérimental se retrouvent au tableau 4.

Tableau 3. Abréviations utilisées dans le document.

| Paramètres | Abréviations utilisées |
|------------------------------|------------------------|
| Peuplement (ou propriétaire) | PE |
| Bournival | A |
| Lafortune | B |
| Quévillon | C |
| Homsy I | D |
| Homsy II | E |
| Lessard | F |
| Paquin | G |
| Dimension des trouées | D |
| 10 m | 10 |
| 17 m | 17 |
| Position dans les trouées | P |
| Sud | S |
| Centre | C |
| Nord | N |
| Périphérie nord | NE |

Tableau 4. Sources et degrés de liberté associés au dispositif expérimental.

| Sources | Degrés de liberté |
|-----------------------------|-------------------|
| Peuplement (PE) | 6 |
| Diamètre de la trouée (D) | 1 |
| PE x D | 6 |
| Position dans la trouée (P) | 3 |
| PE x P | 18 |
| D x P | 3 |
| PE x D x P | 18 |
| Erreur | 112 |

2°/ Analyses préliminaires et corrections appliquées aux analyses

Un examen de la hauteur initiale et du diamètre initial des plants reboisés a permis de déceler un problème d'uniformité dans l'état initial des semis. Dans le cas de la hauteur, une analyse préliminaire de variance a révélé que la hauteur initiale des semis de pin blanc après reboisement était significativement différente entre les propriétaires (Tableau 5). Cependant, aucune mesure de correction n'a été appliquée ici, du fait que la différence détectée par le test statistique correspondait à un écart maximal de hauteur de 2 cm (soit moins de 5% de la taille initiale des semis). Ainsi, cette différence a été jugée biologiquement négligeable, c'est-à-dire qu'elle n'aurait aucun impact sur la suite des analyses.

Pour ce qui est du diamètre initial, des différences, cette fois biologiquement significatives, ont été constatées et cela chez les trois essences (Tableau 5). Ces différences initiales pourraient s'expliquer par l'utilisation de différents lots de semis ayant poussés dans des conditions différentes. Cependant, en considérant que la différence de taille initiale était absente ou négligeable, il n'est pas exclu que ces différences de diamètre initial soient simplement dues au hasard. Puisque le nombre de peuplement n'était pas limitant dans cette étude, il a alors été décidé d'éliminer de la base de données (seulement pour les analyses de croissance diamétrale) le peuplement responsable de ces différences soit : Lessard (F) pour le chêne, Homsy II (E) pour le pin et Quévillon (C) pour le cerisier (Tableau 5). On notera ici que l'examen plus approfondi des interactions entre les trois facteurs principaux n'a révélé aucune différence biologiquement significative (résultats non montrés).

Finalement, un problème d'hétéroscédasticité des variances (inégalité des variances) a été détecté chez les trois essences au niveau de la mortalité suite à la présence d'un très grand nombre de valeurs nulles. Malheureusement, cette problématique n'a pu être corrigée d'aucune manière.

Tableau 5. Résultats de l'analyse de variance pour la détection de différences initiales de hauteur et de diamètre immédiatement après le reboisement en fonction des différents peuplements.

| Essence | | Hauteur initiale des plants | Diamètre initial des plants | |
|-----------------|---|-----------------------------|-----------------------------|---|
| | | Tous les peuplements | Tous les peuplements | Sans le peuplement F pour le chêne, le E pour le pin et le C pour le cerisier |
| Chêne rouge | F | 1.51 | 2.85 | 1.40 |
| | P | 0.2047 | 0.0229 | 0.2518 |
| Pin blanc | F | 2.58 | 4.83 | 1.70 |
| | P | 0.0358 | 0.0011 | 0.1650 |
| Cerisier tardif | F | 1.73 | 3.71 | 2.39 |
| | P | 0.1440 | 0.0058 | 0.0617 |

Résultats

Chêne rouge

La hauteur moyenne des plants de chêne dans l'ensemble des peuplements après trois saisons de croissance est de 74.2 cm avec une variation observée au niveau des peuplements de 52.8 à 91.1 cm (Annexe 4). Par ailleurs, la taille des plants a généralement varié avec la position (étant plus grande au centre et plus petite au nord et à l'extérieur de la trouée) excepté dans les peuplements D, E et F où la taille n'a pas varié avec la position (Annexe 1, Figure 2). De façon générale, la croissance diamétrale moyenne a été de 11.6 mm avec une variabilité au niveau des peuplements de 10.4 à 12.9 mm (Annexe 1, Figure 3). Dans tous les peuplements, plus la position des plants était centrale et plus la croissance diamétrale était meilleure (Annexe 1, Figure 3). Parmi les trois essences reboisées, la mortalité enregistrée chez le chêne a été la plus forte, avec un niveau de 18.2%. Cependant, celle-ci a énormément varié entre les peuplements (1.4 à 47.2%) et étant plus forte dans les peuplements D, E et F (Annexe 1, Figure 4). Quant à la mortalité terminale, elle a été particulièrement présente chez le chêne dans tous les peuplements avec un taux moyen de semis atteint de 82.1% (Annexe 4). Finalement, le niveau d'herbivorie observé chez le chêne a été de 23.9% mais celui-ci a été très variable suivant le peuplement (2.8 à 64.6%) et suivant la position (10.7 à 34.9%) (Annexe 1, Figure 5). En effet, les peuplements D, E et F ont été les plus touchés ainsi que les position plus centrales (Figure 5).

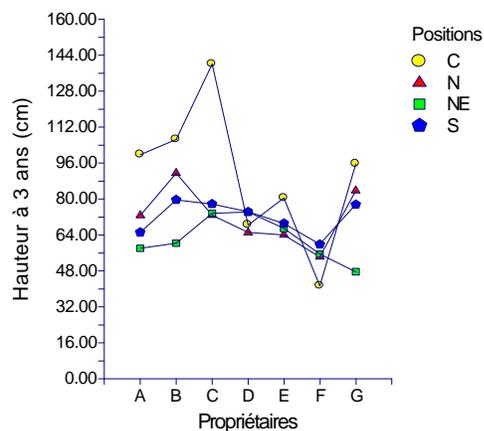


Figure 2. Hauteur des semis de chêne rouge après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées.

D'après l'ensemble de ces résultats, la croissance du chêne rouge semble très dépendante du propriétaire. Si une différence dans la qualité des sites ne peut être écartée, les résultats démontrent que ces différences sont grandement attribuables à l'herbivorie observée chez les propriétaires. En effet, l'herbivorie, plus élevée dans les positions centrales, a chez les propriétaires où le broutage était le plus élevé (D, E et F) complètement annulé les gains de croissance (en hauteur) observés dans ces positions chez les propriétaires où le broutage était faible. Ainsi, dans les peuplements fortement broutés, la position des semis importe peu, alors que pour des peuplements peu broutés, la position centrale semble pouvoir doubler la croissance du chêne. Enfin, la mortalité de cette espèce semble aussi grandement liée au taux d'herbivorie qu'elle subit. En effet, c'est dans les 3 peuplements les plus broutés (D, E et F) que l'on a mesuré les taux de mortalité les plus importants pour le chêne.

