

UNIVERSITÉ DU QUÉBEC À MONTRÉAL
PROGRAMME DE MAÎTRISE EXTENSIONNÉ À
L'UNIVERSITÉ DU QUÉBEC EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

**ÉVALUATION DU TYPE DE PRÉPARATION DE TERRAIN
ET DE LA FRÉQUENCE DES ENTRETIENS MÉCANIQUES
DE LA VÉGÉTATION COMPÉTITRICE
SUR LA CROISSANCE DU PEUPLIER HYBRIDE**

MÉMOIRE
PRÉSENTÉ
COMME EXIGENCE PARTIELLE
DE LA MAÎTRISE EN BIOLOGIE

PAR
MARIE-EVE SIGOUIN

AVRIL 2008

REMERCIEMENTS

Je tiens à remercier tous ceux qui ont participé de près ou de loin à la réalisation de ce projet à commencer par tous les partenaires industriels et municipaux qui y ont donné leur appui et permis l'installation des dispositifs sur leurs territoires respectifs et particulièrement Jean-Marc St-Amant (Tembec), Sylvain Chouinard (Norbord) et Hans Carignan (MRC Abitibi). Merci à tous ceux qui ont trempé leurs bottes dans le *gumbo* abitibien pendant la mise en place du dispositif ou lors des nombreuses prises de mesures (Roger, Véronique, Amélie, Mike, Chris, Katherine, Guylaine, Line, ma sœur Valérie, Thibault, Marie-Pier, Michel, Matthieu, Alexis, Jeff, Sébastien, Jessica, Alexandra, Ed). Merci tout spécialement à Stéphane Gaussiran, du réseau ligniculture Québec, pour son dévouement, sa passion et ses conseils judicieux. Merci au Centre technologique des résidus industriels, mon employeur, de m'avoir donné l'opportunité de me consacrer à ce projet. Merci également au Conseil de recherche en sciences naturelles et de génie du Canada (CRSNG), à Développement économique Canada et à la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en Aménagement Forestier Durable pour leur appui financier. Finalement, ce projet ne se serait pas concrétisé sans la supervision de ma directrice, Annie DesRochers. Merci pour ta patience, tes précieux conseils, tes encouragements et tes excellents rôtis de porc.

TABLE DES MATIÈRES

LISTE DES FIGURES.....	v
LISTE DES TABLEAUX	vi
RÉSUMÉ	vii
CHAPITRE I	
INTRODUCTION GÉNÉRALE.....	1
1.1 Préparation mécanique des sols	4
1.2 Végétation compétitrice	6
1.3 Expérimentation.....	8
1.4 Références.....	9
CHAPITRE II 13	
EFFET DE LA PRÉPARATION DE TERRAIN EN BUTTES ET DE LA FRÉQUENCE ANNUELLE DES ENTRETIENS MÉCANIQUES DE LA COMPÉTITION HERBACÉE SUR LA CROISSANCE DU PEUPLIER HYBRIDE ET SA SUSCEPTIBILITÉ AUX RONGEURS EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE.....	13
2.1 Résumé.....	14
2.2 Abstract.....	15
2.3 Introduction.....	16
2.4 Méthodologie	18
2.4.1 Sites d'étude	18
2.4.2 Dispositif expérimental	20
2.4.3 Prise de mesures.....	23
2.4.4 Température du sol.....	23
2.4.6 Dégâts causés par les rongeurs.....	25
2.4.7 Analyses statistiques	25
2.5 Résultats.....	26
2.5.1 Survie des plants	26
2.5.2 Croissance après 3 ans	27
2.5.3 Préparation de terrain	28

2.5.4 Entretien de la végétation compétitrice.....	32
2.5.5 Saison de végétation.....	38
2.5.6 La température du sol.....	39
2.5.7 Les rongeurs	42
2.6 Discussion	45
2.7 Conclusion	50
2.8 Remerciements.....	51
2.9 Références.....	52
CHAPITRE III	
CONCLUSION GÉNÉRALE.....	57
RÉFÉRENCES	62
ANNEXE A : Localisation des dispositifs	63
ANNEXE B : Plan des dispositifs et répartition des clones par site	65
ANNEXE C : Analyse de variance (ANOVA) sur la hauteur et le diamètre après 3 ans de croissance.....	70

LISTE DES FIGURES

Figure		Page
2.1	Accroissement en diamètre et en hauteur après trois années de croissance en fonction de la préparation de terrain pour chacun des clones de peuplier hybride sur chacun des sites (les lettres semblables au-dessus des colonnes indiquent des valeurs non significativement différentes).	29
2.2	Taux de photosynthèse en fonction de la préparation de terrain sur le site de Preissac (a) et d'Arntfield (b) pour les deux clones de peuplier hybride confondus.	31
2.3	Surface foliaire en 2005 selon la préparation de terrain sur chacun des sites.	31
2.4	Accroissement en diamètre et en hauteur pour les trois années de croissance en fonction de la fréquence annuelle des entretiens mécaniques pour chacun des clones de peuplier hybride sur chacun des sites.	33
2.5	Surface foliaire (cm ²) en 2005 en fonction de la fréquence d'entretien annuel sur chacun des sites.	36
2.6	Taux de photosynthèse en fonction de la fréquence des entretiens annuels sur le site de Preissac (a) et d'Arntfield (b) en 2006.	37
2.7	Sévérité des dégâts causés par les rongeurs en fonction de la préparation de terrain sur le site de Preissac.	42
2.8	Sévérité des dégâts causés par les rongeurs en fonction de la fréquence annuelle des entretiens sur le site de Preissac.	43
2.9	Sévérité des dégâts causés par les rongeurs sur le site de Preissac en fonction du clone.	44

LISTE DES TABLEAUX

Tableau		Page
2.1	Analyse de sol à une profondeur de 15 cm	19
2.2	Écarts entre les fréquences des entretiens mécaniques prévus et réalisés par année pour chacun des sites	22
2.3	Description des stades de débourrement et d'aoûtement	24
2.4	Classe de sévérité des dégâts causés par les rongeurs	25
2.5	Nombre d'arbres morts en fonction du clone, de la préparation de terrain et de la fréquence des entretiens mécaniques par site et par année.	26
2.6	Croissance annuelle et totale en hauteur (cm) et en diamètre au collet (mm) en fonction des clones par site.	27
2.7	Variation de la hauteur des buttes (cm) en fonction de la fréquence des entretiens en 2005 et 2006.	30
2.8	Recouvrement et hauteur de la végétation herbacée en 2005 et 2006 en fonction des entretiens mécaniques.	34
2.9	Corrélations de Pearson entre le pourcentage de recouvrement et la hauteur de la végétation herbacée en 2005 et 2006, et l'accroissement en diamètre et en hauteur après 3 saisons de croissance. (<i>Seuil $p < 0,05$</i>)	35
2.10	Recouvrement et hauteur de la végétation herbacée en 2005 et 2006 en fonction des traitements de préparation de terrain. (<i>Seuil $p < 0,05$</i>)	35
2.11	Dates de débourrement et d'aoûtement (jours juliens) et longueur de la saison de végétation (jours) en fonction des traitements de préparation de terrain, de la fréquence annuelle des entretiens et des clones de peuplier hybride. (NA = non applicable)	38
2.12	Températures moyennes mensuelles, moyennes des températures maximums et minimums mensuelles selon la préparation de terrain (B = buttes, H = herse) en 2005 et 2006.	40
2.13	Seuil de signification (p) entre les traitements d'entretien selon l'année, le mois et la profondeur du sol pour les températures ($^{\circ}\text{C}$) mensuelles moyennes, minimums, maximums et les écarts de température journaliers.	41

RÉSUMÉ

L'étude vise à vérifier si la préparation de terrain en buttes de même que l'enlèvement de la végétation compétitrice permet d'augmenter significativement la croissance des peupliers hybrides en forêt boréale. Trois plantations ont été établies en 2004 en Abitibi-Témiscamingue sur des sites agricole (1) et forestiers (2) à une densité de 1000 plants par hectare. Deux traitements de préparation de terrain ont été testés (avec buttes ou sans buttes), ainsi que 4 fréquences annuelles d'entretien de la végétation compétitrice (0, 1, 2 ou 3 entretiens par année), sur deux clones de peuplier hybride : *P. maximowiczii* × *P. balsamifera* (915319) et *P. euramericana* × *P. maximowiczii* (916401). La hauteur, le diamètre, la surface foliaire ainsi que le taux de photosynthèse des arbres ont été évalués en fonction des types de traitement et en relation avec la température du sol, le recouvrement de la végétation compétitrice ainsi que la longueur de la saison de végétation pour les saisons 2004, 2005 et 2006. À la fin de la saison 2006, la préparation de terrain en buttes a favorisé la croissance en diamètre (+14%) et en hauteur (+32%) du clone 916401 sur le site d'Arntfield. L'augmentation de la fréquence des traitements d'entretien de la végétation compétitrice sur le site de Preissac a également favorisé la croissance en diamètre (+35%) et en hauteur (+20%) après 2 entretiens annuels. Le traitement de la végétation n'a eu que peu d'effet sur la croissance lorsque la compétition était moins invasive. L'entretien de la végétation a permis de diminuer les dégâts causés par les rongeurs durant l'hiver, alors que la préparation de terrain en buttes a permis de réduire la sévérité des dommages causés.

Mots clés : *peuplier hybride, préparation de terrain en buttes, button, entretien mécanique, végétation compétitrice*

CHAPITRE I

INTRODUCTION GÉNÉRALE

L'intérêt actuel envers l'intensification de l'aménagement forestier en Abitibi-Témiscamingue est stimulé par les baisses d'attribution des stocks forestiers par le Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec, les nombreuses fermetures d'usines ainsi que la difficulté toujours croissante qu'ont ces dernières à s'approvisionner en fibre ligneuse. L'intensification de l'aménagement forestier prévoit pallier à une partie de ce manque à gagner, entre autres, par l'établissement de plantations à croissance rapide et à haut rendement permettant ainsi de produire un volume maximum de bois sur une superficie restreinte à proximité des usines de transformation. Cette stratégie d'aménagement s'insère dans le concept de la triade (Binkley, 1997), basé sur un zonage du territoire en fonction de l'intensité d'aménagement. La triade prévoit un certain pourcentage de la forêt voué à un aménagement intensif où seraient établies des plantations à croissance rapide et à haut rendement, visant ainsi à pallier aux baisses d'attribution dans les forêts naturelles pour des raisons variées (recommandations de la Commission Coulombe (Coulombe et al., 2004), implantation d'aires protégées, aménagement écosystémique extensif, accessibilité de la ressource, etc.).

Le territoire de l'Abitibi-Témiscamingue est caractérisé par une abondance de friches agricoles abandonnées qui sont, moyennant des travaux de remise en production, des terres disponibles pour la culture d'arbres à croissance rapide et à haut rendement. Couvrant près de 100 000 ha (SPBAT, 2000), ces terres sont majoritairement situées en forêt privée, en zone périurbaine, et donc à proximité des usines de transformation ainsi que de la main-d'œuvre. Il existe présentement une conjoncture favorable à leur remise en production ligneuse qui s'inscrit dans une volonté régionale de faire de l'intensification de l'aménagement forestier

une solution durable pour la consolidation de l'activité économique reliée à la foresterie du territoire. Désirant accroître leur capacité de production ligneuse, les industriels forestiers sont également intéressés à établir des zones de ligniculture intensive à l'intérieur de leurs unités d'aménagement forestier, sur terres publiques

La région de l'Abitibi-Témiscamingue est caractérisée par un climat continental tempéré aux saisons contrastantes : les étés y sont chauds et les hivers secs et froids. Les précipitations y sont adéquates pour la culture en général (environ 900 mm/an) (Environnement Canada, 2007). Le nombre de jours où la température est au dessus de 5°C, et par conséquent le nombre de jours où la végétation peut croître, varie entre 163 et 177 par année (Environnement Canada, 2007). D'autre part, grâce à sa situation septentrionale, la durée de l'ensoleillement journalier en été est plus longue, ce qui compense en partie pour la saison de végétation plus courte.

