

PROGRAMME DE MISE EN VALEUR DES RESSOURCES DU MILIEU FORESTIER – VOLET 1

Rapport final

SUIVI DES TRAVAUX DE DÉGAGEMENT DE LA RÉGÉNÉRATION NATURELLE DE BOULEAU JAUNE DANS L'ÉRABLIÈRE À BOULEAU JAUNE DE L'OUTAOUAIS : MESURE APRÈS UN DEUXIÈME DÉGAGEMENT À 26 ANS

Présenté au :

**Ministère des Ressources
naturelles et de la Faune**

Christian Pilon, chef de l'U.G. 71-72
Danny Jean, ing.f.

Et :

Compagnie Commonwealth Plywood Ltée
Christian Picard, ing.f.

Par :



Centre d'enseignement et de recherche
en foresterie de Sainte-Foy inc.

Sylvie Côté, ing.f., M.Sc.
Philippe Bournival, ing.f., M.Sc.
Donald Blouin, ing.f., M.Sc.
Guy Lessard, ing.f., M.Sc.

Juin 2011

Référence à citer :

Côté, S., P. Bournival, D. Blouin et G. Lessard. 2011. Suivi des travaux de dégagement de la régénération naturelle de bouleau jaune dans l'érablière à bouleau jaune de l'Outaouais : mesure après un deuxième dégagement à 26 ans. CERFO. Rapport 2011-18. 49 pages + 4 annexes.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES	II
LISTE DES TABLEAUX.....	II
REMERCIEMENTS	III
RÉSUMÉ	1
INTRODUCTION.....	3
1. CONTEXTE.....	4
2. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES.....	9
3. MÉTHODOLOGIE	10
3.1. Localisation du secteur à l'étude	10
3.2. Description du dispositif.....	11
3.3. Dimension des placettes et variables mesurées.....	14
3.4. Description des traitements.....	16
3.5. Caractéristiques des arbres étudiés des principales espèces en 1995 et en 2010.....	18
3.6. Compilations et analyses statistiques.....	20
4. RÉSULTATS.....	22
4.1. Caractéristiques du peuplement.....	22
4.1.1. Densité moyenne du peuplement.....	22
4.1.2. Diamètre moyen du peuplement	26
4.2. Caractéristiques des arbres étudiés	29
4.2.1. Diamètre	29
4.2.2. Hauteur	30
4.2.3. Hauteur de la première branche	32
4.2.4. Largeur de cime (Lc)	34
4.2.5. Rapport hauteur/diamètre (H/D).....	35
4.2.6. Coefficient d'espace vital (CEV).....	36
4.2.7. Distance par rapport à la compétition	37
4.2.8. Autres caractéristiques des arbres étudiés.....	39
5. DISCUSSION.....	40
5.1. Effet sur les essences non désirées	40
5.2. Effet sur les caractéristiques des arbres étudiées	40
5.3. Conduite de peuplement.....	41
5.4. Difficultés de la taille de formation.....	41
6. RECOMMANDATIONS	43
6.1. Recommandations pour la taille de formation	43
6.2. Recommandations pour la conduite de peuplement.....	43
6.3. Recommandations pour les suivis	44
CONCLUSION	45
RÉFÉRENCES.....	46
ANNEXE 1. LOCALISATION DU DISPOSITIF.....	50
ANNEXE 2. FORMULAIRE DE PRISE DE DONNÉES	51
ANNEXE 3. RÉSULTATS DÉTAILLÉS POUR LES DENSITÉS	52
ANNEXE 4. RÉSULTATS DÉTAILLÉS POUR LES ARBRES ÉTUDES.....	54

LISTE DES FIGURES

Figure 1. Réserve faunique Papineau-Labelle.....	11
Figure 2. Localisation des unités expérimentales à l'intérieur du dispositif	13
Figure 3. Méthode appliquée pour déterminer la libre croissance d'une tige utile	15
Figure 4. Densité des essences désirées par bloc, traitement et année d'inventaire	25
Figure 5. Densité des essences non désirées par bloc, traitement et année d'inventaire	26
Figure 6. Comparaison des densités d'érable rouge par unité expérimentale lors des inventaires de 1998, 2008 et 2010.....	26
Figure 7. Comparaison de la hauteur des bouleaux jaunes par unité expérimentale lors des inventaires de 2008 et 2010 (avant et après le second dégagement)	32
Figure 8. DHP de l'arbre étude en fonction de la distance de la compétition pour chaque essence.....	38
Figure 9. Hauteur de l'arbre étude en fonction de la distance de la compétition pour chaque essence.....	38

LISTE DES TABLEAUX

Tableau 1. Portrait du bouleau jaune et de l'érable à sucre moyen en 1995 – moyenne et double écart-type.....	19
Tableau 2. Portrait des arbres études moyens des bouleaux jaunes et érables à sucre en 2010 – moyenne et double écart-type	19
Tableau 3. Densité moyenne (ti/ha), par traitement, des principales espèces rencontrées dans le dispositif.....	22
Tableau 4. Composition (% du nb ti/ha par essence) par traitement	23
Tableau 5. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de densité par catégorie d'essences (désirées ou non).....	24
Tableau 6. Diamètre moyen du peuplement par essence et par traitement.....	28
Tableau 7. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de diamètre moyen par essence et par traitement	29
Tableau 8. Diamètre moyen et fréquence (N) des arbres études par essence et par traitement	30
Tableau 9. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de diamètre par essence et par traitement	30
Tableau 10. Hauteur moyenne des arbres études par essence et par traitement	31
Tableau 11. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de hauteur par essence et par traitement.....	32
Tableau 12. Hauteur moyenne de la première branche des arbres études par essence et par traitement.....	33
Tableau 13. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de hauteur de la première branche par essence et par traitement	34
Tableau 14. Largeur de cime moyenne des arbres études par essence et par traitement.....	34
Tableau 15. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de largeur de cime par essence et par traitement	35
Tableau 16. Rapport H/D moyen des arbres études par essence et par traitement.....	35
Tableau 17. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de H/D par essence et par traitement.....	36
Tableau 18. Coefficient d'espace vital moyen des arbres études par essence et par traitement.....	36
Tableau 19. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de coefficient d'espace vital par essence et par traitement	37

REMERCIEMENTS

Nous désirons d'abord remercier le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, région de l'Outaouais, Unité de gestion Basse-Lièvre, pour le financement de ce projet *via* le programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier (PMVRMF)-Volet 1.

Nous désirons également remercier M. Christian Picard, de Commonwealth Plywood Ltée pour son appui au projet en tant que bénéficiaires de CAAF, et les membres de l'équipe de Luc St-Hilaire, des Conseillers forestiers de l'Outaouais, pour la réalisation des travaux et la cueillette des données sur le terrain.

RÉSUMÉ

Un dispositif expérimental comportant 6 blocs de 4 unités expérimentales chacun a été établi en 1995 dans un gaulis de 11 ans du secteur de la Réserve faunique de Papineau-Labelle. Le dispositif est situé dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. Chaque bloc est constitué d'une unité expérimentale témoin, d'une unité dégagée par puits de lumière, d'une unité ayant fait l'objet d'un dégagement de la cime avec une taille de formation et d'une unité dont la cime a été dégagée sans taille de formation. En 2008, une remesure des caractéristiques dendrométriques a été effectuée. Suite à un diagnostic de compétition encore élevée par endroits et dans un souci de produire du bois de très haute qualité, un deuxième dégagement à l'européenne a été effectué en 2010. Dans le dispositif, 3 blocs ont fait l'objet d'un nouveau traitement de dégagement dans le peuplement alors âgé de 26 ans. Dans ces 3 blocs, le même traitement de dégagement a été appliqué une seconde fois dans les blocs préalablement traités, et les témoins ont fait l'objet d'un dégagement de cimes tardif.

Les principaux effets observés à la suite des dégagements concernent les essences non désirées. On peut en effet observer qu'il y a tendance à y avoir une plus grande proportion d'essences non désirées dans le témoin, alors que cette proportion est généralement plus faible dans les stations présentant un deuxième dégagement. Il semble donc que le double dégagement de cimes permette un meilleur contrôle de la compétition. Le principal effet de dégagement observé concerne l'érable rouge dont la densité et le diamètre moyen ont été réduits à la suite des seconds dégagements.

Les caractéristiques des arbres étudiés varient principalement selon l'espèce d'arbre. Les essences désirées intolérantes à l'ombre présentes (CET et BOP) se sont développées davantage (plus fort DHP, plus grande hauteur, plus grosse cime, ratio H/D plus faible) par rapport aux essences désirées, notamment le bouleau jaune. Le cerisier tardif et le bouleau à papier étant plus grands que les bouleaux jaunes ou les érables à sucre. Dans une optique d'intensification de l'aménagement, la présence de ces tiges à ce stade de développement est très intéressante puisqu'elle permettra de rentabiliser les prochains travaux d'éclaircie commerciale. La culture en futaie régulière (équienne) est une tactique sylvicole valable, notamment pour la revitalisation de

forêts dégradées. Suivi d'un dégagement, elle permet de constituer une cohorte de tiges utiles de qualité et elle permet d'avoir des tiges de remplacement pour mieux gérer le risque, ce qui est important pour une espèce peu plastique comme le bouleau jaune.

Tout comme les résultats de 2008, il y a peu de différences associées au traitement pour les essences désirées comme le bouleau jaune et l'érable à sucre. Le second dégagement est encore trop récent pour avoir un effet sur le développement des arbres d'espèces désirées.

Les résultats précédents ont démontré que la réalisation de la taille de formation à 11 ans a favorisé la transmission d'un chancre parmi les bouleaux jaunes, ce qui souligne la nécessité d'appliquer ce traitement avec beaucoup de précautions. La réalisation hâtive de la taille de formation a engendré des retards de croissance chez les bouleaux jaunes qui présentent toujours un diamètre moyen parmi les plus faibles dans ce traitement. Les conditions sanitaires du peuplement soulèvent donc des craintes quant à la réalisation d'une deuxième taille de formation. L'élitage naturel étant assurément encore en cours, déjà, à 26 ans, il y a près de 5 m sans branches, ce qui indique que nous sommes sur la bonne voie pour obtenir du bois de très haute qualité.

La prise de mesure de 2010 a été l'occasion de rafraîchir le dispositif en vue de la poursuite des suivis. Les résultats obtenus serviront de référence pour ces suivis puisqu'ils reflètent les conditions immédiatement après la réalisation du second dégagement.

Bien qu'il soit trop tôt pour être à même d'observer d'éventuels effets de traitements sur les essences désirées à la suite du second dégagement, la mesure de 2010 a permis de mettre en évidence les effets de la réitération d'un dégagement sur le contrôle des essences non désirées.

INTRODUCTION

Le bouleau jaune (*Betula alleghaniensis* Britt) est une essence typique des forêts mélangées et feuillues du Québec méridional. Il se retrouve sur diverses stations préférant les sols profonds, riches et bien drainés. Le drainage oblique favorise grandement sa présence (Linteau, 1948). Il forme des peuplements mélangés en association avec un grand nombre d'essences dont les plus fréquentes sont : le sapin baumier (*Abies balsamea*, Mill.), la pruche de l'Est (*Tsuga canadensis*, L.), l'érable à sucre (*Acer saccharum*, Marsh.), l'érable rouge, (*Acer rubrum*, L.), le hêtre à grandes feuilles (*Fagus americana*, Ehrh.) et le bouleau à papier (*Betula papyrifera*, Marsh.). Il peut à l'occasion former des peuplements purs, bien que ce soit rare. Son niveau intermédiaire de tolérance à l'ombre fait qu'on peut le retrouver à tous les stades évolutifs de la forêt (Erdmann, 1990).

Le bouleau jaune est une essence prisée par l'industrie de la transformation du bois. Son bois dur à grains serrés lui confère une bonne résistance au choc. Sa couleur ambrée et chaude est recherchée par les artisans du bois pour la confection de mobilier et de planchers. De plus, la fibre du bouleau jaune se prête bien au façonnage, ce qui le rend d'autant plus intéressant pour la transformation. Avec les tiges de grande qualité, on fabrique des placages de grande valeur. Pour ces raisons, la demande de bois de qualité de cette essence est très forte. Comme la plupart des feuillus durs, le bouleau jaune est aussi apprécié comme bois de chauffe et son efficacité énergétique (26,3 MBTU/corde séchée, SPBE), bien que moindre que celles de l'érable à sucre et du hêtre à grandes feuilles, demeure très intéressante.

L'importance économique, sociale et culturelle du bouleau jaune lui a valu de devenir l'arbre emblème du Québec. Cet arbre a, depuis la colonie, constitué une ressource d'importance. Son exploitation intensive au fil du 20^e siècle a cependant entraîné une détérioration généralisée de sa qualité.

1. CONTEXTE

L'exploitation continue des tiges de bouleau jaune sur l'ensemble du territoire a conduit à une dégradation généralisée de la qualité moyenne des tiges (FC, 2006a; Nyland, 1992). Les causes de la dégradation sont nombreuses, mais deux d'entre elles expliquent la majeure partie du phénomène. D'abord, la coupe à diamètre limite pratiquée jusqu'au tournant des années '80 a favorisé une récolte des tiges de feuillus nobles de fort diamètre et de qualité (FC, 2006a; Bédard et Majcen, 2001). Cette intervention favorise un fort rendement économique lors du premier passage puisque les tiges récoltées sont de fort diamètre et incidemment, plus propices à être de qualité (Blum et Filip, 1963; Hutnik, 1958). La qualité des tiges résiduelles varie cependant fortement d'un endroit à l'autre. Toutefois, de façon générale, leur diamètre étant inférieur, la qualité l'est aussi. De plus, la répartition de la régénération et la structure du peuplement sont grandement affectées par ce type de coupe (Angers *et al.*, 2005). La sévérité de la coupe peut aussi permettre à des essences non désirées tels le cerisier de Pennsylvanie (*Prunus pensylvanica*, L.), le bouleau blanc (*Betula papyrifera*, Marsh.) et des essences arbustives comme l'érable à épis (*Acer spicatum*, Lamb) et le framboisier (*Rubus idaeus* L.) d'envahir le parterre et donc de retarder, voir d'empêcher la régénération de s'établir adéquatement et de prospérer (Archambault *et al.*, 1998; Linteau, 1948; Robitaille et Boivin, 1987). De façon générale, la littérature reconnaît que le premier passage d'une coupe à diamètre limite diminue de façon marquée la valeur sur pied du peuplement résiduel (Blum et Filip, 1963; Hutnik, 1958; Kenefic *et al.*, 2005; Robitaille et Boivin, 1987).

Au cours des années '80 est apparue la coupe de jardinage qui remplace encore aujourd'hui la coupe à diamètre limite (FC, 2006a). Les modalités de son application reposent principalement sur la sélection individuelle des tiges à récolter. Plusieurs études dans des dispositifs relativement âgés (Bédard et Majcen, 2001; Crow *et al.*, 2002; Leak et Sendak, 2002; Neuendorff *et al.*, 2007), ont confirmé une diminution des espèces moyennement tolérantes dans des peuplements aménagés avec le jardinage par pied d'arbre. Le problème principal est la superficie souvent insuffisante des ouvertures de la canopée qui ne permettent pas au bouleau jaune de se développer pleinement. Les essences plus tolérantes comme le hêtre à grandes feuilles et l'érable à sucre se trouvent alors favorisées (Schuler, 2004). Il existe donc un risque que l'application

généralisée de ce traitement entraîne à long terme une diminution de l'importance du bouleau jaune dans le couvert forestier.

Le maintien d'une proportion de bouleau jaune économiquement viable par sa quantité et surtout par sa qualité dans le domaine de la forêt feuillue passe donc par le développement de nouvelles approches. Les peuplements qui ont déjà été traités par la coupe à diamètre limite représentent le plus grand défi. Les tiges de fort diamètre s'y retrouvant sont habituellement de faible qualité et de vigueur variable alors que la régénération y est imparfaite et souvent insuffisante pour permettre un retour à moyen terme des conditions de peuplement prévalant avant l'intervention (Hutnik, 1958; Kenefik *et al.*, 2005).

La remise en production des forêts feuillues dégradées requiert l'établissement d'une régénération dense en essences désirées. Selon l'état du peuplement résiduel, son renouvellement peut être prévu sur un horizon plus ou moins long et la composition de la régénération dépendra des semenciers et lits de germination disponibles, de la régénération préétablie présente, du climat lumineux et des conditions de station. Dans le cas présent, les essais réalisés visaient une remise en production rapide des peuplements en appliquant le régime équienne. Il convient de privilégier cette option lorsque les peuplements résiduels sont fortement dégradés et que la régénération est rare ou absente.