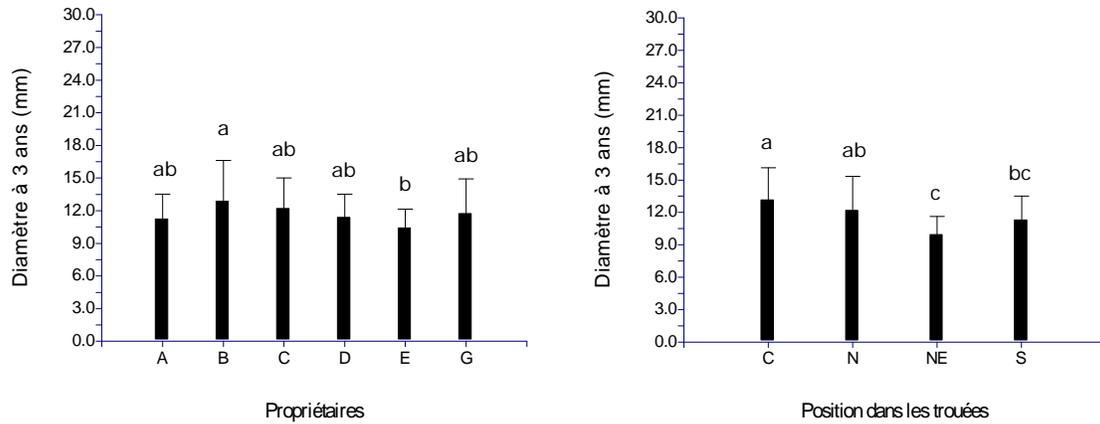


Figure 3. Croissance diamétrale des semis de chêne rouge après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées.

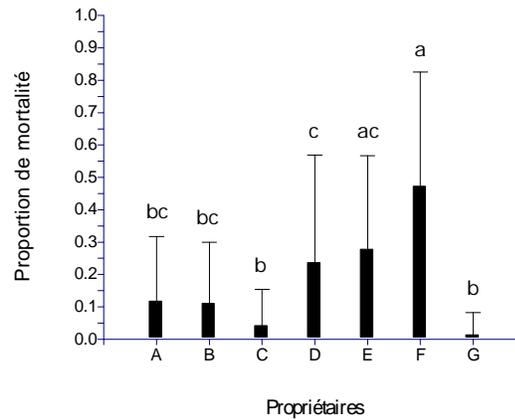


Figure 4. Proportion de mortalité des semis de chêne rouge après trois saisons de croissance en fonction des propriétaires.

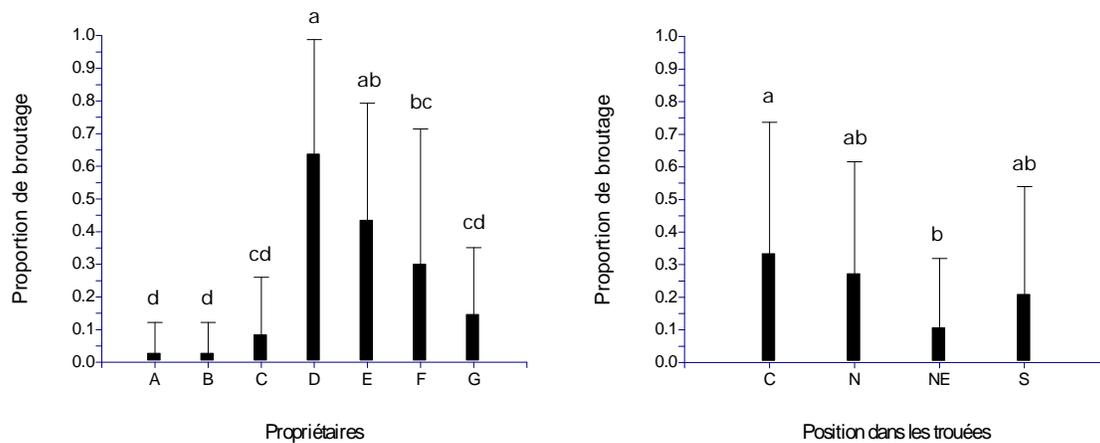


Figure 5. Proportion de broutage sur les semis de chêne rouge après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées.

Pin blanc

Après trois saisons de croissance, la hauteur moyenne des plants de pin reboisés (86.9 cm) dans l'ensemble des peuplements a été supérieure à celle des essences feuillues. Cependant, la hauteur des pins blanc a significativement varié entre les peuplements (de 60.6 à 99.8 cm) et suivant la position dans la trouée (de 51.1 à 113.6 cm) (Annexes 2, 4 et 6). De plus, chez certains peuplements (F et G), l'augmentation de la dimension des trouées a significativement augmenté la taille des semis de pin blanc, alors qu'elle a eu très peu d'impact dans les autres peuplements (Figure 6). De même, il semble que l'augmentation de la taille des trouées a profité au pin blanc d'autant plus qu'il avait une position centrale dans cette trouée (Figure 6). D'un autre côté, la croissance diamétrale moyenne du pin blanc a été de 15.1 mm avec une variabilité de 13.4 à 16.8 mm (Annexe 4). Comme pour la hauteur, l'augmentation de la taille des trouées a significativement augmenté le diamètre du pin blanc mais cette fois-ci sans interaction avec d'autres facteurs (Figure 7). De plus, à l'exception d'un propriétaire (A), on remarque que la position dans la trouée a grandement affecté la croissance diamétrale des plants et que la croissance était d'autant plus forte que la position était centrale (Figure 7).

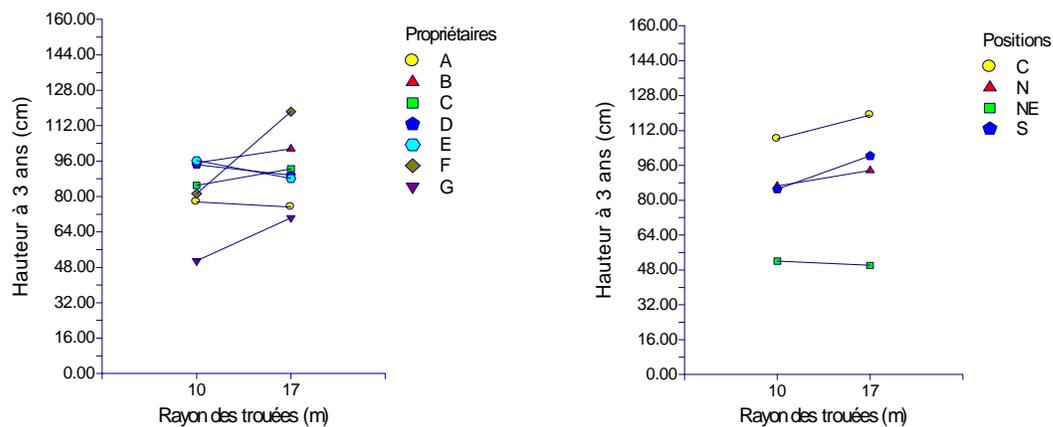


Figure 6. Hauteur des semis de pin blanc après trois saisons de croissance en fonction de la dimension des trouées et des propriétaires ou de la position dans les trouées.

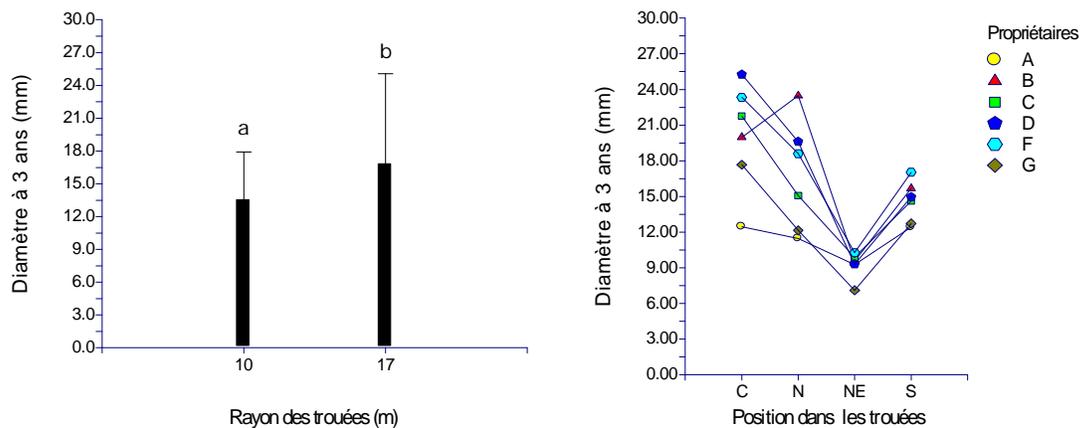


Figure 7. Diamètre des semis de pin blanc après trois saisons de croissance en fonction de la dimension des trouées ou de la relation entre le positionnement dans les trouées et les propriétaires.