La région est située dans la ceinture argileuse du nord-ouest québécois, héritage des anciens lacs proglaciaires Barlow et Objiway (Veillette et al., 2000). La nature de la majorité des sols présents sur le territoire est caractérisée par une granulométrie fine qui forme une matrice compacte pourvue d'une faible aération. En conséquence, le sol dégèle lentement au printemps, ce qui en fait un substrat plus froid qui réduit l'activité racinaire des plants. Ces sols sont cependant très riches en éléments nutritifs tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le phosphore (Rompré et Carrier, 1997). Toutefois, les argiles lourdes sont souvent déficientes en azote ainsi qu'en composés organiques et le sol doit être travaillé pour stimuler la minéralisation de la matière organique, rendant ces minéraux davantage disponibles pour les plantes.

Les herbacées et graminées sont également très abondantes sur les sols riches argileux de l'Abitibi-Témiscamingue. En plantations, celles-ci concurrencent les plants mis en terre pour les éléments nutritifs et l'eau du sol (Cogliastro et al., 1990 ; Berthelot, 2001). Cette strate d'herbacées crée une couche isolante en surface du dépôt minéral qui garde la température du sol plus frais, limitant ainsi la croissance des arbres (Cogliastro et al., 1990 ; Hogg et Lieffers, 1991). Ainsi, le choix du type de préparation de terrain et du type d'entretien mécanique en fonction de ces considérations est primordial afin d'obtenir les rendements de

croissance escomptés dans les plantations. Ces opérations, en plus d'améliorer la structure du sol, permettent de diminuer le retour de la végétation compétitrice et d'augmenter la température du sol.

Le peuplier hybride, largement utilisé dans les plantations à croissance rapide, peut donner des rendements en volume très supérieurs aux plantations traditionnelles réparties sur un horizon temporel beaucoup plus court d'environ 15-20 ans (Paillassa, 2001). L'utilisation de cette essence pour l'établissement de plantations est également justifiée par la présence d'usines de transformation du bois qui s'approvisionnent en peuplier. Ces usines sont réparties sur tout le territoire de l'Abitibi-Témiscamingue. Toutefois, la région n'a pas encore développé les techniques de culture propices aux différents hybrides de peupliers disponibles qui lui permettrait d'exprimer son plein potentiel de croissance sur les sols argileux présents sur 55% du territoire (Gauthier et al., 1996). La présente étude se penche particulièrement sur le type de préparation de terrain et sur la fréquence de l'entretien mécanique requis pour obtenir des rendements maximaux.

Les plantations d'espèces à croissance rapide et à haut rendement sont cultivées selon des pratiques s'apparentant davantage à l'agriculture qu'à la foresterie (Czapowskyj et al., 1993 ; LeFloch et Terrasson, 1999 ; Mitchell et al., 1999). La préparation de terrain, la maîtrise de la végétation compétitrice, l'amendement des sols ainsi que la lutte contre les agents pathogènes et insectes nuisibles sont nécessaires, comme c'est le cas dans les grandes cultures céréalières. La productivité du peuplier hybride, parmi les meilleures en Amérique du Nord, justifie grandement son utilisation dans le cadre de projets de ligniculture qui consiste en un type de culture visant à produire le maximum de matière ligneuse sur une courte période de temps. Ainsi, le peuplier hybride, pourvu des soins appropriés, peut donner des rendements de 8-10 m³/ha/an dans les zones situées au nord du 45^e parallèle (Pothier et Savard, 1998). Il est cependant important de choisir les clones adaptés au climat des régions boréales.

La saison de croissance s'étale généralement de la mi-mai à la fin septembre en Abitibi-Témiscamingue. On peut facilement identifier le début de la saison de croissance par le moment où les bourgeons commencent à éclore pour laisser sortir les nouvelles feuilles (Howe et al., 2000). La dormance est ainsi levée à des températures comprises entre -3 et

12 °C, avec un optimum aux environs de 3 à 5 °C (Hänninen, 1990 ; Myking et Heide, 1995). En ce qui concerne l'aouïtement, ou la préparation pour la dormance, on peut l'identifier par l'arrêt de l'élongation de la tige, la formation de bourgeons terminaux complètement fermés (Howe et al., 2000), une tige lignifiée de couleur brune, la chute des feuilles, ainsi que la production de substance cryoprotectives (sucres et protéines) (Lennartsson et Ögren, 2004) qui permettra aux arbres de survivre au cours de l'hiver. Le synchronisme des moments de débourrement et d'aouïtement avec les périodes de réchauffement et de refroidissement de la température varient selon les clones de peuplier hybride (Frewen et al., 2000). Un décalage peut entraîner des dommages causés par le gel (Tsarouhas et al., 2000) et c'est pourquoi il est important de caractériser ces périodes pour sélectionner les clones les mieux adaptés aux régions boréales.

1.1 Préparation mécanique des sols

Afin de parvenir à une productivité satisfaisante, le peuplier hybride doit recevoir des soins culturaux particuliers de façon soutenue lors de la phase d'établissement de la plantation (Bowersox et al., 1992). Ainsi, une préparation mécanique du sol en profondeur est requise afin d'améliorer la structure du sol et, par le fait même, la disponibilité en éléments nutritifs (Camiré et Brazeau, 1998). Un labour d'une profondeur d'au moins 25 cm est souhaitable (Hansen et al., 1993 ; Buhler et al., 1998) afin de maximiser les effets de la préparation de terrain sur la structure du sol et faciliter la plantation. La préparation mécanique du sol améliore l'aération de celui-ci, son contenu en eau, ainsi que le cyclage des éléments nutritifs par le biais de la minéralisation et de la mise en contact avec la couche d'humus (Örlander et al., 1990). La croissance en hauteur et en diamètre des peupliers hybrides plantés sur des sites ayant été labourés est significativement plus grande que celle sur les sites non labourés (Hansen et al., 1996), et certains résultats indiquent que les gains de croissance en hauteur sur sols labourés peuvent atteindre jusqu'à 3 fois ceux obtenus sur une terre sans labour (Aird, 1962).

Des expériences au champ ont démontré que le labour partiel (sur la ligne de plantation) n'était pas approprié puisque les racines superficielles des peupliers, pouvant croître de 1 à

2 mètres après deux ans (Guillemette, 2006), se buttent très tôt à la partie de sol non préparée (Palmer, 1991). Les sols argileux de l'Abitibi-Témiscamingue, présents sur plus de 70% des terres défrichées du territoire, présentent une structure très compacte (Rompré et Carrier, 1997) qui pourrait limiter le déploiement des racines lors de l'établissement des plantations. À l'aide d'une préparation de terrain adéquate sur l'ensemble de la superficie, soit un labour profond (au moins 30 cm) qui permettra d'améliorer la friabilité ainsi que l'aération, ces sols pourront ainsi être propices à la culture du peuplier hybride.

Puisque la température du sol est un facteur limitant la croissance du peuplier (Landhäusser et al., 2001), il est important d'en tenir compte dans les stratégies sylvicoles. Des expériences en laboratoire avec le peuplier faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.) ont démontré que des températures de sol plus froides limitent la croissance des arbres en hauteur et en diamètre (Landhäusser et Lieffers, 1998), diminuent la surface foliaire, l'activité photosynthétique et la respiration des plants (Kozłowski et Pallardy, 1997 ; Landhäusser et al., 2001 ; Dang et Cheng, 2004). Dans certaines situations, la préparation de terrain permet de hausser la température du sol de près de 10 °C tôt dans la saison de croissance (Dumant, 1979 ; Örlander et al., 1990), favorisant ainsi le développement racinaire nécessaire à la croissance rapide des arbres (Hansen, 1986 ; Pregitzer et al., 2000).

D'autre part, dans le but d'augmenter davantage la température du sol, il est également possible de pratiquer une préparation de terrain en buttes (Örlander et al., 1990 ; Sutton, 1993 ; DesRochers et al., 2004). La butte se réchauffant plus rapidement que le terrain plat de par sa plus grande surface de contact avec l'air, les plants bénéficient de températures plus chaudes tôt au printemps. Les peupliers plantés sur le dessus de la butte bénéficieraient ainsi d'un meilleur microsite à cause d'une température de sol plus élevée.

Parce que la préparation de terrain en buttes est plus coûteuse, on l'utilise pour pallier à des contraintes majeures, telles les basses températures dans la zone racinaire, mais aussi dans les sites trop humides (Sutton, 1993). En effet, dans les sols moins bien drainés, la butte offre un site propice à l'enracinement puisque les racines n'y sont pas submergées durant les périodes de crues (Bergusson et Adams, 1989). La présence d'eau stagnante dans la zone racinaire cause des ralentissements de croissance dus à la diminution de l'activité biologique dans le

sol (e.g. minéralisation) et, conséquemment, réduit l'apport en nutriments pour le plant et la bonne oxygénation des racines (Hoffman-Schielle et al., 1999 ; Landhäusser et Lieffers, 1999). Les peupliers hybrides sont très peu tolérants aux conditions d'eau stagnante. Bien que largement utilisée dans les systèmes de culture maraîchère, la préparation de terrain en buttes pour la culture du peuplier hybride est relativement récente (Dickmann et al., 2001).

1.2 Végétation compétitrice

La texture fine des sols argileux présents sur le territoire de l'Abitibi-Témiscamingue leur confère une bonne capacité de rétention d'eau et d'échange cationique. Ces conditions favorisent cependant la croissance d'espèces compétitrices (Thevathasan et al., 2000), ce qui nuit à la croissance du peuplier hybride. La couche de graminées, avec son réseau dense de rhizomes, capture l'eau et les éléments nutritifs isole le sol, et ralentit son réchauffement au printemps (Lanhäusser et Lieffers, 1998). L'enlèvement de cette couche permet un réchauffement du sol accru au cours de la saison de végétation (Örlander et al., 1990 ; Lanhäusser et Lieffers, 1998) et stimule non seulement l'accroissement en hauteur et en diamètre des arbres mis en terre, mais rallonge également la période de la croissance apicale (Aird, 1962) puisqu'un sol plus chaud engendre une plus grande activité photosynthétique (Kozlowski et Paillard, 1997).

La présence d'herbacées limite la croissance des arbres en plantation parce que la compétition pour l'eau et les éléments minéraux du sol devient plus intense (Nambiar et Sands, 1993 ; Marino et Gross, 1998 ; Landhäusser, 1998, 1999 ; Berthelot, 2001). En plus d'un sol fertile, le peuplier hybride requiert une maîtrise soutenue de la végétation compétitrice afin d'obtenir une croissance optimale (Hansen et al., 1984 ; Hansen et Netzer, 1985 ; Czapowsky et Safford, 1993 ; Hansen et al., 1993 ; Schroeder et al., 2003). L'enlèvement de la compétition herbacée est donc critique lors de l'établissement de la plantation (Bowersox et al., 1992) puisque c'est au cours de cette période que les plants colonisent le site en installant leur système racinaire. Cependant, la formation graduelle d'un couvert forestier au cours du développement de la plantation devrait réduire l'ensoleillement

au sol et ainsi diminuer la présence de végétation compétitrice (Vallée, 1983 ; Hansen et al., 1993 ; Buhler et al., 1998).

Les peupliers cultivés en présence de mauvaises herbes sont rabougris par rapport à ceux cultivés en l'absence de celles-ci (Marino et Gross, 1998). De plus, même lorsque la densité de peupliers est forte et que les effets compétitifs du peuplier réduisent la densité de mauvaises herbes, la présence de celles-ci ralentit tout de même la croissance du peuplier (Marino et Gross, 1998). La présence de végétation compétitrice entraîne également une plus grande susceptibilité aux champignons, insectes et rongeurs (Örlander, 1990), ce qui peut réduire le taux de survie des arbres plantés. Les travaux de Czapowskyj et Safford (1993) ont démontré que le taux de survie après 10 ans augmente significativement selon qu'on procède à un entretien de la végétation compétitrice (taux de survie de 83%) par rapport à une plantation qui ne serait pas entretenue (taux de survie de 57%).

La qualité de l'entretien lors de l'année de la plantation semble avoir également un effet sur la croissance des plants lors de la deuxième année de croissance (Bowersox et al., 1992). Ainsi, comme l'effet de l'entretien a un effet sur la croissance des années subséquentes, il est donc primordial d'y porter une attention particulière. D'autre part, il est suggéré d'entretenir la végétation sur l'ensemble de la surface de la plantation : des entretiens partiels de la végétation tels la trouaison simple (dégagement autour du plant seulement) ou l'entretien par bande (sur le rang) donnent des résultats de croissance plus faibles par rapport à l'entretien sur toute la surface de la plantation (Bailly et al., 1975).