Cependant, l'application généralisée de la coupe de jardinage dans les forêts de feuillus tolérants a fait en sorte de limiter l'expérience des forestiers d'ici en matière de gestion équienne des peuplements feuillus. Étant donné l'importance de diversifier les solutions sylvicoles dans une optique d'amélioration de la résilience de nos forêts, il est essentiel de documenter diverses expériences d'application du régime équienne en forêt feuillue, afin d'être en mesure d'établir des scénarios sylvicoles solides et éventuellement disposer de données pour en permettre la modélisation. Soulignons, par ailleurs, que la dynamique naturelle des forêts de feuillus tolérants comporte une part de renouvellement par des perturbations de moyenne ou de grande envergure (North et Keeton, 2008). Ces perturbations ne provoquent pas nécessairement un retour de la succession vers des espèces intolérantes. Elles peuvent aussi être à l'origine de la formation de jeunes peuplements équiennes composés d'espèces de fin de succession (Fraver *et al.* 2009). Par

contre, si les espèces intolérantes parviennent à s'établir, leur agressivité leur permettra d'occuper une position dominante dans le nouveau peuplement.

L'implantation d'une régénération abondante réussie et le développement en quantité et en qualité d'une cohorte de régénération composée d'essences désirées représentent plus d'un défi.

Pour le bouleau jaune, en plus des risques d'oppression par les espèces intolérantes lorsqu'elles parviennent à s'établir, une ouverture du couvert trop brusque et sévère risque de retarder l'élagage des branches basses et donc d'affecter la qualité des tiges futures. Aussi, cette essence a la propriété de pouvoir développer des bourgeons adventifs en grande quantité. La formation de broussins ou de branches adventives peut également mener à une diminution de la qualité des fûts (Erdmann *et al.*, 1981). Le sylviculteur doit donc être très prudent lors de son intervention.

Le bouleau jaune est considéré comme une essence modérément tolérante à l'ombre (Bellefleur et Laroque, 1983). Beudet et Messier (1998) ont démontré que les réactions morphologiques du bouleau jaune lui permettaient de mieux réagir à une ouverture du couvert que l'érable à sucre et le hêtre à grandes feuilles. Toutefois, ce même avantage devient un handicap par rapport à ces essences si l'accès à la lumière demeure limité pour une longue période. Ainsi, il semble que les individus en position hiérarchique inférieure risquent d'être rapidement éliminés (Ouellet et Zarnovican, 1988). L'éducation des peuplements de feuillus par le dégagement du bouleau jaune devient alors nécessaire pour assurer une proportion intéressante de cette essence dans le couvert futur.

Les coupes de régénération, en ouvrant le couvert, favorisent l'implantation du bouleau jaune. Cependant, il arrive régulièrement qu'elles permettent l'implantation d'essences moins désirables (Lafèche *et al.*, 2000). Parmi celles-ci, le hêtre à grandes feuilles et l'érable rouge sont particulièrement menaçantes pour le bouleau jaune. Toutes deux ont une forte capacité à se reproduire de façon végétative (Walters et Yawney, 1990; Tubbs et Houston, 1990). Les drageons de hêtre et les rejets de souche d'érable rouge disposent alors d'une longueur d'avance sur les semis de bouleau jaune qui proviennent, pour la majorité, d'une reproduction sexuée. Cet avantage est d'autant plus marqué si la litière n'a pas ou peu été perturbée lors de la coupe

puisque la graine du bouleau jaune est peu apte à s'y installer dans ces conditions (Linteau, 1948). L'intervention humaine devient alors nécessaire afin de permettre aux candidats d'intérêt de pouvoir rejoindre ou dépasser cette compétition (Ouellet et Zarnovican, 1988).

Plusieurs études ont démontré que le bouleau jaune présentait une bonne réaction au dégagement. Ainsi, selon Erdmann *et al.* (1981) et Pham (1985), un gain important est noté principalement au niveau du diamètre et de la largeur de cime. De la même façon, un meilleur taux de survie des tiges dégagées a été observé. Un dispositif mis sur pied au tournant des années 1970 par la Direction de la recherche forestière (DRF) à Duchesnay dans des érablières à bouleau jaune d'une trentaine d'années confirme cette capacité de réaction du bouleau jaune. Les résultats, bien que peu significatifs compte tenu de faiblesses dans l'établissement du dispositif, ont démontré que l'éclaircie, même à cet âge avancé, pouvait mener à un accroissement supérieur du diamètre et des cimes dans les parcelles traitées que dans les parcelles témoin (Huot *et al.*, 2001).

La littérature diffère toutefois sur les modalités à appliquer. Erdmann *et al.* (1981) prétendent que pour le meilleur compromis entre gain en diamètre et en qualité, 2,4 m sont nécessaires entre les tiges, 3,7 m si une taille de formation est effectuée. Crcha et Trottier (1995) proposent quant à eux de dégager 75 cm du pourtour de la cime pour une densité de 400 tiges/ha. Von Althen *et al.* (1994) favorisent un dégagement d'une largeur de 120 à 150 cm autour de la cime pour une densité de 200 à 250 tiges/ha.

Le moment de l'intervention ne fait pas non plus consensus. Alors que certains favorisent l'atteinte d'un fourré de 10 à 14 ans, d'autres auteurs préfèrent quant à eux utiliser un critère de hauteur qui est lui aussi variable (Crcha et Trottier, 1995; Beudet et Messier, 1998). Un travail colossal d'acquisition de connaissances doit donc être réalisé en ce qui concerne l'éducation de peuplements favorisant le bouleau jaune dans la forêt feuillue du sud du Québec. Conscient de ce manque, le Centre d'enseignement et de recherche en foresterie de Sainte-Foy inc. (CERFO) a mis sur pied en 1995 un dispositif expérimental dans le domaine de l'érablière à bouleau jaune visant à comparer différents traitements de dégagement du bouleau jaune. Ce dispositif s'intègre dans un cadre plus grand visant à cerner les enjeux et à développer des méthodes d'intervention dans les jeunes peuplements de bouleau jaune. L'éducation de peuplement est en effet une partie

importante de tout scénario sylvicole et la qualité future du peuplement dépendra de son application judicieuse.

Plus précisément, le dispositif étudié dans ce rapport vise à comparer trois différents traitements de dégagement du bouleau jaune effectués lorsque le peuplement est au stade de fourré, conjugué à la réalisation facultative d'une seconde intervention de dégagement effectuée lorsque le peuplement atteint le stade de gaulis, ainsi qu'à la réalisation d'un seul dégagement tardif. Les conclusions tirées pourront par la suite servir à orienter d'autres études et à fournir au sylviculteur une base de travail pour l'élaboration des scénarios sylvicoles.

2. OBJECTIFS ET HYPOTHÈSES

Le projet s'intéresse au développement d'outils pour les soins culturaux et l'éducation de jeunes érablières à bouleau jaune dans le contexte du régime de la futaie équienne. L'objectif général du projet est de comparer les arbres n'ayant reçu aucun traitement de dégagement (témoin) à ceux ayant fait l'objet de :

- 2 dégagements avec la méthode par puits de lumière (MRNF) à l'âge de 11 et 26 ans;
- 2 dégagements de cimes à l'européenne (Schütz, 1990; Lanier, 1994) à l'âge de 11 et 26 ans;
- 2 dégagements de cimes à l'européenne réalisés à l'âge de 11 ans et 26 ans, avec une taille de formation à 11 ans;
- 1 dégagement par puits de lumière réalisé à l'âge de 11 ans;
- 1 dégagement de cimes à l'européenne accompagné d'une taille de formation, réalisé à l'âge de 11 ans;
- 1 dégagement de cimes à l'européenne réalisé à l'âge de 11 ans;
- 1 dégagement de cimes à l'européenne tardif réalisé à l'âge de 26 ans.

Plus spécifiquement, ces comparaisons permettront éventuellement de vérifier les effets des ces différentes combinaisons d'interventions sur le nombre de tiges, la surface terrière et la composition du peuplement. Les effets sur le diamètre, la hauteur totale, et la largeur et la hauteur de la cime des tiges dégagées, de même que leur statut en regard de la libre croissance, pourront également être vérifiés.

À long terme, les objectifs de production prédéterminés sont très élevés en qualité, soit un maximum de tiges d'élite comportant au moins deux billes de 5 mètres sans nœud et sans défaut.

3. MÉTHODOLOGIE

3.1. LOCALISATION DU SECTEUR À L'ÉTUDE

Le site étudié a été coupé en 1984 selon les modalités de coupe par bande du MRNF. Il est situé sur une pente moyenne (15 à 30 %) à forte (30 à 40 %) composée de till mince bien drainé. Localisé sur le territoire de la Réserve faunique Papineau-Labelle, il est compris dans le domaine bioclimatique de l'érablière à bouleau jaune. La régénération naturelle, composée principalement de bouleaux jaunes et d'érables à sucre, est assez homogène à l'exception de quelques affleurements rocheux dénudés. Quelques rémanents de 10 à 15 cm de diamètre au DHP se répartissent exceptionnellement sur l'ensemble du dispositif.

Voici les principales caractéristiques climatiques de la région où se trouve le dispositif (Saucier et Robitaille, 1998) :

Température annuelle moyenne	de 2,5 à 5 °C
Degrés-jours de croissance	de 2 600 à 3 000 °C
Longueur de la saison de croissance	180 jours
Indice d'aridité	de 150 à 175
Précipitation annuelle moyenne	1 000 mm

La Réserve faunique Papineau-Labelle est située à environ 150 kilomètres au nord-ouest de Montréal et se trouve à cheval sur deux régions administratives (Outaouais et Laurentides). La figure 1 présente sa localisation ainsi que les routes primaires et leur numéro d'identification. Le dispositif se retrouve sur la carte forestière 31G/14 NO et sur les photos aériennes de 1990, numéros 31 G 46, Q-90130, 106 et 107. L'annexe 1 indique plus précisément le chemin à suivre pour se rendre au dispositif.



Figure 1. Réserve faunique Papineau-Labelle

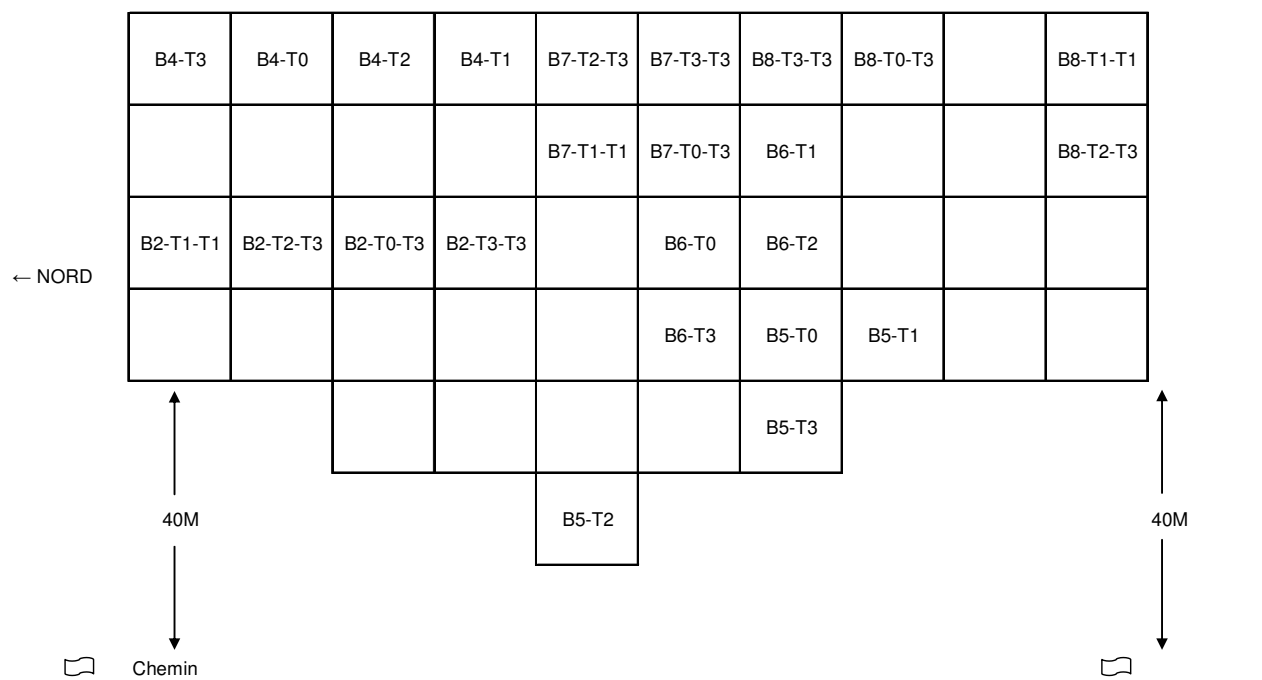
(Source : <http://ca.geocities.com/larry.neily@rogers.com/paplabelle.htm>)

3.2. DESCRIPTION DU DISPOSITIF

Le dispositif expérimental original étudié couvrait une superficie de 8 160 m². Il était constitué de 32 unités expérimentales de 15 m x 17 m qui ont été réparties en 8 blocs. Chacun des blocs a été divisé en 4 unités expérimentales dans lesquelles trois traitements de dégagement et un témoin ont été implantés en 1995. Chacune de ces unités comprend 12 placettes dont le centre a été identifié par une fiche métallique, un ruban bleu et une étiquette d'aluminium portant le numéro d'identification de la placette (ex. V1-B1-T0-P1 : volet 1, bloc 1, traitement 0, placette 1) et l'arbre d'avenir a été identifié au moyen d'une étiquette d'aluminium placée à son pied et portant le numéro d'identification de la placette suivi d'un A (ex. V1-B1-T0-P1-A) (Lessard et Blouin, 1997).

L'objectif principal poursuivi, dans ce cas-ci, était de minimiser l'impact de la position sur la pente des différentes unités expérimentales. Les blocs ont donc été répartis de façon perpendiculaire à la pente, ce qui a permis d'appliquer chacun des traitements à différentes positions sur celle-ci. La disposition des traitements à l'intérieur des blocs a quant à elle été faite de façon aléatoire.

Le dispositif a fait l'objet d'un suivi en 1998 (Blouin *et al.*, 1999) et en 2009 (Blouin *et al.*, 2009). Les blocs 1 et 3 ont été retirés des analyses depuis 1998 pour manque d'homogénéité. Ainsi, des 32 unités expérimentales implantées, seulement 24 ont été retenues pour les suivis subséquents, soit celles présentant une composition et une densité similaires. La figure 2 présente le dispositif ayant servi pour effectuer les analyses statistiques depuis le suivi de 2008, maintenant mis à jour pour tenir compte du second traitement de dégagement dans les blocs où il fut réalisé (blocs 2, 7 et 8).



24 Unités expérimentales de 15m X 17 m
 6 blocs
 8 traitements
 288 placettes

B Bloc
 T Traitement

T0 témoin
 T1 puits de lumière à 11 ans
 T1-T1 puits de lumière à 11 et 26 ans
 T2 dégagement de la cime avec taille à 11 ans
 T2-T3 dégagement de la cime avec taille à 11 ans et dégagement de la cime à 26 ans
 T3 dégagement de la cime à 11 ans
 T3-T3 dégagement de la cime à 11 ans et 26 ans
 T0-T3 dégagement de la cime tardif à 26 ans


 Ruban orange et jaune à chaque coin et le long du chemin

Figure 2. Localisation des unités expérimentales à l'intérieur du dispositif

3.3. DIMENSION DES PLACETTES ET VARIABLES MESURÉES

Deux grands types de données ont été récoltés dans chacune des unités expérimentales. D'abord, six placettes de 25 m² (2,82 m de rayon) ont été utilisées pour le dénombrement des tiges. Les tiges de plus de 1,30 m de hauteur y ont été dénombrées par essence et le diamètre mesuré par classe de 2 cm, pour celles ayant plus de 1 cm. La classe sylvicole, ainsi que la classe MSCR ont aussi été notées pour chacune des tiges. La classe sylvicole correspond à la valeur sylvicole de la tige où l'environnement de la tige est considéré. Les classes sylvicoles utilisées étaient les suivantes :

Tiges utiles : Tiges que l'on cherche à favoriser parmi les essences désirées (BOJ, BOP, ERS, CET). La plus belle tige utile est une tige de choix à cause de ses qualités et de ses possibilités. Cette tige fait partie des sujets dominants et codominants de sa cohorte. C'est une tige vigoureuse qui a le potentiel de bien réagir après une intervention.

Tiges de remplissage : Tiges nécessaires pour maintenir le climat forestier intérieur.

Tiges gênantes : Tiges qui nuisent aux tiges utiles. C'est une tige, d'une autre essence que celle de la tige utile, qui entre dans la zone libre de croissance de la tige utile.