En ce qui concerne le niveau d'herbivorie, il a été inférieur à celui observé chez les deux essences feuillues avec un pourcentage de plants touchés de 13.9%. La variabilité du broutage entre les peuplements était en revanche assez élevée (1.4 à 48.6%, Annexe 4) et si l'augmentation de la taille des trouées a significativement diminué le broutage chez certains propriétaires (F et G), elle l'a augmenté chez d'autres (A, D et E) (Annexe 2, Figure 8). Généralement, l'augmentation de la taille des trouées a légèrement diminué le broutage dans toutes les positions excepté en zone périphérique nord où il a augmenté (Figure 8). Enfin, la mortalité des semis de pin blanc a atteint une valeur de 6.0%. De façon intéressante, la mortalité a été plus élevée dans la position NE et cela dans les peuplements ayant subi le broutage le plus élevé (D, E, F et G) (Annexes 4 et 6, Figures 8 et 9). Finalement, la figure 9 illustre que la mortalité terminale du pin blanc semble être équivalente dans toutes les positions de la trouée, excepté chez le propriétaire D où elle a été particulièrement forte en zone périphérique nord.

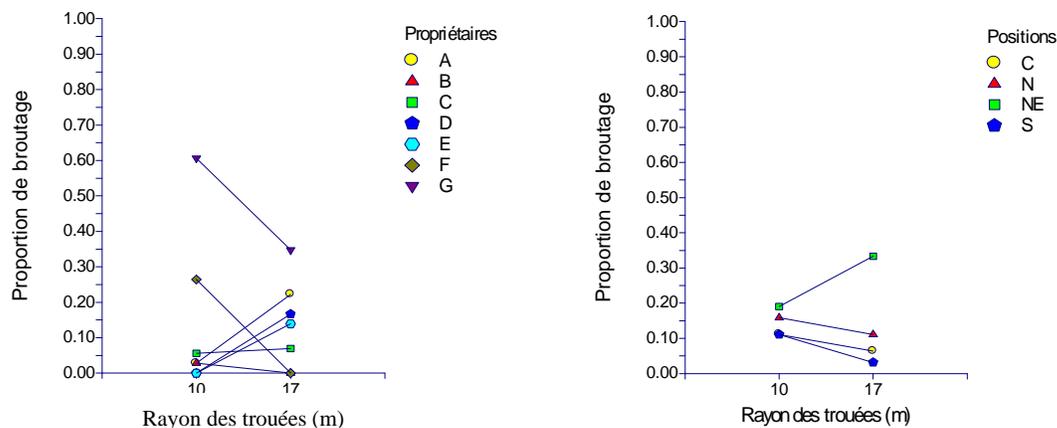


Figure 8. Proportion de broutage des semis de pin blanc en fonction de la relation entre la dimension des trouées et les propriétaires ou la position dans les trouées.

De façon générale, une augmentation du diamètre des trouées a donc augmenté la croissance du pin blanc et cela d'autant plus dans les positions plus centrales. Cependant, pour ce qui est de la hauteur, ces effets positifs d'une ouverture plus importante ont été complètement annulés par une herbivorie plus élevée dans les grandes trouées (cf. propriétaire A, D et E). Enfin, les figures 8 et 9 illustrent bien que la mortalité plus élevée dans la position NE des peuplements D, E, F et G semble associée à l'herbivorie plus élevée dans ces peuplements. En considérant ces résultats, les plus fortes croissances du pin blanc doivent donc être attendues dans les positions les plus centrales des trouées les plus grosses. Cependant, on devra porter attention à l'effet inattendu et opposé (parfois réducteur, parfois amplifiant) de l'augmentation de la taille des trouées sur le broutage suivant les propriétaires. En effet, il sera important de mieux comprendre ces variations puisque qu'elles semblent avoir des effets importants sur la croissance et la mortalité de cette espèce.

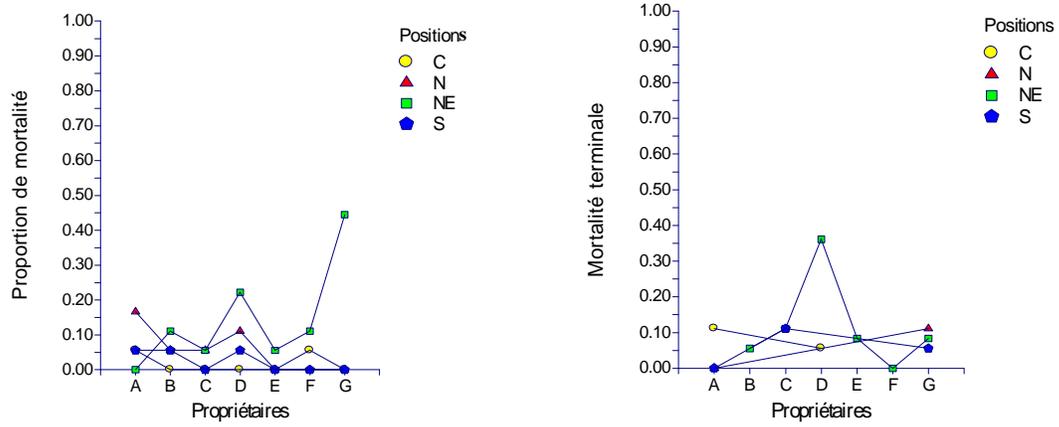


Figure 9. Proportion de mortalité et de mortalité terminale chez les semis de pin blanc après trois saisons de croissance en fonction respectivement des propriétaires et de la position dans les trouées.

Cerisier tardif

La hauteur moyenne des plants de cerisier dans l'ensemble des peuplements après trois saisons de croissance était de 73.1 cm mais celle-ci a distinctement varié entre deux groupes de peuplements, les A, B et C avec une taille moyenne de 89.5 cm et les peuplements D, E, F et G avec une taille moyenne de 60.9 cm (Figure 10). D'un autre côté, la taille moyenne des semis de cerisier a été significativement plus grande lorsque ceux-ci étaient en position plus centrale (Annexe 3, Figure 10). En ce qui concerne le diamètre moyen, il a été de 9.3 mm et a peu varié entre les propriétaires (Annexe 4). De plus, plus le cerisier était au centre de la trouée, plus sa croissance en diamètre a été élevée et les écarts entre positions ont augmenté avec l'augmentation de la taille des trouées (Figure 11). La mortalité enregistrée chez les semis de cerisier, avec un niveau de 4.8%, est la plus faible parmi les trois essences reboisées et elle a peu varié entre les peuplements (0 à 13.9%) (Figure 12). Quant à la mortalité terminale, elle a été très présente chez le cerisier, bien que légèrement inférieure à celle du chêne, avec un taux de semis atteint de 65.1% et variant peu entre peuplements (de 56.9 à 80.6%) (Figure 12). Enfin, le niveau d'herbivorie a varié de 4.2 à 49.3% suivant le peuplement, amenant à une moyenne de 22.1% de plants touchés, très similaire à celle observée chez le chêne. Comme pour la hauteur, deux groupes de peuplements se sont distingués en terme d'herbivorie; un légèrement touché (A, B et C) et l'autre sévèrement touché (D, E, F et G) (Annexe 3, Figure 13).