Parmi les techniques utilisées pour se débarrasser de la végétation indésirable, on retrouve les méthodes de traitement chimique (herbicides) et mécanique (tonte des plantes ou enlèvement complet). Bien que les herbicides donnent les résultats les plus satisfaisants en termes de contrôle de la végétation (Hansen et Netzer, 1985), leur utilisation est proscrite dans les forêts publiques du Québec depuis 2000 et nous devons désormais nous orienter vers l'utilisation des différentes techniques de désherbage mécanique disponibles. Il est possible de contrôler la végétation herbacée par une simple tonte, mais celle-ci repousse plus rapidement puisque les bourgeons sont situés près du sol sous le niveau de la coupe (Buhler et al., 1998). La façon la plus efficace de se débarrasser de la végétation compétitrice est d'enlever

complètement la couche d'herbacées afin de limiter leur retour hâtif. Ce type d'entretien mécanique complet peut être réalisé à l'aide d'une herse agricole passée entre les rangs, un rotoculteur ou toute autre machinerie travaillant la surface du sol tout en éliminant complètement la végétation compétitrice. Lors de l'année d'établissement, l'entretien peut être réalisé de 3 à 5 fois au cours de l'année selon le retour de la végétation (Buhler et al., 1998). Cependant, un traitement efficace et complet de la végétation permet de diminuer le nombre d'entretien requis au cours d'une saison (Örlander et al., 1990 ; Schroeder et al., 2003). En somme, entretenir de façon adéquate permet d'avoir à le faire moins souvent.

Le labour du sol en profondeur permet également de limiter le retour de la végétation en enfouissant le lot de graines et de rhizomes empêchant les herbacées et graminées de revenir rapidement (Örlander et al., 1990). De plus, la préparation de terrain en buttes, lorsqu'elle est plus haute que 15 cm, réduit le développement des rhizomes des graminées et en limite leur propagation sur la butte (Lanhäusser et Lieffers, 1999 ; Sutton, 1993). Cela s'explique par le fait que les rhizomes présents sous la butte prennent plus de temps à percer celle-ci et que cette croissance est ralentie par le faible taux de photosynthèse des herbacées dû à l'absence de lumière sous et dans la butte. Seul l'établissement de la connectivité entre les rhizomes situés sous la butte avec les rhizomes situés autour de la butte peut accélérer l'établissement de la végétation sur la butte.

1.3 Expérimentation

Il peut être avantageux de combiner l'effet d'une préparation de terrain en buttes, sur un sol ayant été préalablement labouré, à une fréquence des entretiens de la végétation compétitrice adéquate afin de favoriser la croissance des arbres mis en terre. Le chapitre 2 de ce mémoire traite, sous forme d'article, des résultats obtenus suite à la mise en place d'un dispositif de recherche dans le cadre duquel deux préparations de terrain ainsi que 4 fréquences annuelles d'entretien de la végétation compétitrice ont été testées dans trois plantations de peuplier hybrides établies sur 3 sites en Abitibi-Témiscamingue, dans la province de Québec (Localisation Annexe A). La croissance des plants en fonction des diverses combinaisons de traitements a été suivie au cours des étés 2004, 2005 et 2006. Le Chapitre 3, quant à lui, traite

des différentes conclusions que l'on peut tirer des résultats obtenus lors de l'expérience ainsi que des différentes implications pour la sylviculture du peuplier hybride.

1.4 Références

- Aird, P. 1962. Fertilization, weed control and the growth of poplar. *Forest Science* 8 : 413-428
- Bailly, C., Brunk, F. et Malvos, C. 1975. Influence des mesures d'entretien sur la vitalité et la croissance des peupliers à Madagascar. *Bois et Forêts des Tropiques* 161 : 15-24.
- Berguson, W.E. et Adams, R.D. 1989. Undrained peatlands for short rotation forestry. Natural resources research institute, University of Minnesota, NRRI/TR-89/6.
- Berthelot, A. 2001. Mélange de clones en taillis à courtes rotations de peuplier : influence sur la productivité et l'homogénéité des produits récoltés. *Can. J. For. Res.* 31 : 1116-1126.
- Binkley, C.S. 1997. Preserving nature through intensive plantation forestry: The case for forestland allocation with illustrations from British Columbia. *Forestry Chronicle* 73 : 553-559.
- Bowersox, T.W., Stover, L.R., Strauss, C.H. et Blankenhorn, P.R. 1992. Advantages of an effective weed control program for *Populus* hybrids. *Tree Planters' Notes* 43 : 81-86.
- Buhler, D.B., Netzer, D.A., Riemenschneider, D.E. et Hartzler, R.G. 1998. Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops for biofuel production. *Biomass and Bioenergy* 14 : 385-394.
- Camiré, C. et Brazeau, M. 1998. Culture des genres *Populus* et *Larix* au Québec : sols, exigences nutritionnelles et productivité. Rapport présenté au MRN, direction de l'environnement forestier, Service de l'évaluation environnementale. Centre de recherche en biologie forestière, Université Laval, 116 p.
- Cogliastro, A., Gagnon, D., Coderre, D. et Bhébeur, P. 1990. Response of seven hardwood tree species to herbicide, rototilling, and legume cover at two southern Québec plantation sites. *Can. J. For. Res.* 20 : 1172-1182.
- Coulombe, G., Huot, J., Arsenault, J., Bauce, É., Bernard, J.-T., Bouchard, A., Liboiron, A. et Szaraz, G. 2004. Rapport de la commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. Bibliothèque nationale du Québec, 307 p.
- Czapowsky, M.M. et Safford, L.O. 1993. Site preparation, fertilisation, and 10 year yields of hybrid poplar on a clearcut forest site in eastern Maine, USA. *New Forests* 7 : 331-344.

- Dang, Q. et Cheng, S. 2004. Effects of soil temperature on ecophysiological traits in seedlings of four boreal tree species. *For. Ecol. Manage.* 194 : 379-387.
- DesRochers, A., Thomas, B.R. et Butson, R. 2004. Reclamation of roads and landings with balsam poplar cuttings. *For. Ecol. Manage.* 199 : 39-50.
- Dickmann, D.I., Isebrands, J.G., Eckenwalder, J.E. et Richardson, J. (*Editeurs*) 2001. Poplar culture in North America, Chapitre 5. NRC Research Press, Ottawa, Canada, 397 p.
- Dumant, M.J. 1979. Implantation de taillis de peupliers échelonnés au cours de la saison froide. *Annales de recherches sylvicoles*, Tome 1, p. 252-263.
- Environnement Canada 2007. Données climatologiques du Canada. Normales climatiques au Canada 1971-2000. Station météorologique de Val d'Or. Canadian Climate Program, Ottawa, Ont., Canada.
 URL : http://www.climat.meteo.ec.gc.ca/climate_normals/results_f.html?Province=QUE%20&StationName=&SearchType=&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClass=A&SelNormals=&StnId=6081&
- Frewen, B.E., Chen, T.H.H., Howe, G.T., Davis, J., Rohde, A., Boerjan, W. et Bradshaw, H.D.Jr. 2000. Quantitative trait loci and candidate gene mapping of bud set and bud flush in *Populus*. *Genetics* 154 : 837-845.
- Gauthier, S., Leduc, A. et Bergeron, Y. 1996. Forest dynamics modelling under natural fire cycles: A tool to define natural mosaic diversity for forest management. *Environmental monitoring and assessment* 39 : 417-434.
- Guillemette, T. 2006. Effets de la fertilisation localisée sur la croissance et la nutrition de peupliers hybrides en Abitibi-Témiscamingue. Mémoire de Maîtrise, Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue, 70 p.
- Hänninen, H. 1990. Modelling bud dormancy release in trees from cool and temperate regions. *Acta. For. Fenn.* 213 : 1-47.
- Hansen E.A. 1986. Planting date affects survival and height growth of hybrid poplar. *For. Chron.* 62 : 164-169.
- Hansen, E.A. et Netzer, D.A. 1985. Weed control using herbicides in short-rotation intensively cultured poplar plantations. USDA For. Serv. Res. Pap. NC-260, 6 p.
- Hansen, E.A., Netzer, D.A. et Rietveld, W.J. 1984. Weed control for establishing intensively cultured hybrid poplar plantations. USDA For. Serv. Res. Note. NC-317, 6 p.
- Hansen, E.A., Netzer, D.A. et Tolsted D.N. 1993. Guidelines for establishing poplar plantations in the north-central U.S. USDA. For. Serv. Res. Pap. NC-363, 6 p.

- Hansen, E.A., Netzer, D.A. et Woods, R.F. 1996. Tillage superior to no-till for establishing hybrid poplar plantations. *Tree Planters' Notes* 37 : 6-10.
- Hoffman-Schielle, C., Jug, A., Makeschin, F. et Rehfuess, K.E. 1999. Short rotation plantations of balsam poplars, aspen and willows on former arable land in Federal Republic of Germany. I. Site-Growth relationship. *For. Ecol. Manage.* 121 : 41-55.
- Hogg, E.H. et Lieffers V.J. 1991. The impact of *Calamagrostis canadensis* on soil thermal regimes after logging in northern Alberta. *Can. J. For. Res.* 21 : 387-394.
- Howe, G.T., Saruul, P., Davis, J. et Chan T.H.H 2000. Quantitative genetics of bud phenology, frost damage, and winter survival in an F₂ family of hybrid poplars. *Theor. Appl. Genet.* 101 : 632-642.
- Kozlowski, T.T. et Pallardy, S.G. 1997. *Physiology of woody plants*, deuxième édition, Chapitre 5. Academic Press Inc., New York, 411 p.
- Landhäusser, S.M., DesRochers, A. et Lieffers, V.J. 2001. A comparison of growth and physiology in *Picea glauca* and *Populus tremuloides* at different soil temperature. *Can. J. For. Res.* 31 : 1922-1929.
- Landhäusser, S.M. et Lieffers V.J. 1998. Growth of *Populus tremuloides* in association with *Calamagrostis canadensis*. *Can. J. For. Res.* 28 : 396-401.
- Landhäusser, S.M. et Lieffers V.J. 1999. Rhizome growth of *Calamagrostis canadensis* into mounds created for tree seedling establishment. *New Forests* 18 : 245-262.
- LeFloch, S. et Terrasson, D. 1999. Entre agriculture et forêt, des enjeux majeurs pour un arbre ordinaire : le peuplier. *Annales de géographie* no 609-610 : 603-614.
- Lennartsson, M. et Ögren, E. 2004. Clonal variation in temperature requirements for budburst and dehardening in *Salix* species used for biomass production. *Scand. J. For. Res.* 19 : 295-302.
- Marino, P.C. et Gross, K.L. 1998. Competitive effects of conspecific and herbaceous (weeds) plants on growth and branch architecture of *Populus × euramericana* cv. *Eugenei*. *Can. J. For. Res.* 28 : 359-367.
- Mitchell, C.P, Stevens, E.A. et Watters, M.P. 1999. Short-rotation forestry – operations, productivity and costs based on experience in UK. *For. Ecol. Manage.* 121 : 123-136.
- Myking, T. et Heide, O.M. 1995. Dormancy release and chilling requirement of buds of latitudinal ecotypes of *Betula pendula* and *B. pubescens*. *Tree Physiology* 15 : 697-704.
- Nambiar, E.K.S. et Sands, R. 1993. Competition for water and nutrients in forests. *Can. J. For. Res.* 23 : 1955-1968.