Tiges d'hygiène : Tiges malades (classe MSCR « M ») ou en voie de dégradation qui n'a pas de potentiel de bois d'œuvre (toutes essences confondues).

Au niveau individuel, lorsque c'était possible, pour chacune des placettes, une tige utile a été retenue et identifiée comme arbre d'avenir, puis utilisée pour les mesures de diamètre à hauteur de poitrine (DHP), de hauteur totale, de hauteur de la plus basse branche vivante et de largeur de la cime. Les tiges ont été classées comme étant libres de croissance (figure 3) ou non et dans ce cas, la distance, l'essence et la hauteur de la principale tige compétitrice ont aussi été notées.

Le formulaire utilisé pour la prise de données est fourni à l'annexe 2.

Définition :

Libre de croître : Caractéristiques environnementales favorables au développement d'une tige utile.

Non libre de croître : Lorsqu'une partie d'une tige nuisible d'une essence différente que celle de la tige utile est présente dans un cône de 45° à partir du $2/3$ de la hauteur totale de la tige utile (figure 3).

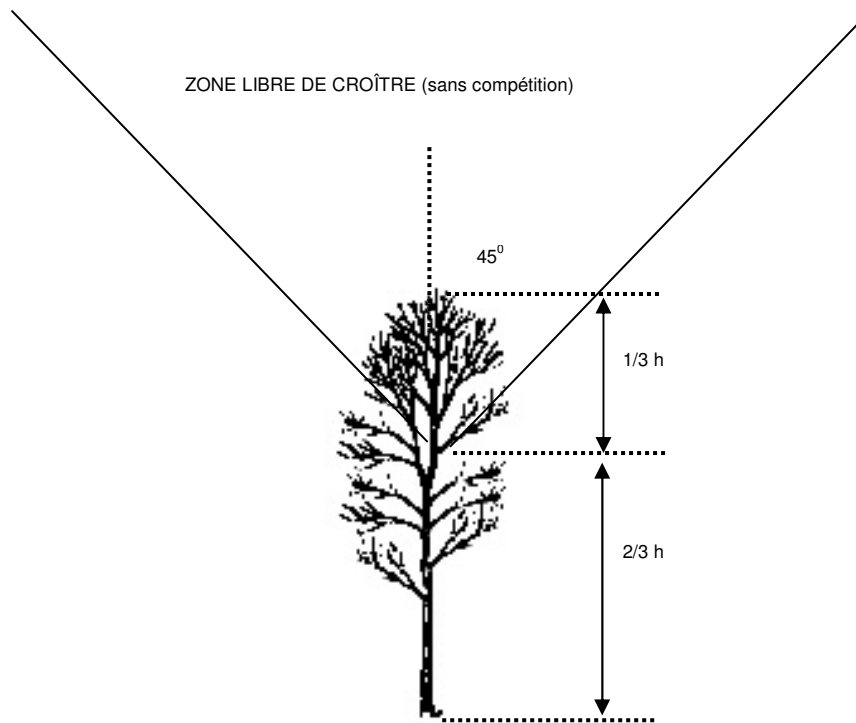


Figure 3. Méthode appliquée pour déterminer la libre croissance d'une tige utile

3.4. DESCRIPTION DES TRAITEMENTS

Les traitements appliqués au peuplement ont été mentionnés précédemment dans la section des objectifs. Voici leur description détaillée :

Traitement 0 : Témoin

Aucune intervention n'a été pratiquée. Seuls les arbres d'avenir ont été martelés positivement dans le dispositif afin de servir d'arbres études.

Traitement 1 : Par puits de lumière

Dans son application, il a été inspiré d'anciennes normes que le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) a déjà appliquées dans la région pour le dégagement de peuplements feuillus au stade fourré.

T1 : Première intervention à l'âge de 11 ans : Une sélection positive d'arbres d'avenir a d'abord été effectuée à tous les 3 m de distance (minimum de 2,5 m de distance entre 2 arbres). Le pourtour de la cime a ensuite été dégagé sur 40 à 50 cm. Tout arbre nuisible dans cette zone a été coupé à l'aide d'outils appropriés (scie à chaînes, sécateurs). L'objectif de cette intervention était de donner accès à l'arbre à un plus grand espace vital permettant une croissance supérieure à celle obtenue sans intervention.

T1-T1 : Premier dégagement par puits de lumière à l'âge de 11 ans (comme ci-dessus) suivi d'un second dégagement à l'âge de 26 ans au cours duquel le pourtour de la cime a été dégagé de 50 à 74 cm.

Traitement 2 : Dégagement de la cime avec taille de formation

T2 : Il s'agit d'un traitement en tout point similaire au traitement 3 à l'exception près qu'une taille de formation a été effectuée sur les sujets d'avenir qui ont été dégagés alors qu'ils étaient âgés de 11 ans. L'objectif ici était de favoriser au maximum la production de bois de qualité. Les arbres nuisibles n'ont pas été martelés mais plutôt éliminés immédiatement lors d'un seul passage

au moment de la taille de formation, et ce, afin de minimiser la différence de coûts entre les deux types d'intervention.

T2-T3 : Premier dégagement de cimes accompagné d'une taille de formation à l'âge de 11 ans (comme ci-dessus), suivi d'un second dégagement de cimes à l'âge de 26 ans (sans taille de formation).

Traitement 3 : Dégagement de la cime

Ce traitement s'inspire de techniques européennes de dégagement de fourré. Une variante a été appliquée au Québec par Pierre Ricard, professeur au Cégep de Sainte-Foy dans d'anciennes coupes par bandes dans la forêt de Duchesnay.

T3 : Dégagement des cimes de la cohorte utile réalisé à l'âge de 11 ans et qui consistait à éliminer les arbres nuisibles, qu'ils soient d'essences indésirables ou encore qu'ils exercent une trop forte oppression sur les sujets d'avenir. Un martelage négatif a été appliqué à ceux-ci pour qu'ils soient coupés subséquemment. Le peuplement résiduel devrait comprendre de quatre à six mille tiges dégagées. Cette approche visait plusieurs objectifs :

- Maintenir une compétition à l'intérieur du peuplement afin de prévenir l'apparition de branches adventives, auxquelles le bouleau jaune est particulièrement sensible, grâce au maintien d'une pression latérale adéquate.
- Assainir le peuplement en retirant les sujets moribonds ou de faible qualité qui pourraient entraver le développement des cimes des arbres désirés.
- Amorcer une sélection sur la base de la future qualité potentielle.
- Atteindre une composition en essences désirées.
- Produire, à maturité, 200 tiges/ha de BOJ contenant chacune 4 billots de bois d'œuvre de 2,5 m de longueur.

Les modalités suivantes ont été appliquées :

- Aucune tige des essences désirées n'a été éliminée (BOJ, CET, EPB, EPR, PIB, ERS et BOP).
- Pas de sélection positive pour les tiges de moins de 7 m de hauteur.
- Suppression des tiges nuisibles seulement. Les essences non désirées (HEG, ERP, ERR, ERE, PRP, PEG, PET, SAB, SAL) de même que les sujets d'essences désirées de mauvaise venue qui nuisent à la cohorte utile ont été retirés.
- Dans le cas de tiges de plus fort diamètre, les tiges ont été coupées à hauteur d'homme à l'aide d'une petite scie à chaîne.

T3-T3 : Premier dégagement de cimes réalisé à l'âge de 11 ans (ci-dessus), suivi d'un second dégagement de cimes à l'âge de 26 ans.

T0-T3 : Dégagement de cimes tardif : Premier dégagement de cimes (décrit ci-dessus) réalisé à l'âge de 26 ans.

3.5. CARACTÉRISTIQUES DES ARBRES ÉTUDES DES PRINCIPALES ESPÈCES EN 1995 ET EN 2010

En 1995, la première intervention de dégagement avait été réalisée dans un jeune gaulis de 11 ans représentatif de l'état des peuplements dans lesquels les éclaircies précommerciales sont pratiquées aujourd'hui. Le stade de gaulis se dirigeait alors vers un stade perchis et se caractérisait par des tiges flexibles et élancées. Des branches avaient déjà disparu et les cimes étaient encore peu exubérantes et jointives. Les individus ne montraient pas encore de caractères distinctifs, sinon des défauts accidentels et congénitaux. La densité étant à son maximum au stade de fourré, elle diminue rapidement à un stade d'autoéclaircie (Oliver et Larson, 1996). Au moment de faire les travaux initiaux en 1995, le bouleau jaune et l'érable à sucre avaient les caractéristiques suivantes (tableau 1) :

Tableau 1. Portrait du bouleau jaune et de l'érable à sucre moyen en 1995 – moyenne et double écart-type

Variabes étudiées 1995	BOJ	ERS
DHP (mm)	26,9	22,0
2sd	20,2	13,8
Hauteur totale (m)	4,3	4,2
2sd	2	2
Largeur de la cime (m)	1,6	1,1
2sd	1	0,8

Quinze ans plus tard, en 2010, immédiatement après la réalisation de la seconde intervention dans la moitié des blocs expérimentaux, le peuplement peut être considéré comme un bas perchis. Les tiges devenues rigides sont toujours relativement serrées. Une différenciation en hauteur des espèces intolérantes à l'ombre faisant partie des essences désirées s'est opérée, puisque les bouleaux à papier et les cerisiers tardifs faisant partie des arbres études (donc, dominants) atteignent respectivement une hauteur moyenne de 13,8 m et 15,2 m. Toutefois, ces espèces sont plutôt marginales car elles ne représentent chacune que 7 et 6% des arbres études, alors que 39% de l'échantillon est constitué de bouleau jaune et 44% d'érable à sucre. Ces deux espèces présentent aujourd'hui des dimensions semblables (tableau 2).

Tableau 2. Portrait des arbres études moyens des bouleaux jaunes et érables à sucre en 2010 – moyenne et double écart-type

Variabes étudiées 2010	BOJ	ERS
DHP (mm)	93	93
2sd	52	79
Hauteur totale (m)	12,0	11,5
2sd	5,1	3,7
Largeur de la cime (m)	2,7	2,8
2sd	1,5	1,9

3.6. COMPILATIONS ET ANALYSES STATISTIQUES

Étant donné que le deuxième dégagement vient tout juste d'être effectué, il est encore trop tôt pour en mesurer les résultats sur les arbres dégagés. À ce stade, les compilations visent plutôt à établir un constat de la situation immédiatement après le second traitement de dégagement. Ces données serviront de référentiel pour les éventuelles évaluations de l'effet des différentes combinaisons d'interventions.

À cet effet nous avons procédé au calcul des moyennes et à l'appréciation de la variabilité basée sur l'étendue des données correspondant au double de l'écart-type pour chaque traitement. Le double de l'écart-type correspond à l'étendue à l'intérieur de laquelle se retrouvent 95% des observations de l'échantillon. À partir du jeu de données des placettes, les calculs réalisés portent sur les variables suivantes :

- Densité par essence et totale
- Composition : % du nb de tiges/ess
- Diamètre moyen par essence
- Proportion du nb de tiges/classe MSCR

Pour ce qui est des arbres études, les statistiques présentées correspondent à la moyenne et au double de l'écart-type, pour les variables suivantes :

- La hauteur totale moyenne
- La hauteur moyenne de la première branche
- Le DHP moyen
- La largeur de cime moyenne $((LC1+LC2)/2)$
- Le ratio H/D
- Le coefficient d'espace vital (LC/DHP)

L'effet de la compétition sur le diamètre et la hauteur des arbres études a été évalué par régression. D'autres statistiques descriptives provenant d'analyses de fréquence sont aussi présentées pour compléter le portrait.

Pour les données évaluées par placette, le calcul de la moyenne est effectué à partir des résultats par unité expérimentale, rapportés en valeur par hectare. Pour les statistiques associées aux arbres étudiés, les données individuelles ont servi de référence aux calculs.

Bien que l'étude porte sur le bouleau jaune, les résultats montrent une présence importante d'érable à sucre ainsi qu'une quantité marginale d'autres espèces désirées (BOP et CET). De plus, certaines essences non désirées sont présentes en abondance, notamment l'érable rouge. Par conséquent, les résultats pour les différentes essences ont été intégrés aux analyses.

Pour chacun des modèles développés, le choix du meilleur s'est effectué sur la base de la valeur la plus basse du critère d'information de Akaike (AIC) et, à l'exception des variables d'intérêt majeur, seules les variables et les interactions significatives au seuil $\alpha = 5\%$ ont été retenues. Les modèles mis au point dans le cadre de cette étude ont été réalisés à l'aide de la procédure « MIXED » afin de tenir compte des effets liés à l'échantillonnage pour les placettes et les arbres provenant d'une même station. La différence des moindres carrés « LSD » a été utilisée pour déterminer s'il y avait des différences significatives entre les divers traitements utilisés.

Les modèles empiriques développés dans le cadre de cette étude sont spécifiques aux quinze années suivant l'intervention de dégagement et sont valides seulement pour cette période. Ils ont été élaborés à l'intérieur de la base de données spécifique à cette étude. Ils servent à effectuer des comparaisons valides entre les traitements et non à prédire de façon précise l'évolution des variables dépendantes dans le temps. Par conséquent, il est impossible de garantir l'applicabilité de ces modèles au-delà des observations qui ont été utilisées pour leur développement.

4. RÉSULTATS

4.1. CARACTÉRISTIQUES DU PEUPEMENT

Les statistiques descriptives ont été utilisées pour décrire l'effet des blocs et des traitements sur la densité et le diamètre moyen, puis des analyses de variance ont été réalisées afin de vérifier s'il existait des différences significatives entre les traitements et les essences, et s'il y avait une interaction entre les deux.

4.1.1. Densité moyenne du peuplement

Les résultats détaillés de densité sont présentés à l'annexe 3. On y retrouve d'abord les densités moyennes par bloc et par traitement pour chacune des essences (tableau 1), puis les diamètres moyens du peuplement par bloc et par traitement pour chacune des essences (tableau 2). L'examen des densités moyennes par bloc et par traitement (tableau 1 de l'annexe 3) révèle des quantités de bouleau jaune relativement faibles dans le bloc 5.

Le tableau 3 présente la densité moyenne par traitement des principales essences rencontrées dans le dispositif, en distinguant les essences désirées (BOJ, CET, EPB, EPR, PIB, ERS et BOP) des essences non désirées (HEG, ERP, ERR, ERE, PRP, PEG, PET, SAB et SAL). On constate que les densités toutes essences se retrouvent en quantités similaires entre les différents traitements et que la densité d'essences non désirées est maximale dans le témoin par rapport aux aires traitées.

Tableau 3. Densité moyenne (ti/ha), par traitement, des principales espèces rencontrées dans le dispositif

Essence	Traitement															
	t1		t1_t1		t2		t2_t3		t3		t3_t3		tem		tem_t3	
	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd	ti/ha	2sd
BOJ	1201	2179	1957	3774	334	921	1045	2020	1512	2767	978	2735	1245	3764	2179	4797
BOP	22	189	67	307	44	259	44	377	0	0	22	189	44	377	156	486
CET	356	1397	67	307	133	614	156	559	22	189	89	439	111	460	89	342
EPB	0	0	0	0	0	0	0	0	22	189	0	0	0	0	0	0
EPR	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	44	259	0	0
ERS	2691	4426	1445	4781	3847	5410	3647	4486	1912	3052	5982	7894	1935	3972	2179	3275
Désirées	4270	4218	3536	4547	4358	5595	4892	4115	3469	2718	7071	7033	3380	3876	4603	4403
ERE	0	0	44	377	0	0	44	259	44	377	0	0	245	1885	0	0
ERP	111	460	200	686	378	1358	133	388	44	259	0	0	311	1214	22	189
ERR	2179	4412	1490	3304	2113	3862	1090	2375	1356	2504	311	1705	2046	2865	667	1317
HEG	89	518	378	2833	44	259	222	1036	267	1165	111	369	245	1349	89	439
PEG	22	189	0	0	0	0	0	0	22	189	0	0	0	0	44	377
PET	22	189	0	0	22	189	0	0	44	259	0	0	22	189	0	0
PRP	156	622	0	0	156	957	22	189	44	259	0	0	89	586	0	0
SAB	0	0	0	0	89	586	22	189	111	460	22	189	0	0	0	0
Non-désirées	2580	4959	2113	5039	2802	4996	1534	2609	1935	2948	445	1668	2958	1491	823	4018
Toutes	6849	8391	5648	6589	7160	6820	6427	4491	5404	4075	7516	7132	6338	3332	5426	5562

La composition, exprimée en termes de proportion du nombre de tiges par essence, est présentée au tableau 4. Ces résultats montrent que la proportion d'essences désirées varie entre 61 et 94 % dans les aires traitées, alors qu'elle est de 53 % dans le témoin. Une deuxième intervention a permis d'augmenter la proportion de bouleau jaune dans le t1_t1, t2_t3 et tem_t3. L'espèce compétitrice principale est l'érable rouge, qui représente jusqu'à un tiers des tiges. Une deuxième intervention a permis de diminuer sa proportion dans tous les cas. Le témoin sans intervention présente la proportion d'espèces non désirées la plus élevée avec 47 %.