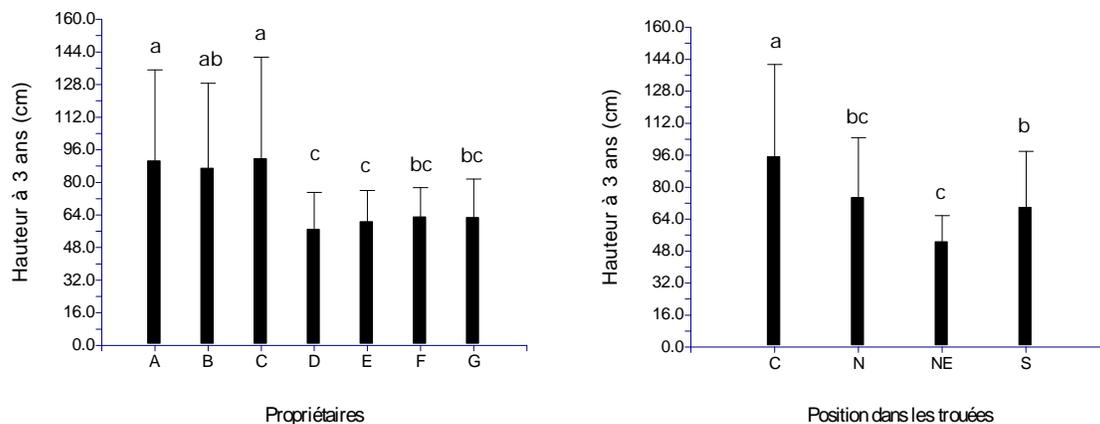


Figure 10. Hauteur des semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires et selon la position à l'intérieur des trouées.

D'après l'ensemble de ces résultats, la croissance des semis de cerisier semble à la fois reliée aux peuplements mais surtout à la position à l'intérieur des trouées. De plus, en augmentant la taille des trouées, l'effet positif sur la croissance semble accrû (surtout pour le diamètre). Le centre des trouées s'avère donc idéal pour la croissance des cerisiers et ce malgré un plus fort taux de broutage noté dans cette position. La périphérie extérieure nord des trouées constitue quant à elle l'endroit le moins propice à la croissance des semis et cela même en ayant le plus faible taux d'herbivorie enregistré parmi toutes les positions. Une conclusion importante est la relation étroite qui lie les différences de croissance en hauteur du cerisier entre les propriétaires et les différences de broutage. En effet, avec tout autre facteur confondu, les propriétaires qui subissent le plus fort broutage (D, E, F et G) sont aussi ceux dont la hauteur du cerisier est la plus faible et l'inverse est également vrai (cf. A, B et C). Ces résultats corroborent le comportement d'essences de lumière comme le cerisier, cependant, une fois encore, ils soulèvent l'importance de surveiller l'effet du broutage qui semble pouvoir grandement affecter la croissance de cette espèce.

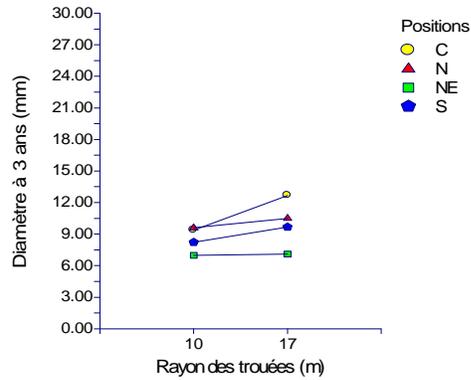


Figure 11. Diamètre des semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance en fonction de la dimension des trouées et de la position des plants dans celles-ci.

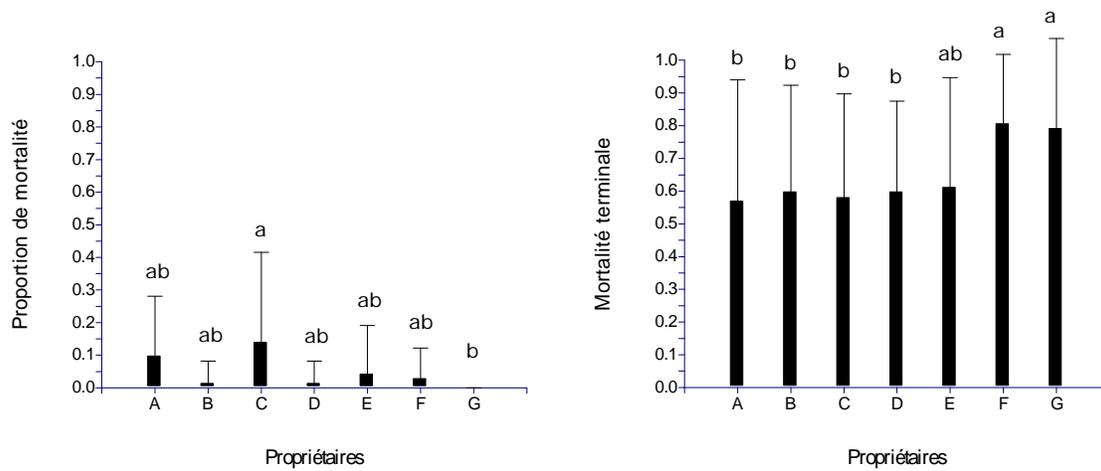


Figure 12. Proportion de mortalité et mortalité terminale chez les semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance chez les différents propriétaires.

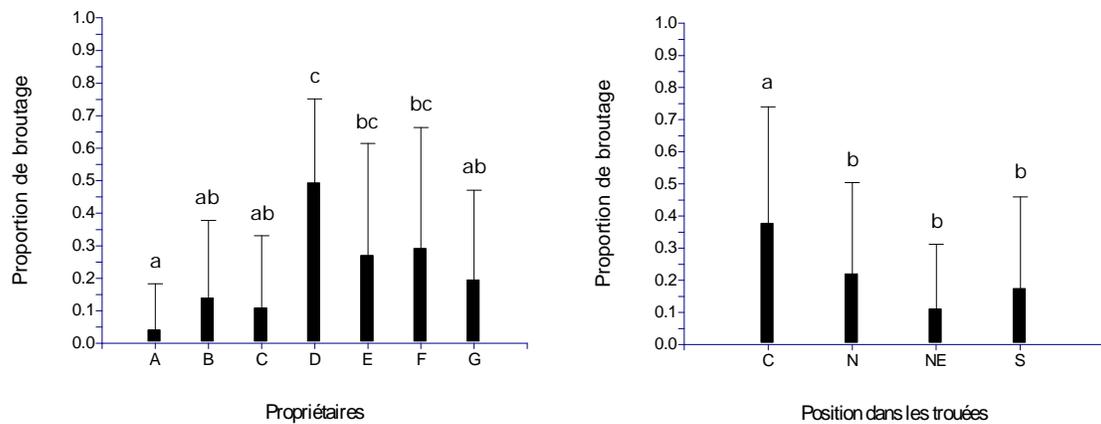


Figure 13. Proportion de broutage chez les semis de cerisier tardif après trois saisons de croissance en fonction des propriétaires et des positions à l'intérieur des trouées.

Discussion

n.b. L'analyse des quelques différences observées dans l'état initial des plants entre certains peuplements nous a permis d'identifier que la procédure d'approvisionnement pourrait être en cause dans certains cas. En effet, si la plupart des différences initiales étaient fortuites et négligeables, le ramassage des plants à la pépinière de Berthierville sur une période plutôt longue, pourrait avoir influencé la taille des plants utilisés pour le reboisement et cela différenciellement pour chaque essence. Si on s'attend à ce que ces différences s'estompent avec le temps, certains peuplements ont du être retirés de l'analyse après 3 ans pour éviter tout biais dans l'interprétation. En effet, l'implantation des plants et leur croissance immédiate après reboisement peuvent être grandement influencée par leur taille au moment de la plantation. Cependant, le dispositif robuste mis en place à l'origine de cette étude n'a pas souffert de l'enlèvement d'un peuplement dans l'analyse de la croissance diamétrale.