- Örlander, G., Gemme, P. et Hunt, J. 1990. Site preparation : A swedish overview. BC-Ministry of forest, Research branch. Gouvernement of Canada. 61 p.
- Paillassa, E. 2001. Le peuplier et les enjeux environnementaux. Forêt-entreprise 142 : 61-63.
- Palmer, C.L. 1991. Short rotation culture of *Populus* and *Larix*: a literature review. For. Can. Ont. Region, Sault Ste-Marie, Ont. COFRDA Rep. 3306, 66 p.
- Pothier, D. et Savard, F. 1998. Actualisation des tables de production pour les principales espèces forestières du Québec. Ministère des Ressources naturelles du Québec, 183 p.
- Pregitzer, K.S., King, J.S., Burton, A.J. et Brown, S.E. 2000. Responses of tree fine roots to temperature: research review. New Phytol. 147 : 105-115.
- Rompré, M. et Carrier, D. 1997. Étude pédologique des sols défrichés de l'Abitibi-Témiscamingue. Centre de recherche et d'expérimentation en sols, Ministère de l'Agriculture, des Pêcheries et de l'Alimentation du Québec (MAPAQ), 133 p.
- Schroeder, W.R., Silim, S., Inouye, G. et Kalcits, L. 2003. Weed management in hybrid poplar. Affiche présentée lors de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Rouyn-Noranda, Québec, 1 p.
- Sutton, R.F. 1993. Mounding site preparation: A review of European and North American experience. New Forests 7 : 151-192.
- Syndicat des producteurs de bois de l'Abitibi-Témiscamingue (SPBAT) 2000. Plan de protection et de mise en valeur des forêts privées de l'Abitibi. Document de connaissance, volume 1 de 2. Agence régionale de mise en valeur de la forêt privée, 330 p.
- Thevathasan, N.V., Reynolds, P.E., Kuessner, R. et Bell, W.F. 2000. Effects of controlled weed densities and soil types on soil nitrate accumulation, spruce growth, and weed growth. For. Ecol. Manage. 133 : 135-144.
- Tsarouhas, V., Kenney, W.A. et Zsuffa, L. 2000. Variation in freezing resistance during different phenological stages in some *Populus* and *Salix* clones: Implications for clonal selection. Silvae Genetica 50-2 : 54-63.
- Vallée, G. 1983. La culture des peupliers. Direction des communications, Ministère de l'Énergie et des Ressources. Bibliothèque nationale du Québec, 8 p.
- Veillette, J., Miron, F., Bergeron, Y., Gaudreau, L., Drainville, G. et Royer, A. 2000. Abitibi-Témiscamingue : de l'emprise des glaces à un foisonnement d'eau et de vie : 10 000 ans d'histoire. Éditions Multi-mondes, Ste-Foy, 159 p.

CHAPITRE II

EFFET DE LA PRÉPARATION DE TERRAIN EN BUTTES ET DE LA FRÉQUENCE ANNUELLE DES ENTRETIENS MÉCANIQUES DE LA COMPÉTITION HERBACÉE SUR LA CROISSANCE DU PEUPLIER HYBRIDE ET SA SUSCEPTIBILITÉ AUX RONGEURS EN ABITIBI-TÉMISCAMINGUE

Marie-Eve Sigouin¹ ing.f. et Annie DesRochers Ph.D.

¹Correspondance :

Université du Québec en Abitibi-Témiscamingue,

Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en aménagement forestier durable,

445, boulevard de l'Université, Rouyn-Noranda, Qc, J9X 5E4, Canada.

Tél. : 819-762-0971 #2635, Téléc. : 819-797-4727,

Courriel : marie-eve.sigouin@uqat.ca

2.1 Résumé

L'étude vise à vérifier si la préparation de terrain en buttes de même que l'enlèvement de la végétation compétitrice permet d'augmenter significativement la croissance des peupliers hybrides en forêt boréale. Deux plantations de 3 ha ont été établies en 2004 en Abitibi-Témiscamingue sur un site agricole et un site forestier, et une troisième a été établie au printemps 2005 sur un site forestier, à une densité de 1000 plants par hectare. Deux traitements de préparation de terrain ont été testés (avec mise en buttes et sans butte), ainsi que 4 fréquences annuelles d'entretien de la végétation compétitrice (0, 1, 2 ou 3 entretiens par année), sur deux clones de peuplier hybride : *P. maximowiczii* × *P. balsamifera* (915319) et *P. euramericana* × *P. maximowiczii* (916401). La hauteur, le diamètre, la surface foliaire ainsi que le taux de photosynthèse des arbres ont été mesurés en fonction des traitements et en relation avec la température du sol, le recouvrement de la végétation compétitrice ainsi que la longueur de la saison de végétation pour les saisons 2004, 2005 et 2006. À la fin de la saison 2006, la préparation de terrain en buttes a favorisé la croissance en diamètre (+14%) et en hauteur (+32%) pour le clone 916401 sur le site d'Arntfield. L'augmentation de la fréquence des traitements d'entretien de la végétation compétitrice sur le site de Preissac a également favorisé la croissance en diamètre (+35%) et en hauteur (+20%) après 2 entretiens annuels. Le traitement de la végétation n'a eu que peu d'effet sur la croissance lorsque la compétition était moins invasive. L'entretien de la végétation a permis de diminuer les dégâts causés par les rongeurs chez les plants au printemps et ce particulièrement pour le clone 915319. La préparation de terrain en buttes a également permis de réduire la sévérité des attaques par les rongeurs.

2.2 Abstract

The objective of this study was to determine whether mounding and control of competing vegetation resulted in a significant increase in hybrid poplar growth under boreal climate. Two hybrid poplar plantations were established in Abitibi-Témiscamingue in 2004, one on abandoned farmland, the other on a poorly-regenerated aspen (*Populus tremuloides* Michx.) cut-over. A third plantation, also on a poorly-regenerated aspen cut-over, was established in 2005. All sites were planted at a density of 1000 trees per hectare. The effect of mounding, and four annual frequencies of mechanical weed control were tested (0, 1, 2, or 3 passes per year) on the growth of two hybrid poplar clones: *P. maximowiczii* × *P. balsamifera* (915319) and *P. euramericana* × *P. maximowiczii* (916401). Height, basal diameter, leaf area and photosynthetic rate were measured, as were soil temperature, percent cover of competing vegetation and length of the growing period in 2004, 2005, and 2006. At the end of the 2006 growing season, clone 916401 had higher diameter (+14%) and height growth (+32%), respectively, on mounds at the Arntfield site. Two mechanical weed control passes per year increased diameter (+35%) and height (+20%) at the Preissac site. Weed control had little effect on growth when competing vegetation was less invasive. Mechanical weed control and mounding also reduced the extent of rodent damage, which occurred in the spring, particularly on trees of clone 915319.

2.3 Introduction

L'intérêt actuel envers l'intensification de l'aménagement forestier reflète l'intérêt mondial envers une productivité plus grande des superficies vouées à la production ligneuse. La culture intensive de la fibre se veut une solution concrète pouvant être mise de l'avant afin de subvenir aux besoins d'approvisionnement des usines de transformation du bois. L'intensification de l'aménagement forestier peut pallier, en partie, à la raréfaction de la ressource ligneuse, entre autres, par l'établissement de plantations à croissance rapide et à haut rendement permettant ainsi de produire un volume maximum de bois sur une superficie restreinte à proximité des usines de transformation, réduisant ainsi les distances de transport.

Le peuplier hybride (*Populus spp.*), largement utilisé dans les plantations à croissance rapide, peut donner des rendements en volume supérieurs aux plantations traditionnelles réparties sur un horizon temporel beaucoup plus court, d'environ 15-20 ans (Paillassa, 2001).

Bien que le développement de clones performants (Ceulemans et Deraedt, 1999) et que les techniques de culture du peuplier hybride aient connu un grand essor au cours des 100 dernières années (Dickmann et al., 2001), peu de recherches ont été réalisées sur des sols argileux en climat boréal (Farmer et al., 1991). La saison de croissance relativement courte qu'on y retrouve (163-177 jours/année, Environnement Canada, 2007) requiert que l'on développe des méthodes de cultures adaptées aux conditions climatiques de ces régions nordiques. Il est également important de sélectionner les clones de peuplier hybride présentant une rusticité adaptée au site de plantation. Le synchronisme des moments de débourrement et d'aoûtement avec les périodes de réchauffement et de refroidissement de la température varient selon les clones de peuplier hybride (Frewen et al., 2000) et un décalage peut entraîner des dommages causés par le gel (Tsarouhas et al., 2000).

Les sols argileux, tels que ceux situés dans la ceinture argileuse du nord-ouest québécois, sont caractérisés par une granulométrie fine qui forme une matrice compacte pourvue d'une faible aération (Brais, 2001). En conséquence, ce type de sol dégèle lentement au printemps, ce qui en fait un substrat plus froid réduisant l'activité racinaire des plants en début de saison (Landhäusser et Lieffers, 1998 ; Pregitzer et al., 2000). Ces sols, très riches en éléments

nutritifs tels que le calcium, le magnésium, le potassium et le phosphore (Rompré et Carrier, 1997), sont souvent pourvus d'une importante couverture d'herbacées et de graminées. Cette végétation concurrence les plants mis en terre pour les éléments nutritifs et l'eau du sol (Cogliastro et al., 1990 ; Nambiar et Sands, 1993 ; Berthelot, 2001), tout en créant une couche isolante en surface du dépôt minéral. Cette couche garde la température du sol plus fraîche, limitant par le fait même la croissance des arbres (Cogliastro et al., 1990 ; Hogg et Lieffers, 1991). Ainsi, le choix du type de préparation de terrain ainsi que du type d'entretien mécanique, en fonction de ces considérations, est primordial afin d'obtenir les rendements de croissance escomptés dans les plantations sur sols argileux en région boréale. Ces opérations, en plus d'améliorer la structure du sol et d'augmenter la minéralisation (Sutton, 1993), permettent de diminuer le retour de la végétation compétitrice et d'augmenter la température du sol, favorable à la croissance du peuplier (Dickmann et al., 2001 ; Landhäusser et al., 2001).

En réchauffant le sol (Bergusson et Adams, 1989 ; Sutton, 1993), la préparation de terrain en buttes devrait augmenter l'activité photosynthétique et la surface foliaire en se traduisant par une augmentation de la croissance des plants de peuplier hybride (Kozłowski et Paillard, 1997). La température du sol étant un facteur limitant la croissance du peuplier hybride (Dumant, 1979 ; Hansen, 1986 ; Dang et Cheng, 2004), nous supposons que ce type de préparation de terrain (*buttes*), par rapport à une préparation de terrain en surface plane (*herse*), devrait augmenter les rendements. Nous supposons également que l'augmentation du nombre d'entretiens annuels de la végétation compétitrice devrait augmenter la croissance du peuplier hybride, celui-ci étant très sensible à la compétition (Hansen et al., 1984 ; Czapowsky et Safford, 1993 ; Hansen et al., 1993 ; Buhler et al., 1998 ; Berthelot, 2001 ; Schroeder et al., 2003). Les résultats obtenus permettront d'adapter les techniques propres à cette espèce en climat boréal dans les endroits où la végétation compétitrice est abondante.

À cet égard, la présente étude a pour objectif d'évaluer 1) l'effet de la préparation de terrain en buttes (Buttes : labour suivi d'un hersage et d'une mise en butte ou *billonnage*) par rapport à une préparation de terrain en surface plane (Herse : labour suivi d'un hersage, surface plane), et 2) l'effet de quatre fréquences annuelles d'entretien mécanique de la végétation compétitrice (0,1,2 ou 3 fois par année) sur la croissance de deux clones de peuplier hybride.

2.4 Méthodologie

2.4.1 Sites d'étude

Trois plantations ont été établies : deux en 2004 (Preissac et Duparquet) et une en 2005 (Arntfield), dans la région de l'Abitibi-Témiscamingue (annexe A) dans le domaine de la sapinière à bouleau blanc de l'ouest (Grondin, 1996). Le site de Preissac a été établi sur une friche herbacée près de la municipalité du même nom (Lat : 48,37°N, Long : 78,28°O), alors que le site de Duparquet a été établi dans un site forestier mal régénéré (Lat : 48,44°N, Long : 79,12°O) qui avait été récolté en 2000. La végétation présente sur ce dernier site avant la préparation de terrain était composée de plantes herbacées et de graminées ainsi que d'une faible densité de peupliers faux-tremble (*Populus tremuloides* Michx.). Le dispositif de Arntfield (Lat : 48,23°N, Long : 79,29°O) a également été établi sur un terrain forestier récolté à l'hiver 1994 et mal régénéré. Étant donné la longue période passée entre la récolte et la remise en production du site, des gaullis d'essences non-commerciales (*Salix sp.*, *Alnus rugosa*, *Populus balsamifera*) étaient présents sur le site et ont dû être enlevés avant l'établissement du dispositif.