Les stations ayant bénéficié d'un dégagement par puits de lumière (t1 et t1_t1) présentent une proportion d'essences non désirées équivalente aux stations ayant fait l'objet d'un seul traitement de dégagement à l'européenne. Les stations ayant subi un seul dégagement à l'européenne en 1995 (t2 et t3) présentent une proportion d'essences non désirées plus basse que les autres stations traitées une deuxième fois.

Tableau 4. Composition (% du nb ti/ha par essence) par traitement

Essence	Traitement							
	t1	t1 t1	t2	t2 t3	t3	t3 t3	tem	tem t3
BOJ	18%	35%	5%	16%	28%	13%	20%	40%
BOP	0%	1%	1%	1%	0%	0%	1%	3%
CET	5%	1%	2%	2%	0%	1%	2%	2%
EPB	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%
EPR	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%	0%
ERS	39%	26%	54%	57%	35%	80%	31%	40%
Désirées	62%	63%	61%	76%	64%	94%	53%	85%
ERE	0%	1%	0%	1%	1%	0%	4%	0%
ERP	2%	4%	5%	2%	1%	0%	5%	0%
ERR	32%	26%	30%	17%	25%	4%	32%	12%
HEG	1%	7%	1%	3%	5%	1%	4%	2%
PEG	0%	0%	0%	0%	0%	0%	0%	1%
PET	0%	0%	0%	0%	1%	0%	0%	0%
PRP	2%	0%	2%	0%	1%	0%	1%	0%
SAB	0%	0%	1%	0%	2%	0%	0%	0%
Non-désirées	38%	37%	39%	24%	36%	6%	47%	15%

Une analyse de variance a été réalisée afin de vérifier si les densités observées différaient significativement selon le traitement (tableau 5). Pour cette analyse, les espèces ont été séparées en deux groupes : essences désirées et essences non désirées. L'interaction significative entre la catégorie d'essence et le traitement indique que la densité diffère très significativement d'un

traitement à l'autre selon que les essences soient désirées ou non. Les densités d'essences désirées sont nettement supérieures par rapport aux densités d'espèces non désirées. Plus précisément, la densité d'essences désirées est significativement plus élevée dans le double dégagement de cimes (t3_t3) par rapport aux autres traitements, alors que la densité d'essences non désirées y est moins importante par rapport aux autres traitements (résultats significatifs pour t3_t3 par rapport à t1, t1_t1, t2 et tem_t3). De plus, la densité d'essences non désirées est significativement inférieure dans t3_t3 et dans tem_t3, par rapport au témoin.

Tableau 5. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de densité par catégorie d'essences (désirées ou non)

Caractéristiques statistiques du modèle		Densité moyenne			
Nombre d'observations		288			
R ² estimé		0,43			
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Catégorie d'essences (désirées ou non)	1	263	112,01	<0,0001	**
Traitement	7	263	1,37	0,2172	N.S.
Traitement*catégorie d'essences	7	263	8,42	<0,0001	**

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

Une analyse de covariance a démontré que la densité plus élevée d'essences désirées dans le traitement t3_t3 était tributaire des conditions initiales où une densité plus élevée d'essences désirées avait été observée au départ. La figure 4 démontre bien cette tendance où la densité observée en 1998 est plus élevée dans les blocs 2, 7 et 8 ayant fait l'objet de deux dégagements à l'européenne (t3_t3). La densité initiale (1998) est donc un facteur qui a beaucoup d'influence sur la densité de 2010.

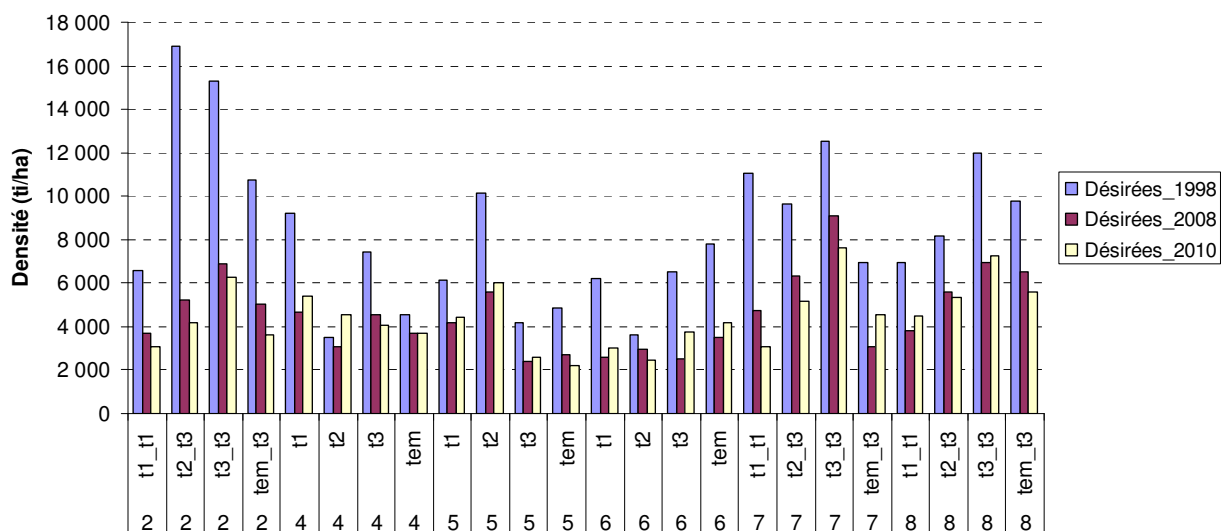


Figure 4. Densité des essences désirées par bloc, traitement et année d’inventaire

Tout comme l’analyse de variance, l’analyse de covariance a démontré que les espèces non désirées avaient été affectées par les traitements (figure 5). On remarque que le deuxième dégagement a permis de diminuer davantage la densité des essences non désirées. À titre d’exemple, la densité d’érable rouge a diminué de manière importante dans les blocs retraités (2, 7 et 8) alors qu’elle s’est maintenue dans les blocs traités une seule fois (figure 6). **La diminution de la densité de l’érable rouge est le principal effet perceptible de la répétition des traitements de dégagement immédiatement après leur réalisation.**

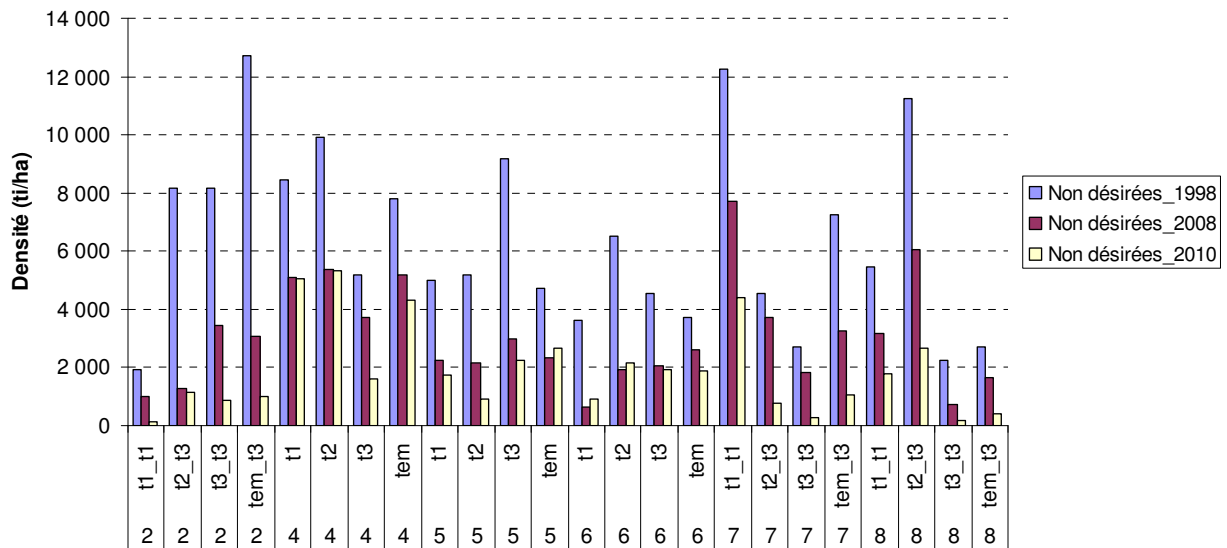


Figure 5. Densité des essences non désirées par bloc, traitement et année d'inventaire

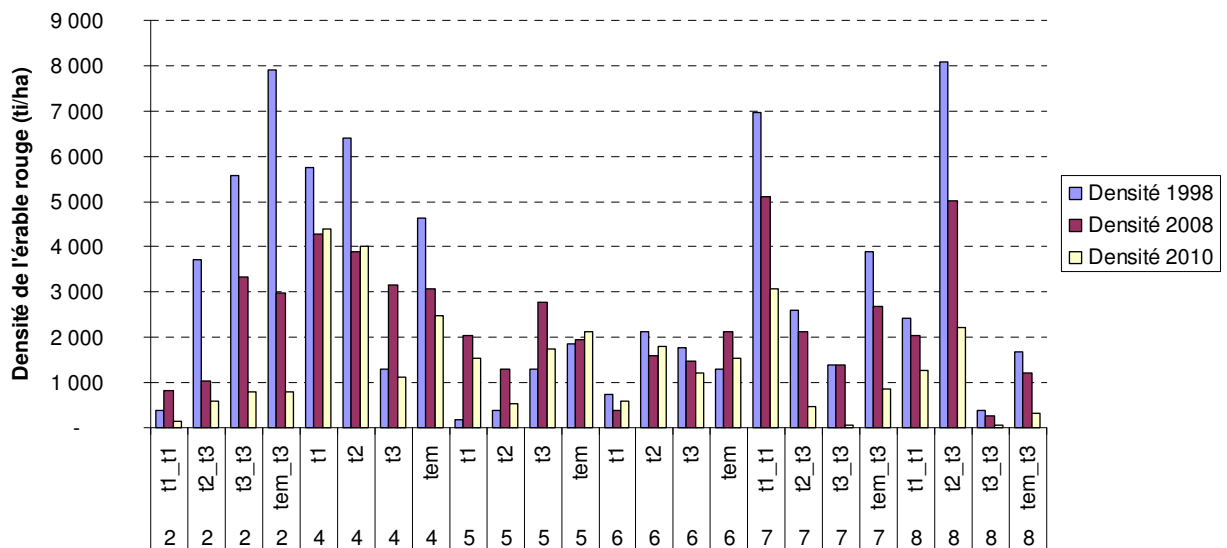


Figure 6. Comparaison des densités d'érable rouge par unité expérimentale lors des inventaires de 1998, 2008 et 2010

4.1.2. Diamètre moyen du peuplement

Le diamètre moyen du peuplement calculé à partir de la mesure du DHP par classe de 2 cm réalisée lors du dénombrement des tiges est présenté au tableau 6. L'analyse de variance (tableau 7) a permis de confirmer l'existence de différences significatives entre les essences, les

traitements et aussi entre ces deux variables. L'interaction significative indique que les essences réagissent différemment en fonction des traitements. Cette analyse a également démontré qu'il n'y avait pas de différence significative entre les blocs.

On constate d'abord que les essences intolérantes (CET, PEG, BOP, PET) présentent un diamètre moyen plus élevé que les bouleaux jaunes et les érables à sucre.

Pour les principales essences (BOJ, ERS, CET, BOP, ERR), la première différence observable dans tous les traitements concerne le diamètre du cerisier tardif, qui est toujours significativement plus élevé par rapport à celui du bouleau jaune. Vient ensuite le bouleau à papier dont le diamètre s'apparente à celui du cerisier pour certains traitements (t1, t1_t1, t2_t3, tem), alors qu'il se situe entre celui du cerisier et du bouleau jaune et se distingue de chacun, dans d'autres traitements (t2, t3_t3, tem_t3). Puis le bouleau jaune, dont le diamètre moyen est généralement équivalent à celui de l'érable rouge sauf dans t2_t3 où l'érable rouge est plus petit par rapport au bouleau jaune. L'érable à sucre présente un diamètre tantôt équivalent à celui du bouleau jaune (t1_t1, t2, t3, t3_t3, tem_t3, tem), tantôt nettement inférieur (t1, t2_t3). Les différences entre traitements s'observent sur les cerisiers et l'érable rouge, mais pas sur les bouleaux jaunes et érables à sucre. Étant donné l'occurrence limitée des cerisiers, il est difficile d'établir un lien avec l'effet du traitement. **Quant à l'érable rouge, on constate que la répétition du traitement a permis de réduire son diamètre moyen lorsqu'il est comparé au diamètre obtenu dans le traitement correspondant n'ayant pas été traité de nouveau.** En effet, les diamètres moyens de l'érable rouge après double dégagement de cimes sont 3 centimètres inférieurs par rapport à ceux enregistrés dans les aires ayant fait l'objet d'un seul dégagement de cimes. Dans le cas des dégagements par puits de lumière, les érables rouges se trouvant dans les aires ayant fait l'objet d'un double dégagement présentent un diamètre moyen inférieur de 2 cm par rapport à celui enregistré dans les aires ayant subi un seul dégagement. Ces résultats sont cohérents avec la diminution de la densité observée et montrent que l'on a procédé au retrait des plus gros érables rouges lors du second dégagement. De plus, le fait de circonscrire le retrait de la compétition aux seuls puits de lumière dans le traitement 1 peut expliquer que la différence de diamètre de l'érable rouge entre les aires traitées et non traitées soit plus petite pour ce traitement.

Le bouleau jaune, qui représente l'essence visée par le traitement, est donc toujours placé en position de concurrence par rapport à l'érable rouge dans les vieux dégagements, alors que la répétition du traitement de dégagement l'a placé en meilleure position par rapport à la compétition. Les quelques cerisiers tardifs et bouleaux à papier présents dans le dispositif ont pris avantage de la lumière disponible et surpassent maintenant la cohorte principale constituée de bouleaux jaunes, accompagnée d'érables à sucre, lesquels sont généralement plus petits.

À ce stade de développement de la cohorte, les bouleaux à papier et les cerisiers tardifs sont à privilégier dans un contexte d'intensification de l'aménagement, car ils vont permettre de rentabiliser l'éclaircie commerciale.

Tableau 6. Diamètre moyen du peuplement par essence et par traitement

Essence	Traitement	t1	t1_t1	t2	t2_t3	t3	t3_t3	tem	tem_t3	Tous	
BOJ	Diamètre (cm)	6	5	6	6	6	5	6	5	6	
	2sd	4	4	5	4	2	3	1	2	3	
BOP	Diamètre (cm)	10	9	10	11		14	14	13	11	
	2sd		14						8	7	
CET	Diamètre (cm)	12	11	15	10	22	18	14	19	15	
	2sd	7		5	7		11	8	9	9	
EPB	Diamètre (cm)	8								8	
EPR	Diamètre (cm)	14								14	
	2sd	17								17	
ERS	Diamètre (cm)	4	3	5	4	6	4	5	4	4	
	2sd	1	1	0	2	2	1	3	1	2	
ERE	Diamètre (cm)	2		2		4		4		3	
ERP	Diamètre (cm)	2	2	3	2	4		3	2	3	
	2sd	0	1	2	0	6		2		2	
ERR	Diamètre (cm)	7	5	6	3	7	3	7	4	5	
	2sd	6	5	5	1	3	2	3	1	4	
HEG	Diamètre (cm)	2	2	4	2	3	2	3	3	3	
	2sd	0	1	6	0	3	1	3	1	2	
PEG	Diamètre (cm)	12				8				19	13
PET	Diamètre (cm)	12		8		8		14		10	
	2sd					6				6	
PRP	Diamètre (cm)	11		9		4		10		9	
	2sd	9		1		0		2		6	
SAB	Diamètre (cm)			3		2		3		3	
Toutes	Diamètre (cm)	6		5		6		5		7	
	2sd	8		7		7		5		8	

Tableau 7. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de diamètre moyen par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle	Densité moyenne				
Nombre d'observations	375				
R ² estimé	0,43				
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Essence	4	327	126,40	<0,0001	**
Traitement	7	327	5,09	<0,0001	**
Traitement*essence	27	327	2,65	<0,0001	**

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

4.2. CARACTÉRISTIQUES DES ARBRES ÉTUDES

Les résultats des mesures réalisées sur les arbres études calculés par bloc et par traitement sont présentés à l'annexe 4.