Trois saisons de croissance après le reboisement, cette étude réalisée dans la région de Lanaudière nous permet de constater que le cerisier et le pin blanc ont démontré un taux de mortalité relativement faible alors que le chêne a quant à lui montré un taux légèrement plus élevé. De façon intéressante, on observe que les plus fort taux de mortalité chez le chêne sont associés à un broutage particulièrement sévère (Homsy I et II et Lessard). Généralement, la taille de la trouée et la position des plants dans la trouée n'ont pas affecté la mortalité des plants reboisés, excepté chez le pin blanc qui a montré une mortalité légèrement plus élevée en périphérie extérieure nord. Cependant, là encore, cette mortalité a pu être associée à un broutage plus important de cette essence dans cette position.

Au niveau de la mortalité terminale, aucune association n'a pu être faite entre la descente de cime et la mortalité individuelle, et cela chez les trois essences. Seul le pin blanc a démontré une légère tendance à une descente de cime plus importante dans la position nord extérieure, position qui était associée à une mortalité plus grande de cette essence. Néanmoins, la proportion de plants de pin blanc touchés par cette descente de cime (<20%) s'est avérée grandement inférieure à celle des essences feuillues (>60%). La présence d'une telle mortalité terminale chez le chêne et le cerisier amène un questionnement au niveau du facteur causal (déséquilibre entre la biomasse épigée et racinaire au moment de la plantation, présence d'un gel hâtif ou tardif, etc.) cependant, aucune conclusion ne peut être émise à ce sujet pour le moment. L'évolution de la vigueur de ces plants devra toutefois faire l'objet d'une attention particulière afin de déterminer l'effet que cette mortalité terminale pourrait avoir sur la survie, l'architecture future des plants et par conséquent sur la qualité des tiges.

Dans cette étude, il apparaît clairement que la pression exercée par les animaux herbivores est plus importante sur les essences feuillues (et plus particulièrement sur le chêne) que sur le pin blanc. Les résultats indiquent également que l'herbivorie varie énormément en fonction du site. Alors que certains peuplements ont été plutôt épargnés, d'autres ont été particulièrement touchés (Homsy I et II et Lessard). Cette situation est sûrement imputable à la qualité d'habitat qui peut varier grandement d'un peuplement à l'autre. La présence accrue de ces herbivores dans certains peuplements peut avoir des conséquences importantes du fait que le reboisement a été effectué dans des trouées. En effet, en ce qui concerne le cerf de Virginie, le repérage des plants s'avère bien plus aisé dans les trouées qu'en sous-couvert ce qui expliquerait le broutage particulièrement élevé des essences feuillues. D'un autre côté, le pin a plus été brouté en périphérie extérieure de trouée et cela principalement dans un peuplement (Paquin). Dans ce cas, l'espèce herbivore à soupçonner serait davantage le lièvre d'Amérique qui possède une stratégie d'alimentation fort différente de celle du cerf en n'accédant que très rarement aux milieux ouverts. Il a plutôt tendance à se nourrir dans les lisières boisées où le couvert de fuite est rapidement accessible.

Finalement, en terme de croissance, la hauteur des plants suivis après trois saisons de croissance est passablement similaire entre les trois essences. Le pin blanc, grâce à sa très bonne implantation sur les sites sélectionnés (faible descente de cime) et à son appétence aux herbivores moins élevée comparativement aux feuillus domine légèrement parmi les trois essences reboisées. Le broutage élevé et la descente de cime très importante chez le cerisier et le chêne sont donc directement responsables de leur croissance relativement décevante. Cependant, il est intéressant de noter que le broutage ne semble pas avoir été assez sévère pour affecter la croissance diamétrale des individus. L'herbivorie observée se retrouverait donc principalement au niveau de la flèche terminale, affectant ainsi grandement le facteur « hauteur » mais n'impliquant pas de perte de biomasse individuelle importante. Donc, même si le broutage ne semble pas devoir détruire tous les efforts mis dans ce type de reboisement il est important de reconnaître que dans les peuplements où la population d'herbivore est importante, le broutage peut annuler tout gain (en croissance verticale) qui pourrait normalement être attendu en augmentant par exemple la taille des trouées ou en plaçant les individus dans une position plus centrale dans la trouée. D'ailleurs fait intéressant, l'effet de la position dans la trouée a affecté les trois essences de façon similaire en sachant que: 1) le centre constitue l'endroit de prédilection pour la croissance en hauteur des plants, 2) le nord et le sud représentent des lieux propices bien que moins performants, 3) la périphérie extérieur nord s'avère vraiment inappropriée comme site d'enrichissement. Finalement si le cerisier et le pin ont profité de trouées plus grandes, le chêne a semblé indépendant de la variation de ce facteur.

Conclusion

Après trois saisons de croissance, la position centrale dans la trouée s'est révélée comme celle offrant la meilleure opportunité de croissance et cela pour les trois essences reboisées. De plus, il semblerait plus opportun de reboiser le pin et le cerisier dans les plus grandes trouées puisque ceux-ci semblent en profiter. Cependant, le potentiel de croissance des plants enrichis s'est révélé très dépendant du niveau d'herbivorie. En effet, on a constaté que les écarts de croissance entre peuplements étaient généralement associés au niveau de broutage dans ces peuplements. De même, dans les peuplements les plus broutés, on a pu remarquer, à cause du broutage, une annulation des gains de croissance (le plus souvent en hauteur) qui étaient autrement observés en réponse, par exemple, à une meilleure position dans la trouée.

Par conséquent, les résultats de cette étude nous indiquent d'abord qu'une diversification des essences reboisées est profitable puisqu'elle permet d'éviter deux problématiques importantes reliées à un reboisement mono-spécifique : i) la mauvaise adaptation au site et ii) le ravage par un herbivore particulièrement bien adapté à l'essence reboisée. Cette diversification est d'autant plus pertinente en l'absence d'une connaissance de la qualité des sites et de la population locale d'herbivore. Cependant, dans un contexte où des efforts importants sont investis dans le retour d'essences nobles au sein de peuplements dégradés, il va être fortement recommandé d'évaluer les populations d'herbivores (p.ex. le cerf de Virginie et le lièvre d'Amérique) pour ajuster les prescriptions sylvicoles et minimiser leur effet néfaste.

Les résultats obtenus jusqu'à maintenant par l'entremise de cette étude soulèvent des problématiques très intéressantes dont il faudra assurément faire le suivi. D'ailleurs, la cueillette de nouvelles informations dans deux ans (après cinq saisons de croissance) combinée à un financement additionnel permettra de suivre l'évolution de ces interactions critiques et représentera l'occasion parfaite de diffuser les conclusions de cette étude à plus grande échelle. Pour le moment, les observations actuelles concernant l'enrichissement en essences nobles suite à un traitement de jardinage par trouées laissent entrevoir des possibilités très intéressantes pour la région de Lanaudière dans l'amélioration des peuplements dégradés ou encore faiblement stockés en essences désirées. En effet, si on fait exception de la présence d'herbivorie sur certains sites et de la difficulté des plants à croître sous couvert en périphérie des ouvertures, les croissances observées chez les trois essences reboisées s'avèrent impressionnantes et la qualité des tiges prometteuse pour l'avenir.