Les sites présentaient entre eux des différences en ce qui a trait à leur historique d'utilisation anthropique (sites forestiers vs agricole) ainsi qu'à leurs caractéristiques pédologiques. L'analyse du sol à 10-15 cm de profondeur de chacun des sites a été effectuée au cours de la saison 2005, après la préparation de terrain. Pour chacun des sites, 3 échantillons d'environ 200g ont été prélevés sur chaque bloc et mélangés manuellement, par bloc, pour l'analyse. Les échantillons ont été séchés à l'air et tamisés afin d'en déterminer la texture (Boyoucos, 1962). Le pH a été déterminé sur une base de CaCl₂, après une heure d'agitation dans une solution avec un ratio sol/solution de 1 :40 (Conseil des Productions Végétales du Québec, 1998). La quantité de phosphore disponible a été déterminée à l'aide de la méthode Mehlich-III (Mehlich, 1984), tandis que les calcium, potassium, magnésium et sodium échangeables ont été extraits avec du BaCl₂-NH₄Cl (Amacher et al. 1990) et leur teneur a été déterminée par une torche à plasma (*Inductively coupled plasma* (ICP), Perkin-Elmer plasma model Optima 4300DV). La teneur en carbone organique (Yeomans et Bremner, 1988) et en azote du sol (Quicken method 13-107-06-2-D) a également été analysée. Ces analyses font état des

caractéristiques du sol dans la zone de propagation des racines dans un profil du sol déjà renversé par le labour (Tableau 2.1). Les sols des trois sites sont issus de dépôts glaciolacustres d'eau profonde avec une texture variant d'argile lourde à argile-limoneuse. Plutôt acides, ceux-ci présentent une faible teneur en azote. Notons cependant que le site d'Arntfield avait une plus grande proportion de matière organique (C.O) sur un des blocs et une plus grande proportion d'azote (N) de façon générale par rapport aux deux autres (Tableau 2.1).

Tableau 2.1 : Analyse de sol à une profondeur de 15 cm

Site	Bloc	pH	C.O.	N	P	Ca	K	Mg	Na	Sable	Limon	Argile	Texture
		CaCl ₂	%		ppm (Mehlich-III)						%		
Arntfield	1	4,35	0,96	0,09	10,12	515	61	97	98	39	28	33	Loam argileux
	2	4,72	2,23	0,16	6,80	2777	213	553	115	7	17	76	Argile lourde
	3	4,60	0,95	0,08	5,94	2280	172	529	120	7	13	80	Argile lourde
Duparquet	1	4,07	0,98	0,07	7,32	1679	188	557	125	4	5	91	Argile lourde
	2	4,43	0,74	0,05	12,39	1843	188	646	126	2	11	87	Argile lourde
	3	4,48	0,99	0,07	9,47	2306	197	789	126	4	6	90	Argile lourde
Preissac	1	4,52	0,70	0,05	11,68	1193	135	593	132	3	14	83	Argile lourde
	2	4,52	1,46	0,06	10,57	924	93	361	124	4	24	72	Argile lourde
	3	4,62	1,08	0,07	10,46	1076	108	392	114	8	17	75	Argile lourde

C.O. =Carbone organique, N=Azote, P=Phosphore, Ca = Calcium, K=Potassium, Mg= Magnésium, Na=Sodium.

2.4.2 Dispositif expérimental

Tous les sites ont été labourés à une profondeur de 30 cm à l'aide d'une charrue agricole et le sol y a été travaillé à l'aide d'une herse à disques jusqu'à une profondeur de 20 cm. Une mise en buttes continues (*buttes*) a été réalisée sur la moitié de la surface de chacune des répétitions, tandis que l'autre moitié a été laissée en surface plane (*herse*). Suite au billonnage, les dimensions initiales moyennes des buttes étaient d'environ 50 cm de hauteur et entre 80 et 90 cm de largeur.

Un dispositif en tiroirs de type split-block a été mis en place sur chacun des trois sites afin de tester l'effet des différents traitements de préparation de terrain et d'entretien de la végétation compétitrice (annexe B). Compte tenu de l'espace requis pour tester les méthodes de préparation de terrain (*buttes et herse*), ce facteur constitue la parcelle principale qui a été par la suite subdivisée (split-block) selon les 4 fréquences d'entretiens, soit 0, 1, 2 ou 3 entretiens par année. Les 8 combinaisons de traitements ainsi obtenues ont été subdivisées (split-plot) pour accueillir de façon aléatoire chacun des 2 clones de peuplier hybride. Ce dispositif a été répété 3 fois (3 blocs) sur chacun des trois sites de recherche. Pour les sites de Preissac et de Duparquet, chacune de ces répétitions mesurait 108 mètres de long par 80 mètres de large et comportait 648 plants dont 160 étaient mesurés (10 pseudo-réplicats par combinaison de traitements) de façon à exclure les arbres de bordure (n=480 par site). La variabilité du terrain sur le site d'Arntfield nous a contrainte à répartir les sous-blocs (*préparation de terrain × entretien*) selon des conditions de sols semblables à l'intérieur des blocs et non en blocs continus, comme sur les autres sites. Ainsi, les blocs de répétitions mesuraient respectivement 90, 70 et 110 mètres de longueur par 80 mètres de largeur et comportaient 504 plants dont 96 étaient mesurés (6 pseudo-réplicats par combinaison de traitements, n=278 pour ce site). La croissance de 1248 plants a ainsi été suivie sur l'ensemble des sites.

Des plants à racines nues de peuplier hybride âgés d'un an ont été mis en terre en juin 2004 à Duparquet et Preissac et au mois de mai 2005 à Arntfield. Choisis au hasard parmi les clones recommandés pour la région de l'Abitibi-Témiscamingue, les clones utilisés étaient *Populus maximowiczii* × *P. balsamifera* (915319) et *P. euramericana* × *P. maximowiczii* (916401).

Les peupliers hybrides, encore en dormance, ont été plantés à une profondeur de 30 cm à tous les 2,5 m sur le rang et ces rangs étaient espacés de 4 m pour l'obtention d'une densité de 1000 plants à l'hectare. Un rang d'arbre bordait le dispositif afin de protéger les arbres à l'étude lors du demi-tour de la machinerie. Les arbres mis en terre en 2004 à Preissac et à Duparquet présentaient une forte descente de cime et, alors qu'ils mesuraient en moyenne 124 cm pour le clone 915319 et 135 cm pour le clone 916401, ceux-ci ont tous été taillés jusqu'à l'endroit où le cambium était complètement sain, soit à une hauteur moyenne d'environ 50 cm. Les arbres mis en terre à Arntfield en 2005, avaient une hauteur moyenne de 114 cm pour le clone 915319 et de 129 cm pour le clone 916401, et présentaient peu ou pas de descente de cime et n'ont donc pas été taillés.

La végétation a été entretenue en l'arrachant de façon mécanique à l'aide d'une herse agricole entre les rangs et à l'aide du Weed Badger® (4020-SST, Weed Badger Division, North Dakota) sur le rang. La combinaison de ces deux équipements a permis d'éliminer la végétation compétitrice sur l'ensemble de la superficie reboisée et ce, en arrachant la végétation tout en travaillant la surface du sol.

Le calendrier d'entretien prévu a été établi comme suit :

0 entretien par année	aucun entretien
1 entretien par année	effectué à la mi-juillet au milieu de la saison de croissance
2 entretiens par année	effectués à la mi-juillet et fin août au milieu et à la fin de la saison de croissance
3 entretiens par année	effectués à la mi-juin, mi-juillet, fin août (soit au début, au milieu ainsi qu'à la fin de la saison de croissance)

Lors de l'année d'établissement (2004), seul un entretien a été effectué sur le site de Preissac dû au timide retour de la végétation compétitrice. Puisqu'il y avait une absence totale de végétation herbacée suite au labour à Duparquet, aucun entretien n'a été effectué cette année-là (Tableau 2.2). En 2005, le calendrier d'entretien prévu a été respecté à Preissac. Comme le retour de la végétation ne s'est pas produit comme prévu sur les sites de Duparquet et Arntfield, seuls les sous-parcelles où au moins un entretien était planifié (1, 2, 3) ont été entretenues à une reprise (Tableau 2.2). En 2006, bien que le premier et le deuxième entretien aient été réalisés, les abondantes pluies des mois d'août et septembre ont empêché la

réalisation du troisième hersage et seulement les traitements de 0, 1, 2 entretiens ont été réalisés sur les trois sites (Tableau 2.2). Ces écarts entre les fréquences des entretiens mécaniques *prévus* et *réalisés* ont été pris en compte par année et pour chacun des sites dans les analyses (Tableau 2.2). Les résultats de croissance de chacun des sites ont donc été analysés séparément.

En juillet 2005, une fertilisation par pied d'arbre a été appliquée sur l'ensemble des plants des trois sites. Ainsi, une dose de 100g de fertilisant 16-32-8, à base d'urée (46-0-0), de phosphate biamoniacal (DAP, 18-46-0) et de muriate de potasse (0-0-60), a été insérée dans une fente effectuée à l'aide d'une pelle à une distance de 15 cm du plant.

Tableau 2.2 : Écarts entre les fréquences des entretiens mécaniques prévus et réalisés par année pour chacun des sites

		Preissac				Duparquet				Arntfield			
Nb d'entretiens →		0	1	2	3	0	1	2	3	0	1	2	3
Nb d'entretiens annuels prévus													
	2004	0	1	1	1	0	0	0	0	n.a	n.a	n.a	n.a
Nb d'entretiens annuels réalisés													
	2005	0	1	2	3	0	1	1	1	0	1	1	1
	2006	0	1	1	2	0	1	1	2	0	1	1	2
<i>Analyse réalisée</i>		<i>0</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>3</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>	<i>0</i>	<i>1</i>	<i>1</i>	<i>2</i>

(n.a = non applicable)

2.4.3 Prise de mesures

La croissance en hauteur et celle en diamètre au niveau du sol ont été évaluées tout de suite après la plantation ainsi qu'à la fin de chacune des trois saisons de végétation.

Dans un rayon de 1,13 m autour de chaque arbre à l'étude, le recouvrement par la végétation compétitrice a été évalué selon 6 classes : 0%, présence (1-13%), 25% (12-37%), 50%, 75% et 100% à tous les mois afin de déterminer l'envahissement progressif du site par les herbacées entre les traitements d'entretien. La hauteur moyenne de la compétition herbacée a également été évaluée, en classes de 10 cm.

À la fin du mois d'août 2005, dans chacune des répétitions et pour chaque combinaison de traitements, un arbre choisi aléatoirement a été défolié en entier et le nombre de feuilles total ainsi que la surface foliaire totale de l'arbre ont été mesurés à l'aide d'un appareil de mesure de surface foliaire (LI-6100, Licor, Nebraska, É-U).

L'activité photosynthétique a été évaluée en juillet 2006 à l'aide d'un analyseur de gaz infrarouge Ciras-2 (PP Systems, Massachusetts, É-U) au moment où les feuilles étaient pleinement développées, et avant que les arbres ne forment leurs bourgeons terminaux. Le taux de photosynthèse a été pris sur une jeune feuille mature de 4 arbres-étude pour chaque combinaison de *traitements* \times *clone* par répétition sur les sites de Preissac et d'Arntfield (N=384).

2.4.4 Température du sol

Des thermomètres de type HOBO (H08-006-04, MicroDaq, Warner, New Hampshire, É.-U.) ont été installés sur les sites de Preissac et de Duparquet et ce, pour chacune des combinaisons de traitements « préparation de terrain \times entretien » (8 par site) sur un bloc par site, dû au coût élevé des appareils. Pour chacun des thermomètres, 2 sondes étaient installées à une profondeur de 10 cm, tandis que les deux autres étaient installées à 20 cm pour un total de 4 lectures par appareil. Les thermomètres furent mis en place tôt au début de la saison de croissance 2005 (début mai) et retirés du site au moment de la première neige (fin octobre).

Ces données ont également été évaluées pour la saison de croissance 2006. Au cours de ces deux périodes, la mesure de la température fut prise en continu à toutes les heures. Les moyennes mensuelles, la moyenne des maximums et des minimums mensuels ainsi que les écarts entre les minimums et les maximums journaliers ont été calculés. La température de jour est calculée entre 8h00 et 20h00, tandis que la température de nuit est calculée entre 20h00 et 8h00.