Soulignons que le choix des arbres études qui devaient correspondre à des arbres d'avenir comporte une part d'espèces non désirées (principalement ERR), compte tenu de l'absence d'essences désirées dans certaines placettes ou de leur position nettement dominée dans quelques cas.

4.2.1. Diamètre

Le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) moyen des arbres études par essence et par traitement est présenté au tableau 8 et les résultats de l'analyse de variance correspondante au tableau 9. L'analyse de variance révèle que le DHP diffère significativement entre les espèces, mais qu'il n'y a pas d'effet de traitement, ni d'interaction entre les deux. En général, le diamètre moyen des cerisiers tardifs est plus élevé que celui des bouleaux jaunes et des érables à sucre. Les quelques bouleaux à papier présents sont aussi plus gros que les bouleaux jaunes et érables à sucre.

Toutefois, les différences observées ne concernent que les quelques individus d'essences intolérantes. Les bouleaux jaunes et érables à sucre présentent un DHP moyen similaire.

Tableau 8. Diamètre moyen et fréquence (N) des arbres étudiés par essence et par traitement

Traitement	Essence																	
	BOJ			BOP			CET			ERS			ERR			PET		
	N	DHP(mm)	2sd	N	DHP(mm)	2sd	N	DHP(mm)	2sd	N	DHP(mm)	2sd	N	DHP(mm)	2sd	N	DHP(mm)	2sd
t1	8	86	42	1	102		3	182	117	1	89	65	5	131				
t1_t1	11	99	53	2	142	51				4	90	13	1	77				
t2	2	86	30				1	183		14	104	76	1	24				
t2_t3	8	87	54				2	167	100	7	84	135	1	80				
t3	7	100	54							10	116	89	1	104				
t3_t3	4	110	54	1	144		3	154	87	10	71	32						
tem	9	93	77							8	105	58				1	136	
tem_t3	7	86	28	3	131	92	1	196		6	64	51	1	85				
Tous trt	56	93	52	7	132	64	10	172	82	60	93	79	10	84	71	1	136	

Tableau 9. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de diamètre par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle	Diamètre moyen				
Nombre d'observations	143				
R ² estimé	0,53				
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Essence	5	102	12,33	<0,0001	**
Traitement	7	102	0,68	0,6908	N.S.
Traitement*essence	19	102	0,95	0,5208	N.S.

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

4.2.2. Hauteur

La hauteur moyenne des arbres étudiés par essence et par traitement est présentée au tableau 10 et les résultats de l'analyse de variance correspondante au tableau 11. On constate que la hauteur des arbres étudiés varie très significativement en fonction des essences. Elle varie également de façon significative selon le traitement et il y a une interaction entre l'essence et le traitement. Plus spécifiquement, la hauteur moyenne des quelques cerisiers tardifs présents dans t1 et dans t2 est plus élevée que celle des bouleaux jaunes et des érables à sucre. Par contre, ce n'est pas le cas dans les traitements t1_t1, t2_t3 et t3, où les différentes espèces présentent une hauteur

équivalente. Dans le cas de t3_t3, le bouleau à papier, le cerisier et le bouleau jaune sont plus grands que l'érable à sucre, alors que dans le tem_t3, il n'y a que le bouleau à papier pour lequel la hauteur diffère significativement par rapport à l'érable à sucre. Enfin, dans le témoin, la différence de hauteur observable concerne le seul peuplier échantillonné, parmi les arbres étudiés, qui surpasse les autres espèces.

Les différences significatives quant à la hauteur des arbres sont donc essentiellement reliées à la présence d'espèces intolérantes qui ont pris l'avantage par rapport aux espèces plus tolérantes à l'ombre, et ce plus particulièrement dans les traitements non répétés t1 et t2, mais pas dans t3 où les espèces intolérantes sont absentes des arbres étudiés.

De plus, on constate que les bouleaux jaunes dominants sont moins hauts dans le témoin que dans les traitements réitérés (t1_t1, t2_t3, t3_t3) et dans le dégagement de cimes réalisé à 11 ans (t3). Toutefois, la mise en perspective de ces résultats avec la hauteur des bouleaux jaunes par unité expérimentale en 2008 (figure 8) indique que ces différences sont influencées par l'effet des blocs plutôt que par celui du traitement. En effet, la faible hauteur moyenne du bouleau dans le témoin est grandement affectée par la faible hauteur des bouleaux du témoin du bloc 4, alors que les fortes hauteurs enregistrées dans le bloc 2 ont un poids important dans les hauteurs moyennes enregistrées pour t1_t1 et t2_t3.

Tableau 10. Hauteur moyenne des arbres étudiés par essence et par traitement

Essence	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd
t1	11.8	2.6	14.5		17.5	3.6	11.1	1.6	13.0			
t1_t1	12.7	6.2	13.8	2.1			11.8	1.9	12.0			
t2	10.8	0.7			18.5		12.1	2.3	3.5			
t2_t3	13.0	6.5			13.0	0.0	10.9	5.9	9.0			
t3	12.4	4.9					12.5	4.6	12.0			
t3_t3	12.9	2.2	14.5		13.7	3.5	10.4	2.5				
tem_t3	11.7	4.6	13.3	4.0	14.0		10.9	3.9	12.0			
tem	9.9	5.1					11.4	3.7			15.0	
Tous trt	12.0	5.1	13.8	2.7	15.2	5.1	11.5	3.7	10.3	7.1	15.0	

Tableau 11. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de hauteur par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle	Hauteur moyenne				
Nombre d'observations	143				
R ² estimé	0,53				
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Essence	5	102	7,74	<0,0001	**
Traitement	7	102	2,15	0,0451	*
Traitement*essence	19	102	1,83	0,0292	*

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

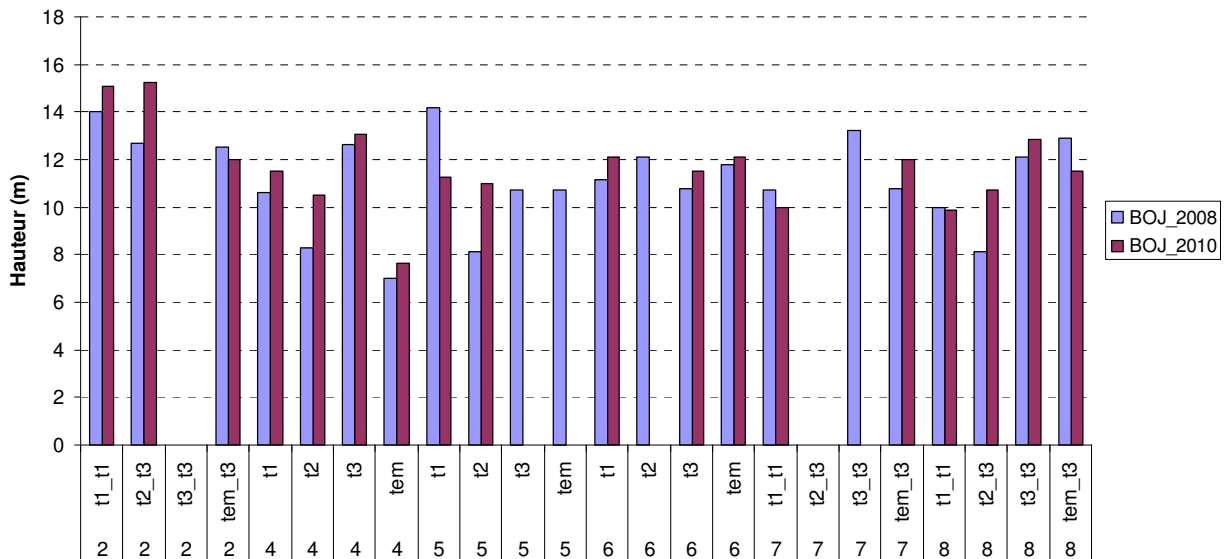


Figure 7. Comparaison de la hauteur des bouleaux jaunes par unité expérimentale lors des inventaires de 2008 et 2010 (avant et après le second dégagement)

4.2.3. Hauteur de la première branche

La hauteur moyenne de la première branche inférieure des arbres étudiés par essence et par traitement est présentée au tableau 12 et les résultats de l'analyse de variance correspondante au tableau 13. On constate que la hauteur de la première branche varie aussi en fonction des essences, mais pas selon le traitement et qu'il n'y a pas d'interaction entre l'essence et le traitement. Comme pour le diamètre et la hauteur totale, la hauteur de la première branche des

arbres dominants d'espèces désirées intolérantes est généralement plus élevée que celle des arbres dominants d'espèces plus tolérantes à l'ombre, mais les arbres d'espèces désirées intolérantes sont peu nombreux.

Toutes les portions ayant subi un double traitement ont plus de 5 m sans branches à l'âge de 26 ans et le processus d'élitage est toujours en cours puisque les interventions visent à conserver une densité optimale. Une partie des cerisiers tardifs présente aussi des branches basses, puisque la variation associée à la moyenne de la hauteur de la première branche est importante. Considérant l'objectif de produire 2 billes de 5 m sans nœuds, une taille de formation serait nécessaire, à ce stade, pour assurer l'atteinte de cet objectif, au moins pour la première bille. De plus, considérant la position dominante des cerisiers tardifs, une taille de formation permettrait de contrôler le développement des branches adventives. Cependant, la présence de nodulier du cerisier dans le peuplement, de même que celle du chancre ayant affecté le bouleau jaune lors de la première taille de formation soulève des questionnements quant à la réalisation d'une seconde taille de formation qui devrait être réalisée avec beaucoup de soin si cette option est retenue.

Tableau 12. Hauteur moyenne de la première branche des arbres étudiés par essence et par traitement

Essence	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd
t1	4.3	3.8	5.5		5.0	4.4	3.9	3.3	1.9			
t1_t1	5.3	5.5	5.3	0.7			4.8	1.7	3.1			
t2	3.4	0.4			6.5		4.9	3.7	1.5			
t2_t3	5.9	5.1			4.8	0.7	4.6	3.1	5.0			
t3	4.5	3.5					5.3	2.1	4.6			
t3_t3	5.3	1.7	8.0		5.4	6.4	5.4	2.3				
tem_t3	5.9	1.3	7.0	1.0	6.5		4.5	2.7	4.5			
tem	3.0	3.0					4.5	2.6			9.5	
Tous trt	4.8	4.2	6.4	2.3	5.4	3.9	4.8	2.8	3.4	3.0	9.5	

Tableau 13. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de hauteur de la première branche par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle	Hauteur moyenne de la première branche				
Nombre d'observations	143				
R ² estimé	0,34				
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Essence	5	102	4,31	0,0013	**
Traitement	7	102	1,41	0,2110	N.S.
Traitement*essence	19	102	0,77	0,7338	N.S.

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

4.2.4. Largeur de cime (Lc)

La largeur moyenne de la cime des arbres étudiés par essence et par traitement est présentée au tableau 14 et les résultats de l'analyse de variance correspondante au tableau 15. On constate que la largeur de la cime varie aussi en fonction des essences, mais pas selon le traitement et qu'il n'y a pas d'interaction entre l'essence et le traitement. Comme pour le diamètre, la hauteur totale et la hauteur de la première branche, la largeur de cime des arbres dominants d'espèces désirées intolérantes est plus élevée que celle des arbres dominants d'espèces plus tolérantes à l'ombre, mais les arbres d'espèces désirées intolérantes sont peu nombreux.

Tableau 14. Largeur de cime moyenne des arbres étudiés par essence et par traitement

Essence	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd
t1	2.8	0.9	2.7		4.7	3.0	2.6	0.6	3.8			
t1_t1	2.8	1.5	4.1	2.8			2.8	1.0	1.9			
t2	2.4	0.4			4.9		2.9	1.8	1.5			
t2_t3	2.4	1.2			5.3	2.1	2.5	3.3	2.3			
t3	3.0	2.1					3.1	1.6	3.1			
t3_t3	3.2	1.3	4.2		3.6	0.9	2.4	1.2				
tem_t3	2.2	0.6	3.3	1.6	3.9		2.3	1.8	3.4			
tem	2.9	2.3					3.2	2.1			2.7	
Tous trt	2.7	1.5	3.5	1.9	4.4	2.2	2.8	1.9	2.6	1.8	2.7	

Tableau 15. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de largeur de cime par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle		Largeur de cime moyenne				
Nombre d'observations		143				
R ² estimé		0,36				
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.	
Essence	5	102	7,75	<0,0001	**	
Traitement	7	102	0,82	0,5732	N.S.	
Traitement*essence	19	102	1,07	0,3969	N.S.	

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

4.2.5. Rapport hauteur/diamètre (H/D)

Le ratio H/D moyen des arbres étudiés par essence et par traitement est présenté au tableau 16 et les résultats de l'analyse de variance correspondante au tableau 17. On constate que le ratio H/D varie aussi en fonction des essences, mais pas selon le traitement et qu'il n'y a pas d'interaction entre l'essence et le traitement. Le ratio H/D moyen est plus faible chez les arbres dominants d'espèces désirées intolérantes, par rapport à celui des espèces plus tolérantes. En d'autres termes, les tiges des arbres d'essences désirées d'espèces intolérantes (principalement celles de cerisier) sont moins graciles que les tiges de bouleau jaune et d'érable à sucre. Dans ce cas également, les différences observées sont associées aux espèces intolérantes qui sont cependant peu nombreuses dans le dispositif.

Tableau 16. Rapport H/D moyen des arbres étudiés par essence et par traitement

Essence	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd
Traitement												
t1	1.43	0.52	1.42		1.02	0.53	1.36	0.84	0.99			
t1_t1	1.32	0.57	0.98	0.20			1.31	0.22	1.56			
t2	1.27	0.36			1.01		1.28	0.70	1.46			
t2_t3	1.54	0.51			0.82	0.49	1.57	0.85	1.13			
t3	1.28	0.55					1.14	0.49	1.15			
t3_t3	1.24	0.74	1.01		0.93	0.54	1.51	0.46				
tem_t3	1.39	0.65	1.07	0.42	0.71		1.89	1.46	1.41			
tem	1.12	0.40					1.13	0.49			1.10	
Tous trt	1.33	0.57	1.08	0.40	0.92	0.44	1.37	0.83	1.28	0.45	1.10	

Tableau 17. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de H/D par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle		Hauteur/Diamètre			
Nombre d'observations		143			
R ² estimé		0,45			
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Essence	5	102	5,75	<0,0001	**
Traitement	7	102	1,66	0,1260	N.S.
Traitement*essence	19	102	0,97	0,5056	N.S.

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

4.2.6. Coefficient d'espace vital (CEV)

Le coefficient d'espace vital moyen (CEV=Lc/DHP) des arbres étudiés par essence et par traitement est présenté au tableau 18 et les résultats de l'analyse de variance correspondante au tableau 19. On constate que le CEV varie aussi en fonction des essences, mais pas selon le traitement et que l'interaction entre l'essence et le traitement n'est pas significative. La principale différence est induite par l'érable rouge, pour lequel le coefficient d'espace vital est plus élevé par rapport aux autres essences. Il est notamment plus élevé dans t2, ainsi que dans tem_t3 mais dans une moindre mesure. Étant donné que ces résultats concernent l'érable rouge, espèce qui a été intégrée aux arbres étudiés à défaut de tiges d'essences désirées, ces résultats présentent peu d'intérêt.

Tableau 18. Coefficient d'espace vital moyen des arbres étudiés par essence et par traitement

Essence Traitement	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd
t1	0.35	0.21	0.26		0.26	0.04	0.31	0.10	0.29			
t1_t1	0.30	0.23	0.28	0.10			0.31	0.03	0.24			
t2	0.29	0.14			0.27		0.29	0.08	0.64			
t2_t3	0.29	0.19			0.32	0.07	0.33	0.12	0.29			
t3	0.30	0.07					0.28	0.06	0.29			
t3_t3	0.30	0.08	0.29		0.24	0.08	0.34	0.10				
tem_t3	0.27	0.11	0.26	0.06	0.20		0.37	0.09	0.40			
tem	0.33	0.19					0.31	0.05			0.19	
Tous trt	0.30	0.17	0.27	0.06	0.26	0.09	0.31	0.17	0.36	0.29	0.19	

Tableau 19. Caractéristiques et probabilités associées au modèle de coefficient d'espace vital par essence et par traitement

Caractéristiques statistiques du modèle		Coefficient d'espace vital			
Nombre d'observations					143
R ² estimé					0,37
Effets fixes du modèle	Num d.l.	Den d.l.	F _{calculé}	PR > F	Diff. sign.
Essence	5	102	2,37	0,0445	*
Traitement	7	102	1,08	0,3789	N.S.
Traitement*essence	19	102	1,65	0,0584	N.S.