Références

- Beaudet, M. et C. Messier. 1997.** Le bouleau jaune en peuplements feuillus et mixtes : autoécologie, dynamique forestière et pratiques sylvicoles. Groupe de recherche en écologie forestière (GREF), Université du Québec à Montréal, Québec. 56 p.
- Dale, M.E., H.C. Smith et J.N. Percy. 1995.** Size of clearcut opening affects species composition, growth rate, and stand characteristics. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-698. 21 p.
- Demetry, A. 1995.** Regeneration patterns within canopy gaps in a giant sequoia-mixed conifer forest : implications for forest restoration. M. Sc. Thesis. Northern Arizona University, Flagstaff, AZ.
- Denslow, J.S., J.C. Schultz, P.M. Vitousek et B.R. Strain. 1990.** Growth responses of tropical shrubs to treefall gap environments. *Ecology* (Tempe) 7: 165-179.
- Gray, A.N. et T.A. Spies. 1996.** Gap size, within-gap position and canopy structure effects on conifer seedling establishment. *J. Ecol.* 84 (5): 635-645.
- Hintze, J. L. 2004.** NCSS and Pass. Number Cruncher Statistical Systems. Kaysville, Utah, USA. WWW.NCSS.COM.
- Jenkins, M.A. et G.R. Parker. 1998.** Composition and diversity of woody vegetation in silvicultural openings in southern Indiana forests. *For. Ecol. Manage.* 109: 57-74.
- Leak, W.B. et S.M. Filip. 1977.** Thirty-eight years of group selection in New England northern hardwoods. *J. For.* 75: 641-643.
- McClure, J.W. et T.D. Lee. 1993.** Small-scale disturbance in a northern hardwood forest : effects on tree species abundance and distribution. *Can. J. For. Res.* 23: 1347-1360.
- Palik, B.J., R.J. Mitchell, G. Houseal et N. Pederson. 1997.** Effects of canopy structure on resource availability and seedling responses in a longleaf pine ecosystem. *Can. J. For. Res.* 27: 1458-1464.
- Payette, S., L. Filion et A. Delwaide. 1990.** Disturbance regime of a cold temperate forest as deduced from tree-ring patterns : the Tantaré Ecological Reserve, Quebec. *Can. J. For. Res.* 20: 1228-1241.
- Phillips, D.L. et D.J. Shure. 1990.** Patch-size effects on early succession in southern Appalachian forests. *Ecology* 71 : 204-212.
- Robitaille, A. et J.-P. Saucier. 1998.** Paysages régionaux du Québec méridional. Publications du Québec, Sainte-Foy, Québec. 213 p.
- Runkle, J.R. 1982.** Patterns of disturbance in some old-growth mesic forests of eastern North America. *Ecology* 63: 1533-1546.
- Saucier, J.-P., J.F. Bergeron, P. Grondin et P. Robitaille. 1998.** Les régions écologiques du Québec méridional (3e version): un des éléments du système hiérarchique de classification écologique du territoire mis au point par le ministère des Ressources naturelles du Québec. *L'Aubelle* 124: 1-12.
- Smith, H.C. 1981.** Diameters of clearcut openings influence central Appalachian hardwood stem development – a 10-year study. USDA For. Serv. Res. Pap. NE-476. 8 p.
- York, R.A., J.J. Battles et R.C. Heald. 2003.** Edge effects in mixed conifer group selection openings: tree height response to resource gradients. *For. Ecol. Manage.* 179 : 107-121.

ANNEXES

ANNEXE I

**Résultats des analyses statistiques en factoriels pour
chacun des paramètres mesurés sur les plants reboisés de chêne rouge**

| Hauteur après 3 ans – Chêne rouge | | | | |
|-----------------------------------|-----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 3147.02 | 4.85 | 0.0002 |
| Diamètres (D) | 1 | 1911.50 | 1.57 | 0.2566 |
| PE x D | 6 | 1216.35 | 1.87 | 0.0923 |
| Positions (P) | 3 | 5304.36 | 4.27 | 0.0192 |
| PE x P | 18 | 1241.57 | 1.91 | 0.0223 |
| D x P | 3 | 422.97 | 0.81 | 0.5060 |
| PE x D x P | 18 | 523.71 | 0.81 | 0.6890 |
| Erreur | 105 | 649.53 | | |

| Diamètre après 3 ans – Chêne rouge (sans le peuplement F) | | | | |
|---|----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 5 | 16.65 | 2.85 | 0.0192 |
| Diamètres (D) | 1 | 7.33 | 0.55 | 0.4909 |
| PE x D | 5 | 13.28 | 2.28 | 0.0531 |
| Positions (P) | 3 | 61.35 | 8.21 | 0.0018 |
| PE x P | 15 | 7.48 | 1.28 | 0.2295 |
| D x P | 3 | 9.20 | 2.23 | 0.1265 |
| PE x D x P | 15 | 4.12 | 0.71 | 0.7723 |
| Erreur | 93 | 5.83 | | |

| Proportion de mortalité après 3 ans – Chêne rouge | | | | |
|---|-----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 4790.34 | 9.81 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 54.91 | 0.28 | 0.6148 |
| PE x D | 6 | 195.05 | 0.40 | 0.8780 |
| Positions (P) | 3 | 261.61 | 0.43 | 0.7336 |
| PE x P | 18 | 607.55 | 1.24 | 0.2395 |
| D x P | 3 | 245.71 | 0.55 | 0.6557 |
| PE x D x P | 18 | 448.14 | 0.92 | 0.5589 |
| Erreur | 112 | 488.29 | | |

| Proportion de broutage après 3 ans – Chêne rouge | | | | |
|--|-----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 9459.33 | 16.38 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 38.86 | 0.10 | 0.7575 |
| PE x D | 6 | 371.92 | 0.64 | 0.6946 |
| Positions (P) | 3 | 3154.08 | 8.80 | 0.0008 |
| PE x P | 18 | 358.42 | 0.62 | 0.8762 |
| D x P | 3 | 404.80 | 0.96 | 0.4344 |
| PE x D x P | 18 | 423.08 | 0.73 | 0.7704 |
| Erreur | 105 | 577.32 | | |

| Mortalité terminale après 3 ans – Chêne rouge | | | | |
|---|-----|------------------|------|--------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 483.16 | 0.80 | 0.5742 |
| Diamètres (D) | 1 | 483.18 | 3.73 | 0.1015 |
| PE x D | 6 | 129.41 | 0.21 | 0.9718 |
| Positions (P) | 3 | 908.12 | 0.93 | 0.4474 |
| PE x P | 18 | 978.57 | 1.61 | 0.0694 |
| D x P | 3 | 130.02 | 0.25 | 0.8580 |
| PE x D x P | 18 | 513.33 | 0.85 | 0.6419 |
| Erreur | 105 | 606.09 | | |

ANNEXE II

**Résultats des analyses statistiques en factoriels pour
chacun des paramètres mesurés sur les plants reboisés de pin blanc**

| Hauteur après 3 ans – Pin blanc | | | | |
|---------------------------------|-----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 6 | 4456.31 | 10.71 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 2574.46 | 1.72 | 0.2378 |
| PE x D | 6 | 1498.22 | 3.60 | 0.0027 |
| Positions (P) | 3 | 27921.74 | 57.02 | 0.0000 |
| PE x P | 18 | 489.66 | 1.18 | 0.2925 |
| D x P | 3 | 555.71 | 4.53 | 0.0155 |
| PE x D x P | 18 | 122.60 | 0.29 | 0.9977 |
| Erreur | 111 | 416.08 | | |

| Diamètre après 3 ans – Pin blanc (sans le peuplement E) | | | | |
|---|----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 5 | 165.32 | 8.16 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 410.86 | 12.09 | 0.0177 |
| PE x D | 5 | 33.97 | 1.68 | 0.1478 |
| Positions (P) | 3 | 728.72 | 19.24 | 0.0000 |
| PE x P | 15 | 37.88 | 1.87 | 0.0361 |
| D x P | 3 | 51.21 | 2.76 | 0.0783 |
| PE x D x P | 15 | 18.53 | 0.91 | 0.5511 |
| Erreur | 95 | 20.27 | | |