2.4.5 Débourrement et dormance

L'évolution du débourrement des arbres a été observée au début de chaque saison à partir de la fin avril ou début mai selon les stades de débourrement (Tableau 2.3). On estime qu'un arbre avait amorcé son débourrement lorsqu'il avait atteint le stade 2 et qu'il l'avait complété lorsqu'il avait atteint le stade 6. Afin de caractériser l'aoûtement, la date où le bourgeon terminal, de couleur verte, commençait à se former a été notée ainsi que la date où il était complet et présentait une couleur brunâtre.

Tableau 2.3 : Description des stades de débourrement et d'aoûtement

Stades de débourrement	Description
1	Le bourgeon terminal est fermé
2	Le bourgeon terminal est fendu (éclosion)
3	Les feuilles commencent à sortir de l'extrémité du bourgeon mais ne dépassent pas la longueur du bourgeon
4	Les feuilles, toujours enroulées, s'allongent et doublent la longueur du bourgeon
5	Les feuilles se déroulent et ont presque atteint leur longueur finale mais sont toujours regroupées à l'extrémité du bourgeon.
6	Les feuilles sont déployées et forment une ombelle à l'extrémité du plant
Stades d'aoûtement	Description
1	La tige terminale est toujours pourvue de feuilles
2	La tige terminale présente un bourgeon vert
3	La tige terminale présente un bourgeon brun et est lignifiée (rouge ou brun)

2.4.6 Dégâts causés par les rongeurs

Devant les importants dégâts causés par les rongeurs, probablement le mulot commun (*Apodemus sylvaticus*), durant l'hiver 2006 sur le site de Preissac (agricole), la sévérité des dégâts a été évaluée en fonction de la portion de la circonférence du tronc qui était rongée (Tableau 2.4), sur tous les arbres du site.

2.4.7 Analyses statistiques

La réponse de la croissance en hauteur, en diamètre à la base, du taux de photosynthèse et de la surface foliaire pour chacun des traitements a été comparée pour chacun des clones à l'aide d'une analyse de variance en split-block (Steel et Torrie, 1980) avec un seuil de signification à $p < 0.05$ (Annexe C). Chaque saison de croissance a été analysée séparément et l'accroissement total (2004-2006) a également été évalué. Étant donné que la fréquence des traitements d'entretien et la date de plantation variaient pour chacun des sites, les sites ont été analysés individuellement. Toutefois, en ce qui concerne les données de température, comme des sondes ont été installées dans une seule répétition par site, les sites ont été utilisés comme répliqués dans les analyses statistiques. Les arbres morts ou issus de rejets de souche ont été retirés des analyses de croissance.

Tableau 2.4 : Classe de sévérité des dégâts causés par les rongeurs

Classe de sévérité des dégâts	% de la circonférence de la tige ayant été rongée
Non rongé	25 % et moins
Modéré	25 % à 75 %
Sévère	75 % à complètement annelée

2.5 Résultats

2.5.1 Survie des plants

Des taux de survie de 92%, 82% et 99,7% ont été respectivement observés sur les sites de Preissac, Duparquet et Arntfield. Les arbres sont morts lors de l'année d'établissement dans 83% des cas, principalement dû à la faible vigueur à priori des plants mis en terre (forte descente de cime). Le clone 916401 est celui qui a été le plus affecté (Tableau 2.5), particulièrement à Duparquet. Les arbres morts en 2004 ont tous été remplacés sur le terrain par de nouveaux plants des mêmes clones en 2005 mais on été retirés de l'analyse.

Tableau 2.5 : Nombre d'arbres morts en fonction du clone, de la préparation de terrain et de la fréquence des entretiens mécaniques par site et par année.

Préparation de terrain	Fréquence d'entretien	Preissac			Fréquence d'entretien	Duparquet			Fréquence d'entretien	Arntfield		Total
		2004	2005	2006		2004	2005	2006		2005	2006	
Butte	0	7	1	2	0	5		1	0			
	1	8		1	1	14	1	1	1			
	2				2	6		2	2			
	3		1									
Herse	0	2		5	0	19			0			
	1	8		1	1	24		3	1	1		
	2			2	2	10			2			
	3			1								
Total		25	2	12		78	1	7		1	0	126
Clone	915319	11	2	6		23		4				46
	916401	14	0	6		55	1	3		1		80
	Total	25	2	12		78	1	7		1	0	126

2.5.2 Croissance après 3 ans

En moyenne, les arbres avaient atteint une hauteur finale de 239 cm sur les sites de Duparquet et Arntfield, et de 187 cm à Preissac (Tableau 2.6). Les diamètres finaux à la base étaient respectivement de 46 mm, 39 mm et 34 mm pour ces mêmes sites. Les accroissements en hauteur et en diamètre par année et totales des arbres ont différé selon les clones sur les trois sites, le clone 915319 étant le plus performant (Tableau 2.6).

Tableau 2.6 : Croissance annuelle et totale en hauteur (cm) et en diamètre au collet (mm) en fonction des clones par site.

		Site			Preissac			Duparquet			Arntfield1		
		Clone	915319	916401	<i>p</i>	915319	916401	<i>p</i>	915319	916401	<i>p</i>		
Accroissement en diamètre au collet	Acc. 2004		2,4	2,0	0,0002	1,9	1,6	0,01	n.a	n.a			
	Acc. 2005		6,6	5,0	<,0001	7,2	6,2	0,02	7,3	6,5	0,08		
	Acc. 2006		15,5	12,6	<,0001	24,9	25,1	0,82	21,3	19,2	0,01		
	Accroissement total 2004-2006		25,1	20	<,0001	34,8	33	0,03	28,8	26,5	0,03		
Accroissement en hauteur	Acc. 2004		19,3	13,0	<,0001	12,5	6,9	<,0001	n.a	n.a			
	Acc. 2005		45,3	26,5	<,0001	58,5	41,8	<,0001	6,1	14,9	0,005		
	Acc. 2006		87,9	79,2	0,01	130,0	129,4	0,86	116,1	103,6	0,01		
	Accroissement total 2004-2006		153,8	117,7	<,0001	203	177,1	<,0001	119,4	120	0,93		

Seuil de $p < 0,05$, (n.a = non applicable)

2.5.3 Préparation de terrain

Sur le site d'Arntfield, la préparation de terrain en buttes a augmenté la croissance du clone 916401 où celui-ci a obtenu un gain de 14% en diamètre et de 32% en hauteur par rapport à la préparation de terrain en surface plane (*herse*) (Figure 2.1 c). Le clone 915319, quant à lui, n'a pas réagi à la mise en buttes sur ce site. Au site de Duparquet, bien qu'on observe une augmentation de la croissance en hauteur des deux clones sur la butte (Figure 2.1 b), aucun gain significatif n'a été observé au niveau de la croissance en diamètre. La préparation de terrain en buttes n'a pas augmenté la croissance en hauteur et diamètre sur le site de Preissac, et on y observe plutôt une légère augmentation en hauteur des clones dans le traitement *Herse* (Figure 2.1 a).

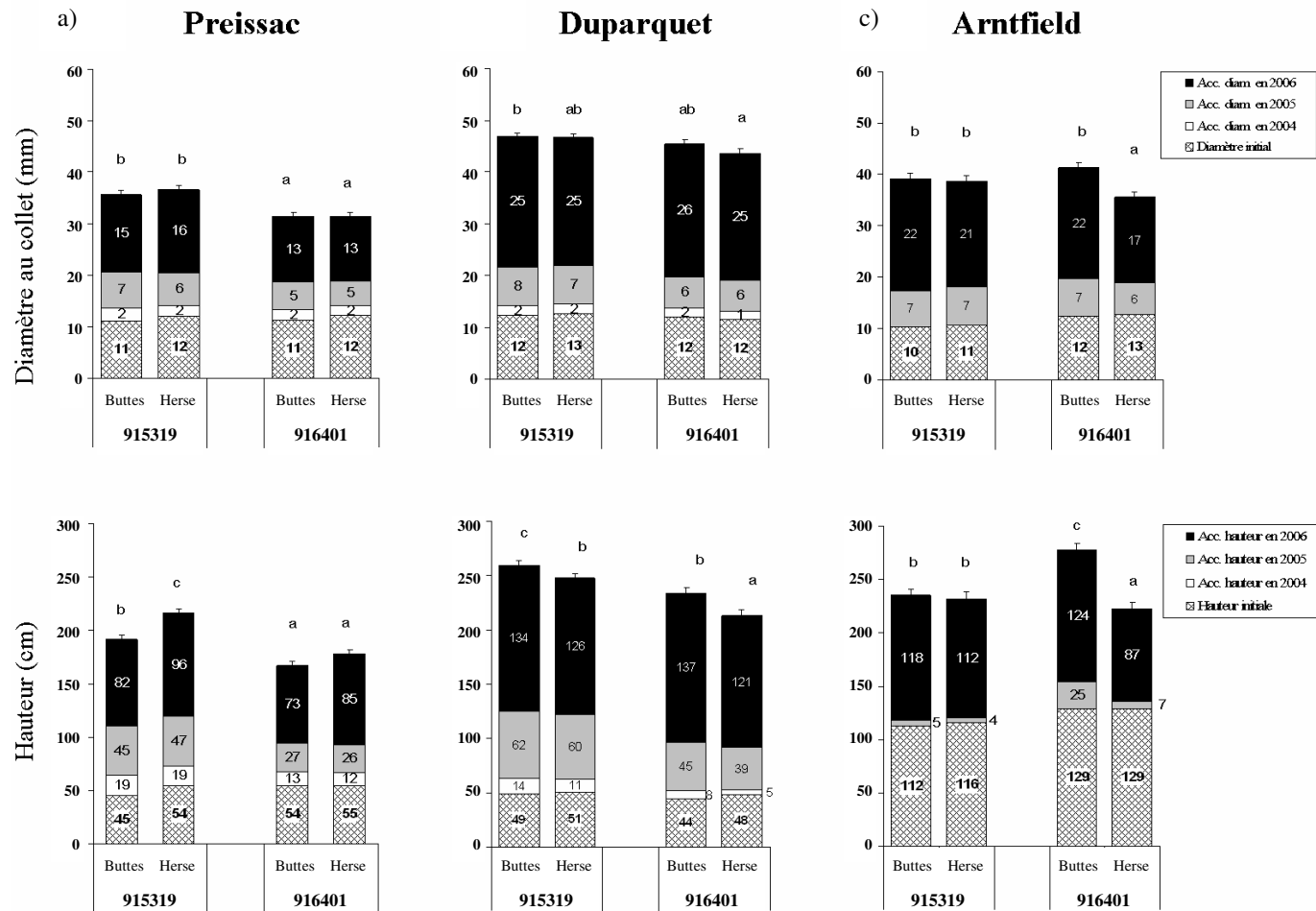


Figure 2.1 : Accroissement en diamètre et en hauteur après trois années de croissance en fonction de la préparation de terrain pour chacun des clones de peuplier hybride sur chacun des sites (les lettres semblables au-dessus des colonnes indiquent des valeurs non significativement différentes).

L'entretien a eu pour effet de diminuer la hauteur des buttes, particulièrement à Preissac où les passages furent plus fréquents (Tableau 2.7). Les buttes du site d'Arntfield présentaient également une baisse en hauteur, même après un seul passage.

Le taux de photosynthèse était similaire pour les deux traitements de préparation de terrain, bien qu'on observe une tendance à la hausse non significative sur les buttes au site d'Arntfield (Figure 2.2).

Tableau 2.7 : Variation de la hauteur des buttes (cm) en fonction de la fréquence des entretiens en 2005 et 2006.

Fréquence des entretiens	Hauteur des buttes					
	Preissac		Duparquet		Arntfield	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006
0	26	25	28	24	29	27
1	20	17	27	24	23	22
2	21	17	n.a	24	n.a	19
3	21	16	n.a	n.a	n.a	n.a
<i>p</i>	0,04	0,02	0,82	0,93	0,28	0,09

n.a = non applicable

La surface foliaire à la fin de la saison 2005 était supérieure sur la butte sur le site d'Arntfield (Figure 2.3 c). Par contre, celle-ci n'était pas significativement différente entre les traitements de préparation de terrain pour le site de Preissac et de Duparquet (Figure 2.3 a, b).