N.S. aucune différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

* différence significative à un niveau de probabilité de 95 %

** différence significative à un niveau de probabilité de 99 %

4.2.7. Distance par rapport à la compétition

L'effet de la compétition sur le diamètre moyen et la hauteur des arbres étudiés ont été évalués pour mettre en évidence la relation existant entre la distance de la compétition et le diamètre, ainsi que la hauteur des arbres étudiés, pour chacune des essences.

Dans le dispositif, la compétition se situe entre 0 et 4 m par rapport aux arbres étudiés. Le diamètre moyen des arbres étudiés varie en fonction de l'essence et de la distance de la compétition ($prF < 0,0001$ dans les 2 cas). Quant à la hauteur, elle varie en fonction de l'essence ($prF < 0,0001$). Toutefois, l'effet de la distance de la compétition n'est pas significatif pour le moment, mais il se situe près du seuil $\alpha = 5 \%$. Le diamètre et la hauteur des arbres étudiés sont proportionnels à la distance par rapport à la compétition (figures 8 et 9).

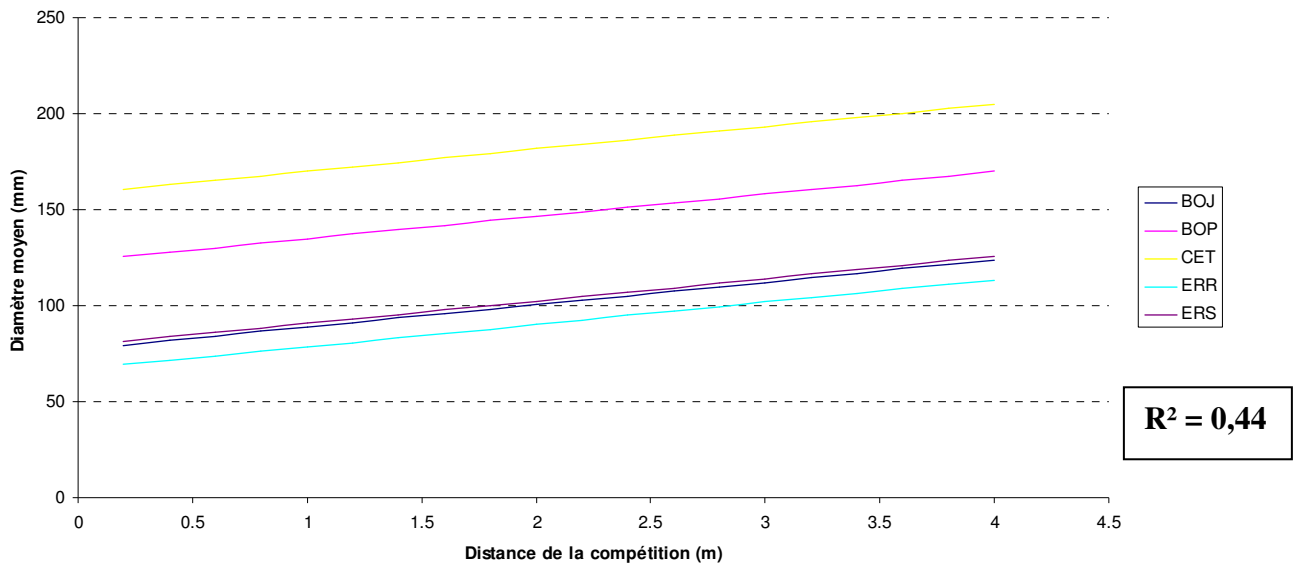


Figure 8. DHP de l'arbre étude en fonction de la distance de la compétition pour chaque essence

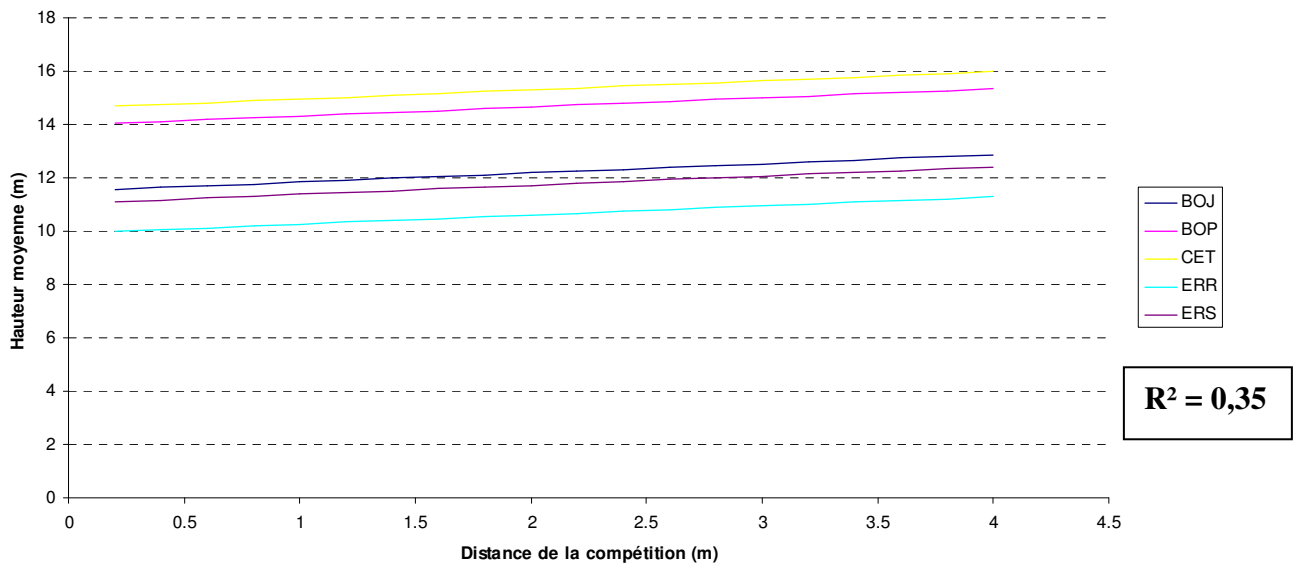


Figure 9. Hauteur de l'arbre étude en fonction de la distance de la compétition pour chaque essence

Les compétiteurs de l'arbre étude étaient constitués de 40% d'érable à sucre, 26% de bouleau jaune, 19% d'érable rouge, 6% de cerisier tardif et 4% de bouleau à papier.

Dans l'ensemble du dispositif, 78% des arbres études ont des compétiteurs d'essence désirée. En général, la proportion d'arbres études dont le principal compétiteur n'est pas d'essence désirée a tendance à être plus élevée dans les portions où une seule intervention a été effectuée. Par exemple, le dégagement de cimes (t3) comporte 41% de compétition non désirée, le dégagement avec taille de formation (t2), 39%, le dégagement par puits de lumière (t1), 28% et le témoin (tem), 29%, tandis que les doubles dégagements de cimes en comportent 29% pour t1_t1, 6% pour t2_t3, 0% pour t3_t3 et 1% pour tem_t3. **Ce résultat suggère que le double dégagement de cimes limite la compétition par les essences non désirées.**

4.2.8. Autres caractéristiques des arbres études

Afin de compléter l'analyse descriptive des arbres études, des analyses de fréquence ont été réalisées pour l'ensemble des 143 arbres études. Seuls les points saillants issus de cet exercice sont rapportés.

La répartition de l'échantillon par classe sylvicole révèle que 73% des arbres études appartenaient à la classe sylvicole « avenir », 23% à la classe « remplissage », 3% à la classe « gênant » et 1% à la classe « hygiène ». Les arbres études ne correspondent donc pas nécessairement à des arbres d'avenir d'essence désirée, puisque dans certains cas, le traitement ne prévoit pas le retrait des tiges d'essence ou de classe sylvicole non désirée qui les surplombent (ex : tiges situées à l'extérieur du rayon dégagé dans le traitement 1 ou témoin sans dégagement).

Quant au statut des arbres études en regard de la libre croissance, sur les 143 arbres études, seuls 3 arbres études étaient considérés comme libres de croître lorsque l'on appliquait la méthode décrite à la figure 3, et ce, même dans les dégagements récents. Ces résultats ne sont cependant pas surprenants considérant qu'avec des arbres d'une hauteur de 12 m (hauteur moyenne du BOJ), il faudrait une distance de 4 m entre les tiges pour qu'ils soient considérés comme libres de croître, ce qui correspondrait à une densité de 625 tiges/ha, laquelle s'avère cependant trop faible pour assurer la formation de bois de qualité dans un bas perchis, tel que celui échantillonné. Il apparaît donc que la méthode utilisée pour l'évaluation du statut de l'arbre en regard de la libre croissance ne soit pas adaptée au stade de croissance du peuplement échantillonné et qu'elle devrait être révisée.

5. DISCUSSION

5.1. EFFET SUR LES ESSENCES NON DESIREES

Les principaux effets observés à la suite des dégagements concernent les essences non désirées. Il s'agit là d'un phénomène normal considérant la nature des interventions réalisées, puisque celles-ci visent à contrôler le développement de la cohorte d'arbres en régénération de façon à obtenir une composition en essences désirées, tout en maintenant la densité à un niveau suffisant pour assurer la production de bois de qualité. Il n'est donc pas surprenant de constater que le traitement n'a pas d'incidence sur la densité totale, mais qu'il en a sur les densités d'espèces désirées et non désirées. On observe en effet une tendance à y avoir une plus grande proportion d'essences non désirées dans le témoin, alors que cette proportion est généralement plus faible dans les dégagements de cimes récents. Il semble donc que le double dégagement de cimes permette un meilleur contrôle de la compétition. D'ailleurs, à ce stade, le principal effet de traitement observé concerne l'érable rouge dont la densité et le diamètre moyen ont été réduits à la suite des seconds traitements de dégagement.

5.2. EFFET SUR LES CARACTERISTIQUES DES ARBRES ETUDIEES

Les caractéristiques des arbres étudiés varient principalement selon l'espèce d'arbre. Les essences désirées intolérantes à l'ombre présentes (CET et BOP) se sont développées davantage (plus fort DHP, plus grande hauteur, plus grosse cime, ratio H/D plus faible) par rapport aux essences désirées, notamment le bouleau jaune. En revanche, il y a peu de différences associées au traitement, ce qui est cohérent avec les résultats de 2008 et le fait que le second dégagement soit trop récent pour avoir un effet sur le développement des arbres d'espèces désirées. Les seules différences significatives observées concernent la hauteur moyenne des espèces. Le cerisier tardif et le bouleau à papier étant plus grands que les bouleaux jaunes ou les érables à sucre.

5.3. CONDUITE DE PEUPEMENT

L'élagage naturel étant assurément encore en cours, la hauteur moyenne de la première branche indique que nous sommes sur la bonne voie et que nous avons déjà, à 26 ans, près de 5 m sans branches. La cohorte de tiges utiles est maintenant constituée de quelques cerisiers tardifs et de bouleaux à papier plus grands que les bouleaux jaunes ou les érables à sucre. Cette constitution permet d'avoir des tiges de remplacement et de mieux gérer le risque associé à la mortalité. Dans une optique d'intensification de l'aménagement, la présence de ces tiges à ce stade de développement est très intéressante puisqu'elle permettra de rentabiliser les prochains travaux d'éclaircie commerciale. Ciblés sur des superficies restreintes, la culture en futaie régulière (équienne) devient donc une tactique sylvicole valable, notamment pour la revitalisation de forêts dégradées.

5.4. DIFFICULTES DE LA TAILLE DE FORMATION

La réalisation de la taille de formation à 11 ans avait favorisé la transmission d'un chancre parmi les bouleaux jaunes, ce qui souligne la nécessité d'appliquer ce traitement avec beaucoup de précautions. Il faut prendre des précautions particulières pour nettoyer les outils de coupe, cette précaution pourrait prévenir l'infection des arbres taillés. La taille de formation devrait être effectuée seulement sur des arbres d'avenir dominants dans le peuplement et en ne prélevant pas plus de 30 % de la cime vivante (Lupien, 2009). De plus, il faut s'assurer que cette opération soit effectuée au bon moment de l'année afin de donner le maximum de chance à l'arbre de cicatriser en vue de la montée de sève printanière. L'érable et le bouleau doivent être taillés durant leur stade de croissance active, c'est-à-dire au milieu de l'été. Élaguées hâtivement au printemps, ces espèces risquent de perdre une quantité excessive de sève. L'élagage de l'érable et du bouleau ne doit pas non plus se faire trop tard à l'automne, car les blessures n'auront pas le temps de se cicatriser avant l'hiver¹.

D'autre part, la réalisation hâtive de la taille de formation a engendré des retards de croissance chez les bouleaux jaunes qui présentent toujours un diamètre moyen parmi les plus faibles dans

¹ <http://www4.agr.gc.ca/AAFC-AAC/display-afficher.do?id=1198784687024&lang=fra>, en ligne le 30 juin 2011

ce traitement. 26 ans après coupe, la taille de formation serait appropriée, mais les conditions sanitaires du peuplement soulèvent des craintes quant à sa réalisation.

Avant de conclure que la taille de formation et l'élagage du bouleau jaune n'ont pas d'effet sur les caractéristiques des tiges d'avenir, l'installation de nouveaux dispositifs expérimentaux dans différentes régions de la province permettrait de mieux documenter ces éléments en tenant compte des recommandations émises dans le présent rapport et dans la littérature.

6. RECOMMANDATIONS

6.1. RECOMMANDATIONS POUR LA TAILLE DE FORMATION

- 1) Nettoyer les outils de coupe; cette précaution pourrait prévenir l'infection des arbres taillés.
- 2) Il faut s'assurer que la taille de formation est effectuée sur des arbres d'avenir dominants dans le peuplement.
- 3) Ne pas prélever plus de 30 % de la cime vivante.
- 4) Il faut s'assurer que cette opération soit effectuée au bon moment de l'année afin de donner le maximum de chance à l'arbre de cicatriser en vue de la montée de sève printanière. L'érable et le bouleau doivent être taillés durant leur stade de croissance active, c'est-à-dire au milieu de l'été. Il faut éviter l'élagage printanier et pendant période de dormance.

6.2. RECOMMANDATIONS POUR LA CONDUITE DE PEUPEMENT

- 1) La culture en futaie régulière (équienne) est une tactique sylvicole valable, notamment pour la revitalisation de forêts dégradées.
- 2) Constituer une cohorte de tiges utiles permet par la suite une sélection en qualité et permet d'avoir des tiges de remplacement pour mieux gérer le risque, ce qui est important pour une espèce peu plastique comme le bouleau jaune.
- 3) Conserver un peuplement serré (haute densité) favorise l'élagage naturel pour l'obtention du bois d'œuvre.

6.3. RECOMMANDATIONS POUR LES SUIVIS

- 1) D'autres suivis sont à prévoir avant les prochaines interventions puisqu'ils permettront de tracer l'évolution des variables étudiées. Pour ce faire, il est important de veiller à ce que le dispositif demeure intact. Le suivi à plus long terme permettra de valider les hypothèses avancées dans cette étude et de confirmer quels sont les meilleurs traitements à administrer pour ce type de peuplement.
- 2) Lors des prochains suivis, porter une attention particulière à la qualité des fûts pour tenter de quantifier l'impact du dégagement de la cime sur celle-ci.

CONCLUSION

Le développement de tiges vigoureuses en essences désirées est primordial à l'obtention, à terme, d'un peuplement économiquement intéressant de par sa composition en essences et la qualité des tiges qui le composent. Bien que les résultats n'aient pas permis de déterminer lequel des traitements était à privilégier pour l'éducation des fourrés en regard des variables retenues (diamètre, largeur de cime, hauteur sans branche et hauteur), il ressort tout de même qu'il demeure pertinent de dégager la cime des arbres d'avenir à ce stade afin de s'assurer qu'ils feront partie de l'étage dominant lors de leur passage du stade de gaules au stade de perches. Il est important de s'assurer qu'un maximum d'individus vigoureux et de qualité puissent atteindre l'étage des dominants. Ces derniers, grâce à leur position hiérarchique supérieure, jouissent alors de conditions de croissance optimales. Leur survie, bien que loin d'être assurée, est toutefois grandement favorisée, ce qui laisse entrevoir l'atteinte, par ces individus, du stade de futaie économiquement intéressant.

L'approche équiennne, si elle est convenablement appliquée, représente donc une avenue intéressante pour permettre une revitalisation des forêts dégradées. Dans ce cadre, l'éducation des peuplements de bouleau jaune issus de coupes de régénération représente une étape critique.

La réalisation, en 2010, d'une nouvelle prise de mesure accompagnée du rafraîchissement du dispositif, a fourni les bases nécessaires à la poursuite du suivi de ce dispositif. Les résultats obtenus serviront de référence pour ces suivis puisqu'ils reflètent les conditions immédiatement après la réalisation du second dégagement.