| Proportion de mortalité après 3 ans – Pin blanc | | | | |
|---|-----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 6 | 241.88 | 1.17 | 0.3301 |
| Diamètres (D) | 1 | 0 | 0 | 1.0000 |
| PE x D | 6 | 98.69 | 0.48 | 0.8254 |
| Positions (P) | 3 | 1162.97 | 3.12 | 0.0518 |
| PE x P | 18 | 372.74 | 1.80 | 0.0342 |
| D x P | 3 | 36.66 | 0.21 | 0.8860 |
| PE x D x P | 18 | 171.97 | 0.83 | 0.6637 |
| Erreur | 112 | 207.60 | | |

| Proportion de broutage après 3 ans – Pin blanc | | | | |
|--|-----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 4554.15 | 13.82 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 12.95 | 0.01 | 0.9380 |
| PE x D | 6 | 1966.56 | 5.97 | 0.0000 |
| Positions (P) | 3 | 2485.91 | 5.99 | 0.0052 |
| PE x P | 18 | 415.28 | 1.26 | 0.2284 |
| D x P | 3 | 897.89 | 4.32 | 0.0185 |
| PE x D x P | 18 | 207.90 | 0.63 | 0.8685 |
| Erreur | 111 | 329.58 | | |

| Mortalité terminale après 3 ans – Pin blanc | | | | |
|---|-----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | Df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 304.86 | 2.14 | 0.0546 |
| Diamètres (D) | 1 | 16.51 | 0.14 | 0.7258 |
| PE x D | 6 | 122.12 | 0.86 | 0.5297 |
| Positions (P) | 3 | 600.19 | 2.15 | 0.1299 |
| PE x P | 18 | 279.58 | 1.96 | 0.0178 |
| D x P | 3 | 96.81 | 0.87 | 0.4742 |
| PE x D x P | 18 | 111.11 | 0.78 | 0.7206 |
| Erreur | 111 | 142.66 | | |

ANNEXE III

**Résultats des analyses statistiques en factoriels pour
chacun des paramètres mesurés sur les plants reboisés de cerisier tardif**

| Hauteur après 3 ans – Cerisier tardif | | | | |
|---------------------------------------|-----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | Df | Somme des carrés | F | p |
| Peuplements (PE) | 6 | 5674.69 | 6.86 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 393.47 | 0.30 | 0.6065 |
| PE x D | 6 | 1332.90 | 1.61 | 0.1504 |
| Positions (P) | 3 | 12811.48 | 10.74 | 0.0003 |
| PE x P | 18 | 1193.39 | 1.44 | 0.1257 |
| D x P | 3 | 423.20 | 1.54 | 0.2394 |
| PE x D x P | 18 | 275.51 | 0.33 | 0.9951 |
| Erreur | 111 | 826.93 | | |

| Diamètre après 3 ans – Cerisier tardif (sans le peuplement C) | | | | |
|---|----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | Df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 5 | 15.40 | 2.16 | 0.0652 |
| Diamètres (D) | 1 | 74.03 | 7.99 | 0.0368 |
| PE x D | 5 | 9.27 | 1.30 | 0.2713 |
| Positions (P) | 3 | 105.26 | 36.37 | 0.0000 |
| PE x P | 15 | 2.89 | 0.41 | 0.9745 |
| D x P | 3 | 16.42 | 9.48 | 0.0009 |
| PE x D x P | 15 | 1.73 | 0.24 | 0.9983 |
| Erreur | 96 | 7.14 | | |

| Proportion de mortalité après 3 ans – Cerisier tardif | | | | |
|---|-----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | Df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 6 | 541.73 | 2.98 | 0.0098 |
| Diamètres (D) | 1 | 1185.68 | 3.85 | 0.0972 |
| PE x D | 6 | 307.58 | 1.69 | 0.1301 |
| Positions (P) | 3 | 183.25 | 1.11 | 0.3704 |
| PE x P | 18 | 164.88 | 0.91 | 0.5732 |
| D x P | 3 | 37.57 | 0.28 | 0.8411 |
| PE x D x P | 18 | 135.55 | 0.74 | 0.7585 |
| Erreur | 112 | 182.08 | | |

| Proportion de broutage après 3 ans – Cerisier tardif | | | | |
|--|-----|------------------|-------|---------------|
| Sources de variation | Df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 6 | 4100.96 | 8.02 | 0.0000 |
| Diamètres (D) | 1 | 2470.54 | 4.78 | 0.0715 |
| PE x D | 6 | 517.24 | 1.01 | 0.4218 |
| Positions (P) | 3 | 4296.48 | 13.12 | 0.0001 |
| PE x P | 18 | 327.59 | 0.64 | 0.8604 |
| D x P | 3 | 790.93 | 1.67 | 0.2086 |
| PE x D x P | 18 | 473.10 | 0.92 | 0.5507 |
| Erreur | 111 | 511.55 | | |

| Mortalité terminale après 3 ans – Cerisier tardif | | | | |
|---|-----|------------------|------|---------------|
| Sources de variation | Df | Somme des carrés | F | P |
| Peuplements (PE) | 6 | 1655.88 | 2.41 | 0.0317 |
| Diamètres (D) | 1 | 534.72 | 0.96 | 0.3641 |
| PE x D | 6 | 554.67 | 0.81 | 0.5669 |
| Positions (P) | 3 | 1942.93 | 2.42 | 0.0998 |
| PE x P | 18 | 803.36 | 1.17 | 0.2999 |
| D x P | 3 | 352.57 | 0.56 | 0.6483 |
| PE x D x P | 18 | 629.69 | 0.92 | 0.5615 |
| Erreur | 111 | 687.72 | | |