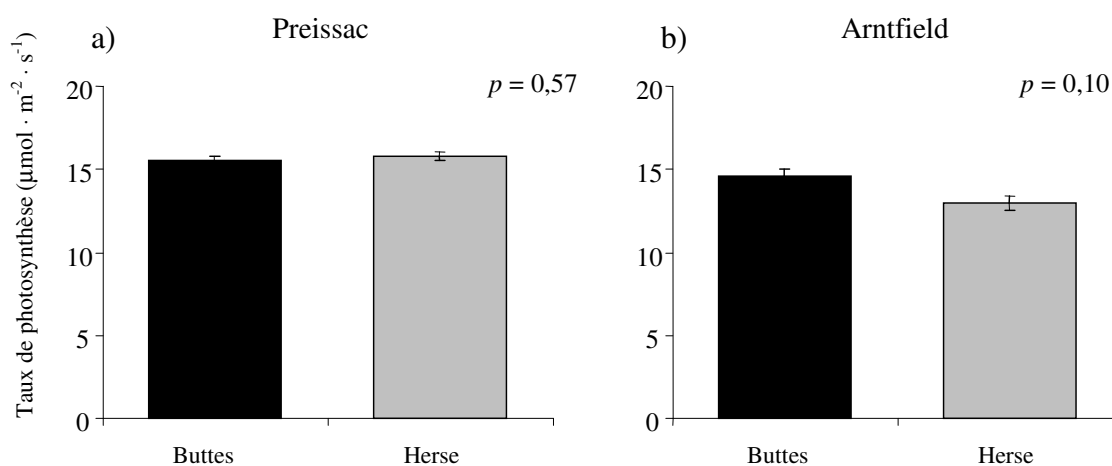


Figure 2.2 : Taux de photosynthèse en fonction de la préparation de terrain sur le site de Preissac (a) et d'Arntfield (b) pour les deux clones de peuplier hybride confondus.

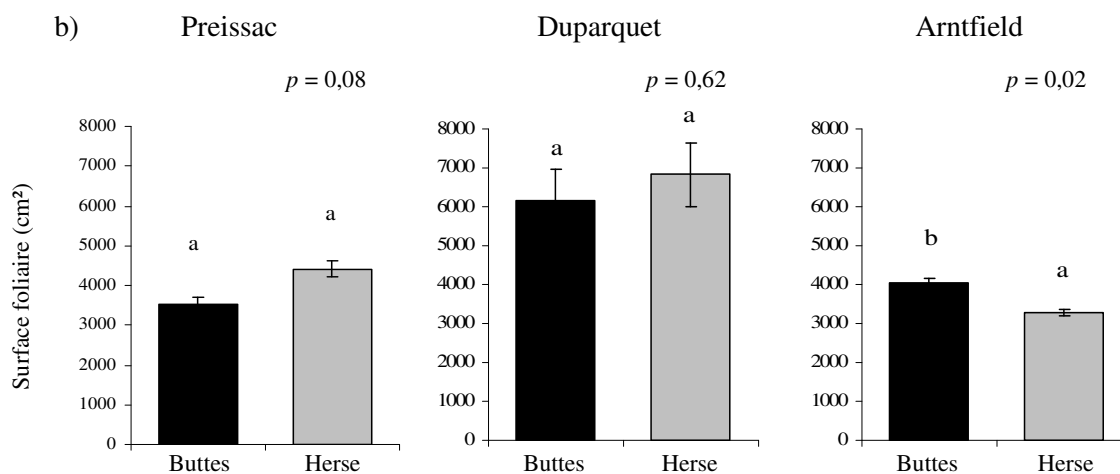


Figure 2.3 : Surface foliaire en 2005 selon la préparation de terrain sur chacun des sites.

2.5.4 Entretien de la végétation compétitrice

L'augmentation de la fréquence annuelle des entretiens de la végétation compétitrice a eu un effet positif sur la croissance seulement sur le site de Preissac, où deux entretiens par année ont augmenté le diamètre final du clone 915319 de 35% et la hauteur de 20% par rapport à aucun entretien, après 3 saisons de croissance (Figure 2.4 a). L'ajout d'un troisième entretien au cours de la deuxième saison (2005) n'a pas engendré de gain de croissance supplémentaire par rapport à 2 entretiens. Ce clone semble bénéficier davantage de l'entretien que le clone 916401, qui n'a pas profité autant de l'enlèvement de la végétation compétitrice sur ce site : malgré une légère augmentation de sa croissance en diamètre avec le nombre d'entretiens, il a fallu 3 entretiens annuels pour obtenir un gain significatif en diamètre de 18% par rapport à aucun entretien (Figure 2.4 a). Notons que le fait d'effectuer un seul entretien annuel au début du mois de juillet procure un gain en diamètre de 16% pour le clone 915319, mais aucun gain en hauteur par rapport à l'absence d'entretien sur le site de Preissac (Figure 2.4 a).

À Arntfield, le diamètre final du clone 916401 présente un gain de 10% avec 2 entretiens annuels par rapport à aucun entretien, après seulement 2 saisons de croissance, alors que la croissance du clone 915319 était légèrement augmentée avec un seul entretien (Figure 2.4 c). Sur le site de Duparquet, les diverses fréquences annuelles d'entretien n'ont eu aucun effet significatif sur la croissance (Figure 2.4 b).

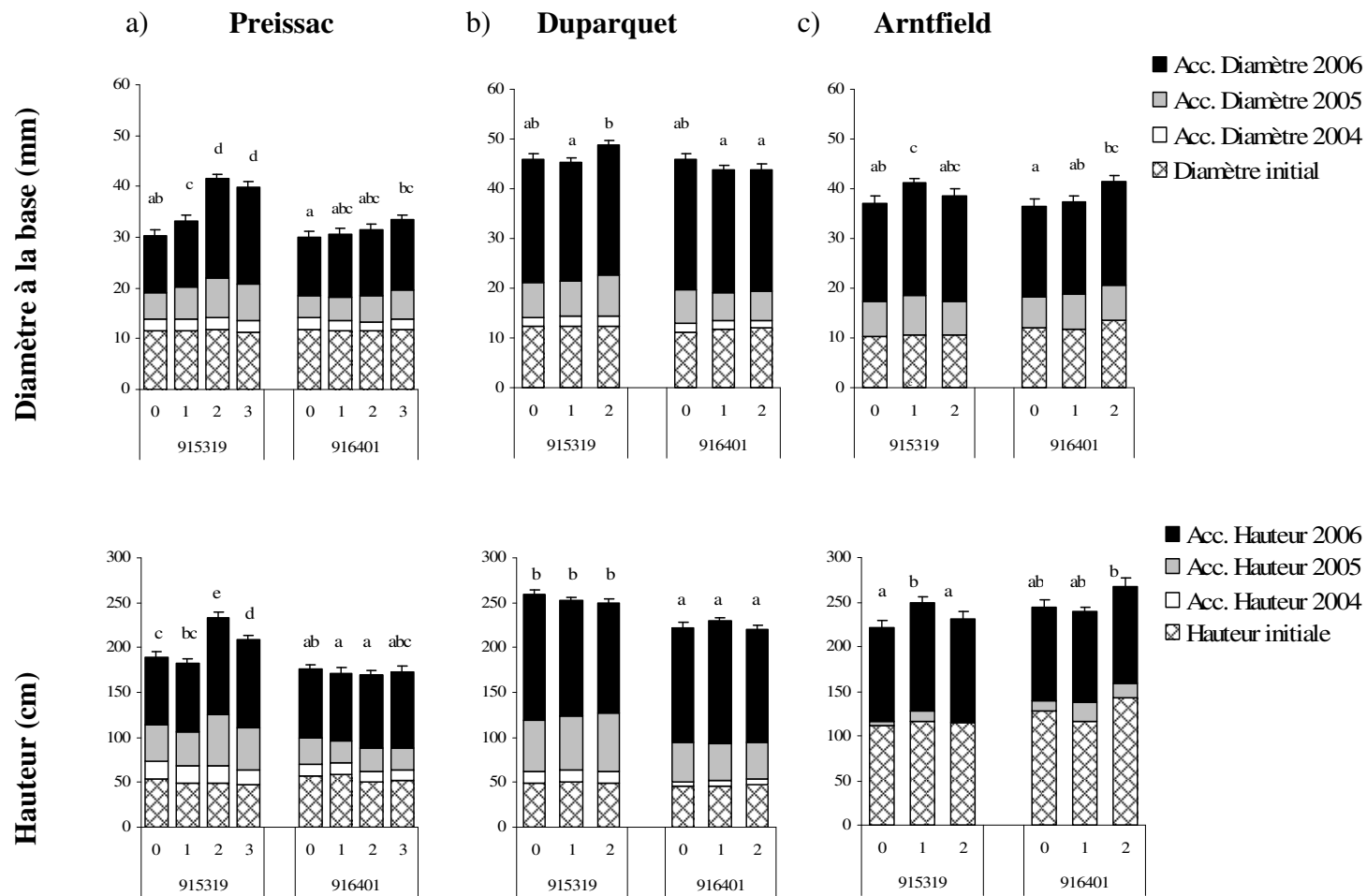


Figure 2.4 : Accroissement en diamètre et en hauteur pour les trois années de croissance en fonction de la fréquence annuelle des entretiens mécaniques pour chacun des clones de peuplier hybride sur chacun des sites.

Au site de Preissac, la technique d'entretien utilisée dans ce projet a significativement diminué le recouvrement moyen de 53% à 4% en 2005 et de 67% à 10% en 2006 entre 0 et 3 entretiens annuels (Tableau 2.8). La hauteur de la végétation diminuait également à mesure que le nombre d'entretiens augmentait (Tableau 2.8). Des corrélations négatives significatives ($p < 0.04$) entre la hauteur, le pourcentage de recouvrement de la végétation compétitrice et l'accroissement en diamètre des peupliers ont été observées sur le site de Preissac pour le clone 915319 (Tableau 2.9). La corrélation était plus faible pour l'accroissement en hauteur mais tout de même significative. Aucune corrélation n'a été observée entre la hauteur, le pourcentage de recouvrement de la végétation compétitrice et la croissance du clone 916401 sur ce site (Tableau 2.9).

Étant donné le faible recouvrement initial de la végétation herbacée sur les deux sites forestiers (moins de 5% de recouvrement en 2006), l'entretien n'a pas eu d'effet significatif sur la compétition herbacée à Arntfield et seulement sur la hauteur en 2006 à Duparquet (Tableau 2.8).

Tableau 2.8 : Recouvrement et hauteur de la végétation herbacée en 2005 et 2006 en fonction des entretiens mécaniques.

Fréquence annuelle des entretiens	Preissac				Duparquet				Arntfield			
	Recouvrement (%)		Hauteur (cm)		Recouvrement (%)		Hauteur (cm)		Recouvrement (%)		Hauteur (cm)	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
0	53b	67c	54b	56c	0,6a	5b	10a	23b	0,3a	3a	4a	19a
1	14a	30b	28a	29b	0,4a	2a	8a	18a	0,8a	5a	6a	15a
2	16a	31b	30a	28b	n.a	1a	n.a	15a	n.a	1a	n.a	10a
3	4a	10a	15a	22a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a	n.a

Note : les lettres qui diffèrent entre elles par colonne indiquent des valeurs significativement différentes à $p < 0.05$. n.a = non applicable

De façon générale, le dessus des *buttes*, dans un rayon de 1,13m autour du plant, présentait un recouvrement et une hauteur de la végétation herbacée plus faible que dans la préparation de terrain *herse*, quoique cette différence était non significative mise à part la hauteur de la végétation en 2006 à Duparquet qui était significativement plus grande (Tableau 2.10).