Un suivi dans le temps sera toutefois nécessaire afin de faire la lumière sur l'amélioration de la qualité des tiges propre à chacun des traitements expérimentés et sur le taux de survie de celles-ci entre les différents stades évolutifs du peuplement.

RÉFÉRENCES

- Angers, A.V., C. Messier, M. Beaudet et A. Leduc.** 2005. Comparing composition and structure in old-growth and harvested (selection and diameter-limit cuts) northern hardwood stands in Quebec. *Forest Ecology and Management*. 217: 275-293.
- Archambault, L., J. Morissette et M. Bernier-Cardou.** 1998. Forest succession over a 20-year period following clearcutting in balsam fir-yellow birch ecosystems of eastern Quebec, Canada. *Forest Ecology and Management*. 102: 61-74.
- Beaudet, M. et C. Messier.** 1998. Growth and morphological responses of yellow birch, sugar maple, and beech seedlings growing under a natural light gradient. *Canadian Journal of Forest Research*. 28: 1007-1015.
- Bédard, S. et Z. Majcen.** 2001. Ten years response of sugar maple-yellow-birch-beech stands to selection cutting in Quebec. *North. J. Appl. For.* 18 (4): 119-126.
- Bellefleur, P. et G. Larocque.** 1983. Comparaison de la croissance d'espèces ligneuses en milieu ouvert et sous-couvert forestier. *Can. J. For. Res.* 13, p. 508-513.
- Blouin, D., P. Bournival, G. Lessard et J.-F. Dubé.** 2009. Suivi après 13 ans des travaux de dégagement de la régénération naturelle de bouleau jaune dans un gaulis de 11 ans situé dans l'érablière à bouleau jaune de l'Outaouais. CERFO, rapport No 2009-25. 56 p.
- Blouin, D., G. Lessard et B. Ménard.** 1999. Suivi des travaux de dégagement de la régénération naturelle de bouleau jaune dans une érablière à bouleau jaune de l'Outaouais. CERFO rapport No 99-08. 53 p.
- Blum, B.M. et S.M. Filip.** 1963. A demonstration of four intensities of management in Northern Hardwoods. *USDA For. Serv. Res. Pap. NE-4*. 16 p.
- Crcha, J. et F. Trottier.** 1991. Guide de traitements sylvicoles – Les feuillus tolérants. Service des techniques d'intervention forestière. Ministère des Forêts. 55 p.
- Crow, T.R., D.S. Buckley, E.A. Nauertz, et J.C. Zasada.** 2002. Effects of management on the composition and structure of northern hardwood forests in Upper Michigan. *Forest Science*. 48 (1): 129-145.

- Erdmann, G.G.** 1990. *Betula alleghaniensis* Britton - Yellow Birch. In: Burns, R.M. et B.H. Honkala, Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods. USDA For. Serv. 133-147.
- Erdmann, G.G., R.M. Peterson Jr., et R.M. Godman.** 1981. Cleaning yellow birch seedling stands to increase survival, growth, and crown development. Can. J. For. Res. 11 : 62-68.
- Forestier en chef.** 2006a. Portrait des forêts feuillues et mixtes à feuillus durs du Québec. Fiche thématique. [En ligne] http://www.forestierenchef.gouv.qc.ca/fichiers/documents/contenu/Fiche_Feuillus1_Portrait.pdf (page consultée le 20 novembre 2008).
- Fraver, S., A.S. White et R.S. Seymour.** 2009. Natural disturbance in an old-growth landscape of northern Maine, USA. Journal of Ecology. 97: 289-298.
- Huot, M. et F. Savard.** 2001. Résultats de 15 ans de l'éclaircie précommerciale dans l'érablière à bouleau jaune à Duchesnay, Québec. Note de recherche forestière n° 113, Direction de la recherche forestière. 17 p.
- Hutnik, R.J.** 1958. Diameter-limit cuttings in West Virginia Hardwoods - A 5-years report. USDA For. Serv. Sta. Pap. 106. 13 p.
- Kenefic, L.S., P.E Dendak et J.C. Brissette.** 2005. Comparison of fixed diameter-limit and selection cutting in northern conifers. North. J. Appl. For. 22 (2): 77-84.
- Lafèche, V., J-C. Ruel et L. Archambault.** 2000. Évaluation de la coupe avec protection de la régénération et des sols comme méthode de régénération de peuplements mélangés du domaine bioclimatique de la sapinière à bouleau jaune de l'est du Québec, Canada. The Forestry Chronicle. 76 (4) : 653- 663.
- Lanier, L.** 1994. Précis de sylviculture. École Nationale du génie rural, des eaux et des forêts, 2^e éd., 477 p.
- Leak, W.B. et P.E. Sendak.** 2002. Changes in species, grade and structure over 48 years in a managed New England northern hardwood stand. North. J. Appl. For. 19 (1): 25-27.
- Lessard, G. et D. Blouin.** 1997. Contribution au développement de scénarios sylvicoles dans les érablières à bouleau jaune équiennes de l'Outaouais. CERFO. Rapport 1997-01. 56 p. + 7 annexes.

- Linteau, A.** 1948. Factors affecting germination and early survival of yellow birch in Quebec. *The Forestry Chronicle*. 24: 27-86.
- Neuendorff, J.K, L.M. Nagel, C.R. Webster, et M.K. Janowiak.** 2007. Stand structure and composition in a northern hardwood forest after 40 years of single-tree selection. *North. J. Appl. For.* 24 (3): 197-202.
- North, M.P. et W.S. Keeton.** 2008. Emulating Natural Disturbance Regimes: an Emerging Approach for Sustainable Forest Management. *In: Laforteza, R., et al., directeurs. Patterns and Processes in Forest Landscapes.* Springer Netherlands, p. 341-372.
- Nyland, R.D.** 1992. Exploitation and Greed in Eastern Hardwood Forests. *J. For.* 90 (1): 33-37.
- Oliver, C.D. et B.C. Larson.** 1996. *Forest stand dynamics.* Update edition. John Wiley & Sons inc. 520 p.
- Ouellet, D. et R. Zarnovican.** 1988. Cultural treatment of young yellow birch (*Betula allghaniensis* Britton) stands: tree classification and stand structure. *Can. J. For. Res.* 18: 1581-1586.
- Pham, C.H.** 1985. Thinning of young Hardwood regeneration in southeastern West Virginia. [En ligne] <http://www.ncrs.fs.fed.us/pubs/ch/ch05/CHvolume05page025.pdf> (page consultée le 7 mai 2009).
- Robitaille, L. et J.-L. Boivin.** 1987. Résultat, après 10 ans, d'une coupe à diamètre minimum d'exploitation dans un peuplement feuillu. *The Forestry Chronicle*. 63 (1) : 15-19.
- Saucier, J-P. et A. Robitaille.** 1998. *Paysages régionaux du Québec méridional.* Publication du Québec. 70 p.
- Schuler, T.M.** 2004. Fifty years of partial harvesting in a mixed mesophytic forest: composition and productivity. *Can. J. For. Res.* 34: 985-997.
- Schütz, J.-P.** 1990. *Sylviculture 1 : Principes d'éducation des forêts.* Collection gérer l'environnement, Presses polytechniques et universitaires romandes, p. 108-243.

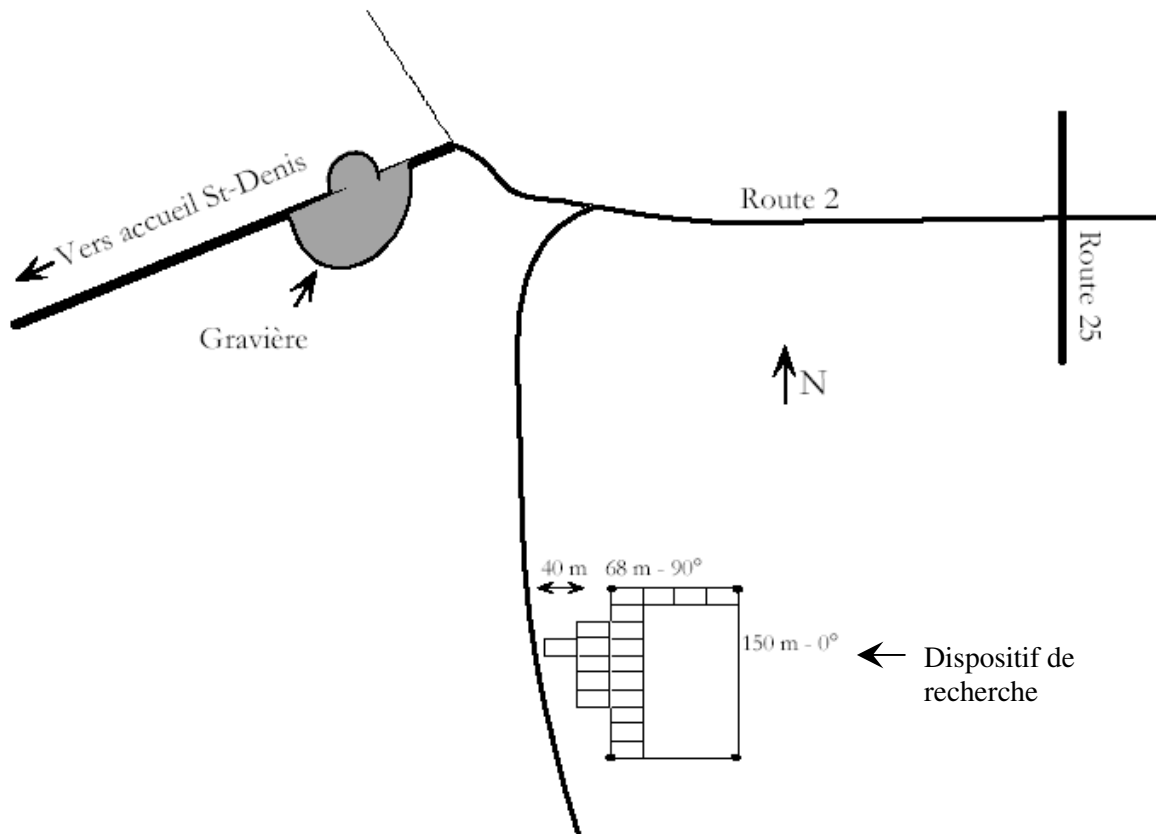
Tubbs, C.H. et D.R. Houston. 1990. *Fagus grandifolia* Ehrh. – American Beech. *In:* Burns, R.M. et B.H. Honkala, Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods. USDA For. Serv. 653-667.

Von Althen, F.W., J.E. Wood, E.G. Mitchell et K. Hoback. 1994. Effects of different intensities of yellow birch and sugar maple crop tree release. Northern Forestry Program. MNR. 16 p.

Walters, R.S. et H.W. Yawney. 1990. *Acer rubrum* L. – Red Maple. *In:* Burns, R.M. et B.H. Honkala, Silvics of North America. Volume 2. Hardwoods. USDA For. Serv. 164-179.

ANNEXE 1. LOCALISATION DU DISPOSITIF

Le dispositif est accessible par la route 2 en passant par l'accueil Saint-Denis de Val-des-Bois. Il se trouve au sud de la route 2, entre la route 1 et la route 25. Après l'intersection de la route 1 dans le secteur des coupes par bandes, il faut emprunter le premier chemin à droite après la gravière. Le dispositif est situé à 40 mètres à l'est du chemin d'accès.



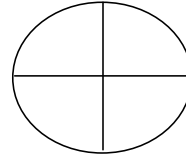
ANNEXE 2. FORMULAIRE DE PRISE DE DONNÉES

Formulaire de prise de données pour le suivi du bouleau jaune (Volet 1 - 22 ans)

Nom _____

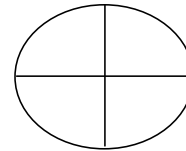
Placette de 2,82 m de rayon (25 m²)

Arbres études	No tige	Ess	DHP (cm)	Classe sylvicole	No pe	
					MSCR	Commentaires
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					



	LC2			
	LC1			
	HB			
	HT			
Arbres études				
	Libre de croître			
	Comp. Ess.			
	Comp. Hau.			
	Comp. Dist.			

Arbres études	No tige	Ess	DHP (cm)	Classe sylvicole	No pe	
					MSCR	Commentaires
	1					
	2					
	3					
	4					
	5					
	6					
	7					
	8					
	9					
	10					
	11					
	12					
	13					
	14					
	15					
	16					
	17					
	18					
	19					
	20					



	LC2			
	LC1			
	HB			
	HT			
Arbres études				
	Libre de croître			
	Comp. Ess.			
	Comp. Hau.			
	Comp. Dist.			

Étage : D : Dominant, C : Codominant, I : Intermédiaire, O : Opprimé, V : Vétéran
Classe sylvicole : A : Avenir, G : Gênant, H : Hygiène, R : Remplissage

Projet 10-0556, 2010-09-29

ANNEXE 3. RÉSULTATS DÉTAILLÉS POUR LES DENSITÉS

Tableau 1 : Densité par essence, par bloc et par traitement

Essence	Bloc		2					4					5				
	Traitement		t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3	Tous	t1	t2	t3	tem	Tous	t1	t2	t3	tem	Tous
BOJ	Ti/ha		2802	1067	467	934	1318	1868	400	2402	1334	1501	467	334	534	133	367
	2sd		5604	2135	934	1868	3267	3736	801	4803	2668	2970	934	667	1067	267	815
BOP	Ti/ha		0	0	0	0	0	67	0	0	0	17	0	133	0	33	
	2sd		0	0	0	0	0	133	0	0	0	163	0	267	0	226	
CET	Ti/ha		0	0	67	67	33	267	267	67	133	183	801	0	0	133	233
	2sd		0	0	133	133	226	534	534	133	267	817	1601	0	0	267	1130
EPB	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	0	17
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	133	0	163
EPR	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	67	17	0	0	0	0	0
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	133	163	0	0	0	0	0
ERS	Ti/ha		267	3135	5737	2668	2952	3202	3869	1601	2135	2702	3135	5537	2001	2001	3169
	2sd		534	6271	11474	5337	7093	6404	7739	3202	4270	5053	6271	11074	4003	4003	4320
ERE	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	734	183	0	0	0	0	0
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	1468	1635	0	0	0	0	0
ERP	Ti/ha		0	133	0	0	33	267	934	67	734	500	67	0	67	67	50
	2sd		0	267	0	0	226	534	1868	133	1468	1402	133	0	133	133	270
ERR	Ti/ha		133	600	801	801	584	4403	4003	1134	2468	3002	1534	534	1734	2135	1484
	2sd		267	1201	1601	1601	1686	8806	8005	2268	4937	4102	3069	1067	3469	4270	2867
HEG	Ti/ha		0	400	67	200	167	0	67	400	200	167	133	0	67	467	167
	2sd		0	801	133	400	881	0	133	801	400	743	267	0	133	934	1178
PET	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	67	67	0	0
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PEG	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	33
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	226
PRP	Ti/ha		0	0	0	0	0	400	334	0	200	233	0	133	67	0	50
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	0	1027	0	133	133	0	270
SAB	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	200	267	0	117
	2sd		0	0	0	0	0	801	667	0	400	0	0	267	133	0	601
Toutes	Ti/ha		3202	5 337	7 138	4 670	5087	10 474	9 873	5 670	8 005	8506	6 137	6 938	4 870	4 937	5721
	2sd		4355	3 066	10 745	3 107	6458	9 545	5 962	4 279	2 532	6896	5 350	6 936	3 630	5 229	5349