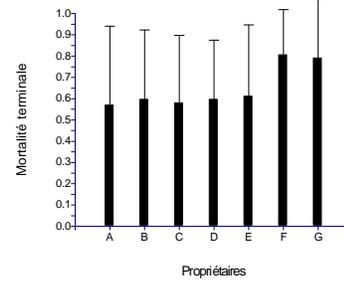
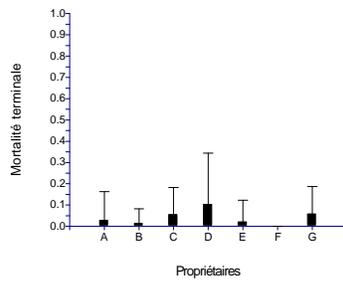
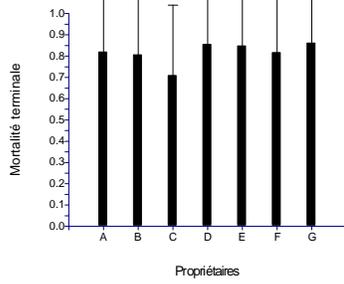
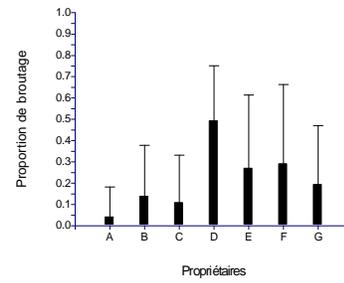
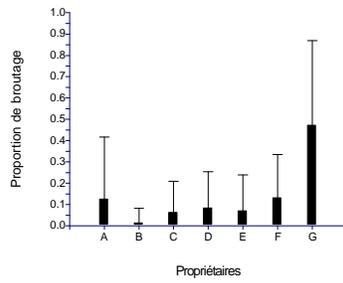
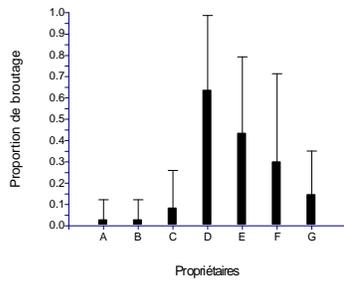
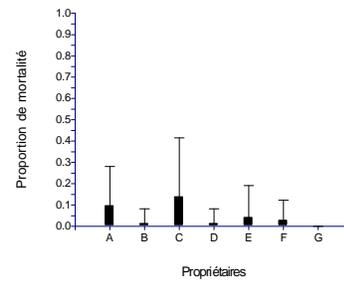
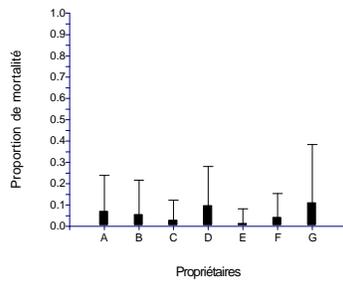
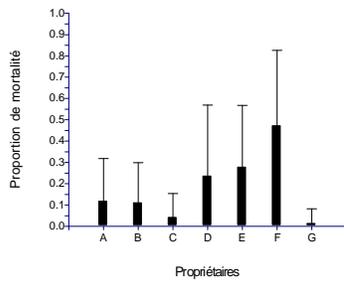
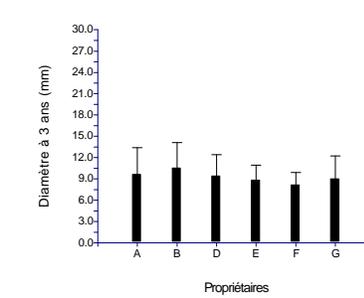
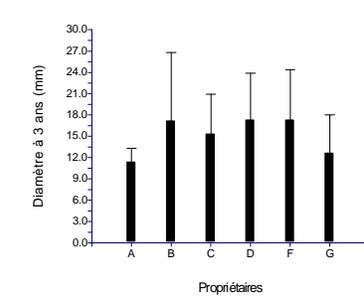
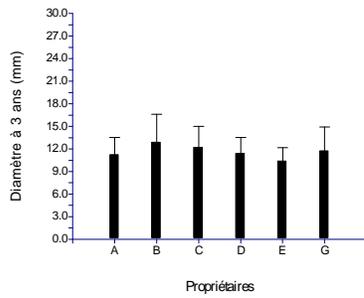
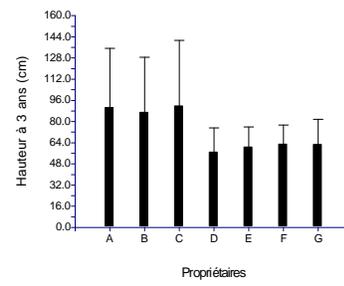
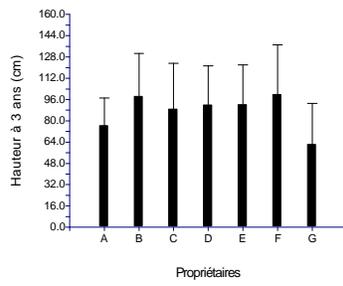
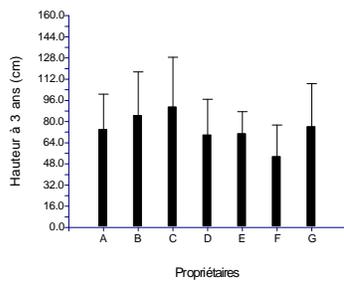
ANNEXE IV

**Valeurs moyennes et écart-types des paramètres mesurés chez le chêne rouge,
le pin blanc et le cerisier tardif dans les peuplements étudiés**
(Moyennes calculées à partir de la moyenne de trois semis par position)
(Voir le tableau 5 pour les abréviations)

Chêne rouge

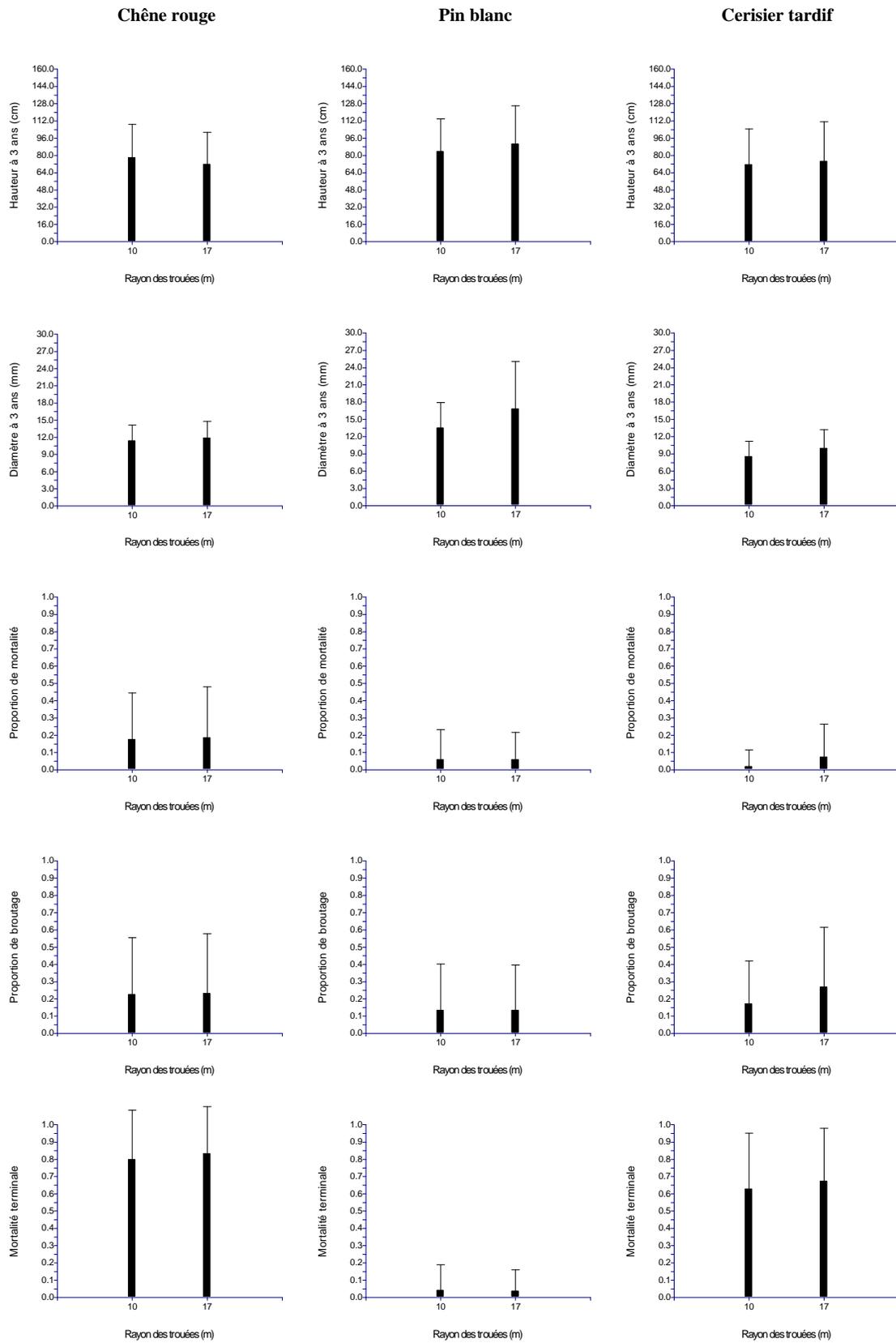
Pin blanc

Cerisier tardif



ANNEXE V

**Valeurs moyennes et écart-types des paramètres mesurés chez le chêne rouge,
le pin blanc et le cerisier tardif dans les deux dimensions de trouées étudiées**
(Moyennes calculées à partir de la moyenne de trois semis par position)
(Voir le tableau 5 pour les abréviations)



ANNEXE VI

**Valeurs moyennes et écart-types des paramètres mesurés chez le chêne rouge,
le pin blanc et le cerisier tardif dans les quatre positions étudiées**
(Moyennes calculées à partir de la moyenne de trois semis par position)
(Voir le tableau 5 pour les abréviations)

Chêne rouge

Pin blanc

Cerisier tardif