Tableau 1 (suite) : Densité par essence, par bloc et par traitement

Essence	Bloc		6					7					8				
	Traitement		t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3	Tous	t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3	Tous	t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3	Tous
BOJ	Ti/ha		1268	267	1601	2268	1351	1534	400	600	2201	1184	1534	1668	1868	3402	2118
	2sd		0	0	0	0	3174	133	0	0	0	2915	0	267	0	0	4285
BOP	Ti/ha		0	0	0	133	33	133	0	0	267	100	67	133	67	200	117
	2sd		0	0	133	133	327	534	534	133	267	354	1601	0	0	267	500
CET	Ti/ha		0	133	0	67	50	0	200	200	0	100	200	267	0	200	167
	2sd		0	0	0	0	270	0	0	0	0	487	0	0	133	0	467
EPB	Ti/ha		0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2sd		0	0	0	0	0	0	0	0	133	0	0	0	0	0	0
EPR	Ti/ha		0	0	0	67	17	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
	2sd		534	6271	11474	5337	163	6404	7739	3202	4270	0	6271	11074	4003	4003	0
ERS	Ti/ha		1734	2135	2135	1668	1918	1401	4536	6871	2068	3719	2668	3269	5337	1801	3269
	2sd		0	0	0	0	3857	0	0	0	1468	5790	0	0	0	0	6186
ERE	Ti/ha		0	0	133	0	33	133	133	0	0	67	0	0	0	0	0
	2sd		0	267	0	0	327	534	1868	133	1468	385	133	0	133	133	0
ERP	Ti/ha		0	200	0	133	83	200	0	0	67	67	400	267	0	0	167
	2sd		267	1201	1601	1601	577	8806	8005	2268	4937	305	3069	1067	3469	4270	621
ERR	Ti/ha		600	1801	1201	1534	1284	3069	467	67	867	1117	1268	2201	67	334	967
	2sd		0	801	133	400	2252	0	133	801	400	3032	267	0	133	934	2336
HEG	Ti/ha		133	67	334	67	150	1001	133	133	0	317	133	133	133	67	117
	2sd		0	0	0	0	877	0	0	0	0	2453	0	133	133	0	500
PEG	Ti/ha		67	0	67	67	33	0	0	0	33	0	0	0	0	0	0
	2sd		0	0	0	0	226	0	0	0	327	0	0	0	0	0	0
PET	Ti/ha		67	0	67	0	50	0	0	0	133	0	0	0	0	0	0
	2sd		0	0	0	0	270	0	0	0	0	0	0	0	0	0	0
PRP	Ti/ha		67	0	67	67	50	0	67	0	0	17	0	0	0	0	0
	2sd		0	0	0	0	270	801	667	0	400	163	0	267	133	0	0
SAB	Ti/ha		0	67	67	0	33	0	0	67	0	17	0	67	0	0	17
	2sd		0	0	0	0	226	0	0	0	163	0	400	534	0	0	163
Toutes	Ti/ha		3 936	4 670	5 670	6 071	5087	7 472	5 937	7 939	5 604	6738	6 271	8 005	7 472	6 004	6938
	2sd		3 666	3 024	4 788	6 950	4829	5 105	6 063	3 935	2 207	4708	7 487	1 894	6 357	4 326	5355

Tableau 2 : Diamètre moyen par essence, par bloc et par traitement

Essences	Bloc		2				4				5			
	Traitement		t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3	t1	t2	t3	tem	t1	t2	t3	tem
BOJ	Diamètre (cm)		7	8	4	6	4	4	5	5	7	8	6	6
	2sd		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BOP	Diamètre (cm)						10				10			
	2sd										1			
CET	Diamètre (cm)				22	22	10	13	22	14	15			10
	2sd							1		1	1			
EPB	Diamètre (cm)											8		
	2sd													
EPR	Diamètre (cm)								20					
	2sd													
ERS	Diamètre (cm)		3	5	4	4	3	5	5	4	4	5	6	7
	2sd			1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ERE	Diamètre (cm)									4				
	2sd									1				
ERP	Diamètre (cm)			2			2	3	2	3	2		6	4
	2sd			1			1	1	1	1				
ERR	Diamètre (cm)		8	3	4	4	4	3	6	5	8	8	8	7
	2sd		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HEG	Diamètre (cm)			2	2	3		2	5	5	2		2	2
	2sd			1	1	1			1	1				
PEG	Diamètre (cm)													
	2sd													
PET	Diamètre (cm)										8		10	
	2sd													
PRP	Diamètre (cm)						8	8		11	9		10	
	2sd						1				1			
SAB	Diamètre (cm)										3		2	
	2sd												1	

Tableau 2 (suite) : Diamètre moyen par essence, par bloc et par traitement

Essences	Bloc		6				7				8			
	Traitement		t1	t2	t3	tem	t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3	t1_t1	t2_t3	t3_t3	tem_t3
BOJ	Diamètre (cm)		7	7	7	7	4	5	5	4	4	4	6	4
	2sd		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
BOP	Diamètre (cm)					14	14			10	4	11	14	16
	2sd						1			1			1	
CET	Diamètre (cm)			17		18		12	14		11	7		15
	2sd			1				1	1		1	1		1
EPB	Diamètre (cm)													
	2sd													
EPR	Diamètre (cm)					8								
	2sd													
ERS	Diamètre (cm)		4	5	8	4	4	3	3	4	3	3	4	5
	2sd		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
ERE	Diamètre (cm)				4		2	2						
	2sd							1						
ERP	Diamètre (cm)			2		2	2			2	2			
	2sd						1				1			
ERR	Diamètre (cm)		10	7	6	8	3	3	4	3	4	4	2	4
	2sd		1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
HEG	Diamètre (cm)		2	6	2	2	3	2	3		2	2	2	2
	2sd								1				1	
PEG	Diamètre (cm)		12		8					19				
	2sd													
PET	Diamètre (cm)		12		6	14								
	2sd													
PRP	Diamètre (cm)		14		10	10		4						
	2sd													
SAB	Diamètre (cm)			2	4				2		2			
	2sd													

ANNEXE 4. RÉSULTATS DÉTAILLÉS POUR LES ARBRES ÉTUDES

Tableau 1 : Diamètre moyen (DHP en mm) des arbres étudiés par essence, par bloc et par traitement

bloc	Essence Traitement	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
		DHP(mm)	2sd	DHP(mm)	2sd	DHP(mm)	2sd	DHP(mm)	2sd	DHP(mm)	2sd	DHP(mm)	2sd
2	t1_t1	113	44										
	t2_t3	101	60					155	221				
	t3_t3					196		71	39				
	tem_t3	99	25			196		49	30	85			
4	t1	67		102				85	72	131			
	t2	75						110	128	24			
	t3	105	69					156	192				
	tem	66	17					68	7				
5	t1	79	64			182	117	123					
	t2	96						103	35				
	t3							111	57	104			
	tem							123	32				
6	t1	92	38					69					
	t2					183		99	69				
	t3	94	36					97	42				
	tem	119	78					88				136	
7	t1_t1	59		142	51			85	8	77			
	t2_t3					167	100	62	40	80			
	t3_t3					134	69	66	24				
	tem_t3	62		104	3			61	43				
8	t1_t1	87	38					95	10				
	t2_t3	74	36					47	14				
	t3_t3	110	54	144				87					
	tem_t3	85	14	184				104					

Tableau 2 : Hauteur totale moyenne par essence, par bloc et par traitement

bloc	Essence Traitement	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
		Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd	Haut_tot	2sd
2	t1_t1	15.1	3.9										
	t2_t3	15.3	6.0					14.0	5.7				
	t3_t3					15.5		10.0	2.0				
	tem_t3	12.0	2.8			14.0		9.3	4.9	12.0			
4	t1	11.5		14.5				10.7	1.5	13.0			
	t2	10.5						11.1	2.6	3.5			
	t3	13.1	6.3					13.8	12.0				
	tem	7.6	1.8					9.0	2.8				
5	t1	11.3	3.5			17.5	3.6	12.0					
	t2	11.0						12.5	1.2				
	t3							12.1	1.9	12.0			
	tem							11.9	2.3				
6	t1	12.1	2.7					11.5					
	t2					18.5		12.6	2.3				
	t3	11.5	2.0					12.2	2.3				
	tem	12.1	1.7					13.5				15.0	
7	t1_t1	10.0		13.8	2.1			11.5	1.4	12.0			
	t2_t3					13.0	0.0	10.0	5.2	9.0			
	t3_t3					12.8	2.1	10.3	1.9				
	tem_t3	12.0		12.3	2.1			11.7	3.1				
8	t1_t1	9.9	2.5					12.0	2.8				
	t2_t3	10.8	3.0					9.0	2.8				
	t3_t3	12.9	2.2	14.5				13.0					
	tem_t3	11.5	6.2	15.5				12.0					

Tableau 3 : Hauteur moyenne de la première branche par essence, par bloc et par traitement

Essence		BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
bloc	Traitement	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd	Haut_br	2sd
2	t1_t1	7.6	1.8					4.3	4.9				
	t2_t3	7.6	3.6										
	t3_t3					1.7		4.8	2.3				
	tem_t3	5.8	0.7			6.5		4.7	5.2	4.5			
4	t1	3.0		5.5				3.4	2.2	1.9			
	t2	3.2						4.2	2.8	1.5			
	t3	4.9	1.9					6.0	1.4				
	tem	2.7	1.5					5.0	1.4				
5	t1	6.0	2.8			5.0	4.4	6.5					
	t2	3.5						5.4	2.4				
	t3							5.4	1.6	4.6			
	tem							4.0	2.6				
6	t1	3.9	3.8					3.0					
	t2					6.5		4.9	5.4				
	t3	4.1	5.4					4.5	2.6				
	tem	3.3	4.3					6.0				9.5	
7	t1_t1	3.7		5.3	0.7			4.3	2.1	3.1			
	t2_t3					4.8	0.7	5.0	2.6	5.0			
	t3_t3					7.3	0.7	5.9	1.7				
	tem_t3	6.0		6.8	0.7			4.1	0.8				
8	t1_t1	2.4	2.3					5.3	0.7				
	t2_t3	4.3	4.3					4.5	4.2				
	t3_t3	5.3	1.7	8.0				6.5					
	tem_t3	6.0	1.8	7.5				5.5					

Tableau 4 : Largeur de cime moyenne par essence, par bloc et par traitement

Essence		BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
bloc	Traitement	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd	Lar_cime	2sd
2	t1_t1	2.7	1.5					4.1	5.7				
	t2_t3	2.2	0.9					2.2	1.4				
	t3_t3					3.9		1.7	0.6	3.4			
	tem_t3	1.9	0.4			3.9							
4	t1	2.2		2.7				2.5	0.8	3.8			
	t2	2.6						3.0	2.5	1.5			
	t3	3.1	2.8					3.6	3.0				
	tem	2.5	1.1					2.3	1.3				
5	t1	2.7	1.3			4.7	3.0	2.6					
	t2	2.3						2.6	1.0				
	t3							3.3	1.4	3.1			
	tem							3.9	1.6				
6	t1	3.0	0.6					2.9					
	t2					4.9		3.1	2.0				
	t3	2.9	1.2					2.5	0.4				
	tem	3.4	3.0					2.2				2.7	
7	t1_t1	1.7		4.1	2.8			2.4	0.3	1.9			
	t2_t3					5.3	2.1	2.0	1.1	2.3			
	t3_t3					3.4	0.9	2.3	0.9				
	tem_t3	2.1		2.8	0.5			2.1	1.1				
8	t1_t1	3.1	1.1					3.2	0.4				
	t2_t3	2.6	1.5					1.6	0.7				
	t3_t3	3.2	1.3	4.2				3.3					
	tem_t3	2.4	0.2	4.2				4.0					

Tableau 5 : Rapport H/D (hauteur totale/DHP) moyen par essence, par bloc et par traitement

Essence		BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
bloc	Traitement	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd	H/D	2sd
2	t1_t1	1.37	0.64										
	t2_t3	1.57	0.60					1.12	1.23				
	t3_t3					0.79		1.47	0.61				
	tem_t3	1.21	0.03			0.71		1.92	0.15	1.41			
4	t1	1.72		1.42				1.39	0.96	0.99			
	t2	1.40						1.16	0.71	1.46			
	t3	1.31	0.74					0.94	0.39				
	tem	1.15	0.06					1.33	0.28				
5	t1	1.51	0.78			1.02	0.53	0.98					
	t2	1.15						1.24	0.37				
	t3							1.14	0.54	1.15			
	tem							0.97	0.16				
6	t1	1.34	0.43					1.67					
	t2					1.01		1.40	0.98				
	t3	1.24	0.25					1.28	0.37				
	tem	1.09	0.60					1.53				1.10	
7	t1_t1	1.69		0.98	0.20			1.36	0.30	1.56			
	t2_t3					0.82	0.49	1.64	0.28	1.13			
	t3_t3					1.00	0.68	1.58	0.32				
	tem_t3	1.94		1.18	0.24			2.12	1.97				
8	t1_t1	1.15	0.22					1.27	0.17				
	t2_t3	1.50	0.48					1.91	0.03				
	t3_t3	1.24	0.74	1.01				1.49					
	tem_t3	1.34	0.60	0.84				1.15					

Tableau 6 : Coefficient d'espace vital moyen par essence, par bloc et par traitement

Essence		BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
bloc	Traitement	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd	CEV	2sd
2	t1_t1	0.25	0.17										
	t2_t3	0.22	0.06					0.26	0.01				
	t3_t3					0.20		0.31	0.08				
	tem_t3	0.19	0.09			0.20		0.38	0.35	0.40			
4	t1	0.33		0.26				0.32	0.20	0.29			
	t2	0.34						0.29	0.07	0.64			
	t3	0.29	0.08					0.24	0.11				
	tem	0.38	0.18					0.33	0.15				
5	t1	0.39	0.49			0.26	0.04	0.21					
	t2	0.24						0.25	0.11				
	t3							0.31	0.14	0.29			
	tem							0.31	0.10				
6	t1	0.33	0.13					0.41					
	t2					0.27		0.33	0.21				
	t3	0.31	0.06					0.27	0.11				
	tem	0.27	0.13					0.25				0.19	
7	t1_t1	0.29		0.54	0.84			0.28	0.01	0.24			
	t2_t3					0.32	0.07	0.36	0.36	0.29			
	t3_t3					0.26	0.06	0.37	0.30				
	tem_t3	0.33		0.27	0.05			0.36	0.16				
8	t1_t1	0.38	0.26					0.34	0.00				
	t2_t3	0.36	0.17					0.34	0.25				
	t3_t3	0.30	0.08	0.29				0.38					
	tem_t3	0.29	0.04	0.23				0.38					

Tableau 7 : Distance (m) moyenne de la compétition par essence, par bloc et par traitement

bloc	Essence Traitement	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
		D_comp	2sd	D_comp	2sd	D_comp	2sd	D_comp	2sd	D_comp	2sd	D_comp	2sd
2	t1_t1	1.8	2.5										
	t2_t3	1.1	1.0					1.9	4.8				
	t3_t3					0.2		0.6	1.1				
	tem_t3	0.8	0.7			2.1		1.0	1.2	2.4			
4	t1	1.8		0.7				1.2	0.1	1.6			
	t2	0.5						1.1	3.5	0.8			
	t3	2.1	2.0					2.2	1.2				
	tem	1.2	1.6					1.6	1.6				
5	t1	1.5	1.9			0.1	0.2	0.2					
	t2	2.7						0.5	0.7				
	t3							0.9	1.4	0.1			
	tem							1.3	1.7				
6	t1	1.5	0.7					1.4					
	t2					1.7		0.7	1.1				
	t3	1.0	1.2					0.5	1.1				
	tem	0.7	0.7					0.1				2.3	
7	t1_t1	2.0		3.8				3.3	0.8	2.7			
	t2_t3					2.8	3.5	1.3	1.6	4.1			
	t3_t3					1.7	3.0	0.4	0.8				
	tem_t3	0.1		1.4	3.0			0.6	1.4				
8	t1_t1	2.3	2.1					2.4	1.6				
	t2_t3	1.3	2.4					1.1	2.7				
	t3_t3	1.4	1.7					2.0					
	tem_t3	0.8	0.9	0.3				0.9					

Tableau 8 : Hauteur (m) moyenne de la compétition par essence, par bloc et par traitement

bloc	Essence Traitement	BOJ		BOP		CET		ERS		ERR		PET	
		H_comp	2sd	H_comp	2sd	H_comp	2sd	H_comp	2sd	H_comp	2sd	H_comp	2sd
2	t1_t1	16.1	6.7										
	t2_t3	13.9	8.2					11.5	7.1				
	t3_t3					9.5		9.8	2.6				
	tem_t3	11.8	0.7			11.0		9.0	5.7	12.0			
4	t1	12.0		9.0				9.8	6.1	7.0			
	t2	9.0						9.5	3.2	4.0			
	t3	15.5	11.1					13.5	8.5				
	tem	8.2	3.2					5.7	10.9				
5	t1	11.8	0.7			16.8	2.5	12.5					
	t2	12.0						10.8	3.3				
	t3							11.4	2.8	12.0			
	tem							12.8	3.2				
6	t1	11.9	5.4					11.5					
	t2					15.0		12.3	3.6				
	t3	10.8	4.0					10.8	3.2				
	tem	10.8	3.7					11.0				14.5	
7	t1_t1	7.5		14.5				13.0	4.2	10.5			
	t2_t3					9.5	4.2	10.5	1.7	10.5			
	t3_t3					11.8	6.4	9.4	3.0				
	tem_t3	11.0		12.0	5.7			10.2	1.2				
8	t1_t1	8.8	1.9					9.3	0.7				
	t2_t3	10.5	5.6					8.8	3.5				
	t3_t3	11.8	3.0					13.0					
	tem_t3	10.9	1.5	15.5				10.0					