Tableau 2.9 : Corrélations de Pearson entre le pourcentage de recouvrement et la hauteur de la végétation herbacée en 2005 et 2006, et l'accroissement en diamètre et en hauteur après 3 saisons de croissance. (Seuil $p < 0,05$)

Sites	Année	Végétation	Clone 915319				Clone 916401			
			acc. diamètre 2004-2006		acc. hauteur 2004-2006		acc. diamètre 2004-2006		acc. hauteur 2004-2006	
			<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>	<i>r</i>	<i>p</i>
Preissac	2005	Recouvrement	-0,34	<,0001	-0,19	0,01	-0,07	0,30	0,05	0,51
		Hauteur	-0,28	<,0001	-0,08	0,23	-0,08	0,25	0,09	0,22
	2006	Recouvrement	-0,35	<,0001	-0,15	0,04	-0,06	0,40	0,07	0,30
		Hauteur	-0,33	<,0001	-0,17	0,02	-0,07	0,28	0,05	0,47
Duparquet	2005	Recouvrement	0,11	0,13	0,09	0,21	0,11	0,15	0,04	0,57
		Hauteur	0,13	0,06	0,11	0,10	0,17	0,03	0,08	0,28
	2006	Recouvrement	0,02	0,79	0,12	0,09	-0,12	0,13	-0,05	0,55
		Hauteur	0,09	0,18	0,07	0,33	0,06	0,45	-0,05	0,54
Arntfield	2005	Recouvrement	0,05	0,57	0,16	0,05	0,15	0,08	0,16	0,06
		Hauteur	0,27	0,01	0,37	<,0001	0,32	0,0002	0,38	<,0001
	2006	Recouvrement	0,17	0,01	0,33	<,0001	0,14	0,11	0,18	0,04
		Hauteur	0,26	0,002	0,40	<,0001	0,37	<,0001	0,38	<,0001

Note : Les valeurs en gras sont significativement différentes à un seuil de $p < 0,05$

Tableau 2.10 : Recouvrement et hauteur de la végétation herbacée en 2005 et 2006 en fonction des traitements de préparation de terrain. (Seuil $p < 0,05$)

Préparation de terrain	Preissac				Duparquet				Arntfield			
	Recouvrement (%)		Hauteur (cm)		Recouvrement (%)		Hauteur (cm)		Recouvrement (%)		Hauteur (cm)	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Buttes	21	31	31	35	0,4	1,9	7	17	0,4	1,8	5	16
Herse	27	40	35	36	0,6	3,5	9	21	0,7	4,0	5	13
<i>P</i>	0,42	0,24	0,09	0,80	0,06	0,22	0,31	0,02	0,54	0,50	0,88	0,27

Contrairement à ce qui a été observé sur le site de Preissac, une corrélation positive entre la hauteur de la végétation compétitrice et l'accroissement en diamètre et hauteur des arbres à été observée sur le site d'Arntfield (Tableau 2.10). Il existe également une corrélation positive entre la croissance et le recouvrement de la végétation en 2006 pour le clone 915319 sur ce même site (Tableau 2.10), alors qu'à Duparquet, seule la hauteur de la végétation en 2005 était positivement et faiblement corrélée avec l'accroissement en diamètre des arbres (Tableau 2.10).

La surface foliaire des arbres en 2005 n'a pas été influencée par les traitements d'entretiens et ne se différencie pas entre les clones. Cependant, il y avait une légère tendance sur le site de Preissac où les arbres ayant été entretenus 2 ou 3 fois par année présentaient une plus grande surface foliaire par rapport à ceux qui n'avaient pas été entretenus ou entretenus à une seule reprise (Figure 2.5).

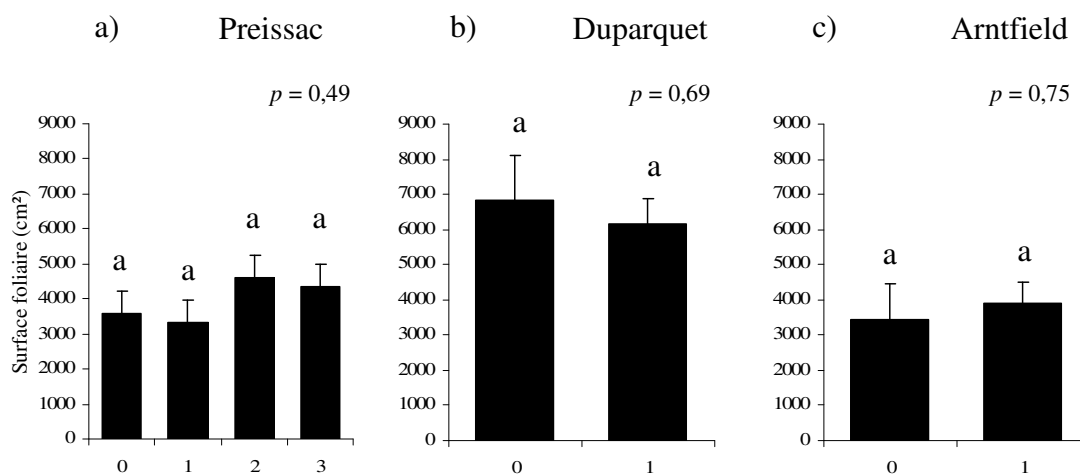


Figure 2.5 : Surface foliaire (cm²) en 2005 en fonction de la fréquence d'entretien annuel sur chacun des sites.

La fréquence annuelle des entretiens mécaniques n'a pas influencé l'activité photosynthétique mesurée en 2006 sur les sites de Preissac et Arntfield (Figure 2.6 a, b).

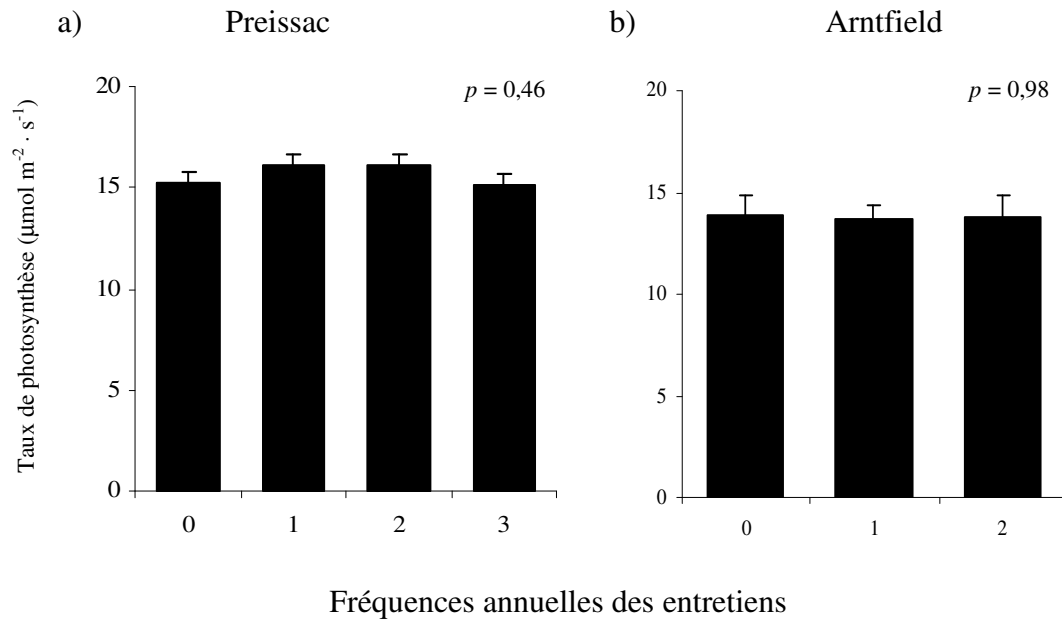


Figure 2.6 : Taux de photosynthèse en fonction de la fréquence des entretiens annuels sur le site de Preissac (a) et d'Arntfield (b) en 2006.

2.5.5 Saison de végétation

Les deux traitements de préparation de terrain ainsi que les différentes fréquences annuelles d'entretien n'ont pas influencé la longueur de la saison de végétation des plants (Tableau 2.11). De façon générale, excepté à Preissac en 2005, le clone 916401 présentait une saison de végétation plus longue d'environ une semaine par rapport au clone 915319, en débouurant plus tôt au printemps (Tableau 2.11). Les dates de débourrement au site d'Arntfield en 2005 diffèrent de celles des autres sites puisque celui-ci a été mis en terre le 12 mai, alors que les arbres des autres sites, mis en terre en 2004, avaient déjà amorcé leur débourrement.

Tableau 2.11 : Dates de débourrement et d'aoûtement (jours juliens) et longueur de la saison de végétation (jours) en fonction des traitements de préparation de terrain, de la fréquence annuelle des entretiens et des clones de peuplier hybride. (n.a = non applicable)

			Préparation de terrain			Fréquence annuelle des entretiens					Clone		
			Buttes	Herse	p	0	1	2	3	p	915319	916401	p
Saison de végétation	Preissac	2005	148	149	0,43	151	146	149	148	0,34	150	147	0,01
		2006	152	157	0,27	152	154	155	156	0,87	151	158	<,0001
	Duparquet.	2005	148	146	0,51	147	147	n.a	n.a	0,74	143	151	<,0001
		2006	162	161	0,26	162	161	161	n.a	0,06	158	164	<,0001
	Arntfield	2005	123	124	0,25	124	123	n.a	n.a	0,93	122	125	0,30
		2006	157	155	0,39	155	154	158	n.a	0,67	150	161	<,0001
Débourrement	Preissac	2005	126	125	0,01	125	127	125	126	0,08	128	124	<,0001
		2006	123	121	0,24	124	122	121	120	0,33	126	118	<,0001
	Duparquet	2005	126	126	0,99	126	126	n.a	n.a	0,59	128	124	<,0001
		2006	112	113	0,45	112	113	112	n.a	0,19	116	109	<,0001
	Arntfield	2005	148	149	0,83	149	148	n.a	n.a	0,83	149	148	0,47
		2006	116	117	0,17	116	116	116	n.a	0,93	122	111	<,0001
Aoûtement	Preissac	2005	274	274	0,92	277	273	274	274	0,65	278	271	<,0001
		2006	275	278	0,36	276	276	276	276	0,99	277	275	0,09
	Duparquet	2005	274	272	0,36	273	273	n.a	n.a	0,90	271	275	0,01
		2006	274	273	0,19	274	274	273	n.a	0,15	274	273	0,04
	Arntfield	2005	271	273	0,56	273	271	n.a	n.a	0,25	271	273	0,44
		2006	272	271	0,57	272	270	274	n.a	0,55	272	272	0,83

2.5.6 La température du sol

Pour chacun des sites de Preissac et de Duparquet, où les thermomètres ont été installés, les températures du sol ne différaient que très peu entre les traitements de préparation de terrain. La butte réchauffait le sol de façon marginale ($\pm 0,1$ °C en moyenne) le jour au printemps et la refroidissait plus rapidement à l'automne (Tableau 2.12). Les températures nocturnes de fin de saison étaient également plus froides sur la *butte* que dans le traitement *herse*. Les traitements d'entretien de la végétation n'ont, quant à eux, pas influencé les moyennes mensuelles de la température du sol (moyenne, min, max, écarts) (Tableau 2.13).

Tableau 2.12 : Températures moyennes mensuelles, moyennes des températures maximums et minimums mensuelles selon la préparation de terrain (B = buttes, H = herse) en 2005 et 2006.

		T (°C) Moyenne				Moyenne des T (°C) Min				Moyenne des T (°C) Max			
		10 cm		20 cm		10 cm		20 cm		10 cm		20 cm	
		B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
2005	Mai	11,3	11,3	10,3	10,1	9,0	9,5	9,6	9,6	13,3	13,2	11,3	10,9
	Juin	18,1	17,8	16,9	16,5	15,4	15,8	16,1	15,9	20,4	20,0	18,1	17,4
	Juillet	20,0	19,8	19,0	18,7	17,3	17,8	18,3	18,2	22,2	21,8	20,2	19,6
	Août	17,5	17,5	16,9	16,9	15,0	15,8	16,2	16,4	19,5	19,3	17,9	17,6
	Sept,	13,2	13,4	13,0	13,3	11,1	12,1	12,4	12,9	14,9	14,9	13,9	13,9
	Oct,	8,2	8,5	8,4	8,8	6,9	7,6	7,9	8,5	9,5	9,6	9,1	9,3
2006	Mai	11,7	11,7	10,7	10,4	9,4	9,9	10,0	9,8	13,7	13,5	11,9	11,3
	Juin	17,2	16,8	16,2	15,6	14,4	14,8	15,3	14,9	19,5	18,8	17,5	16,6
	Juillet	19,1	18,8	18,2	17,8	16,5	17,1	17,5	17,2	21,1	20,5	19,4	18,6
	Août	16	16,6	16	16,1	13,7	15,1	15,3	15,5	17,8	18,2	17	16,8
	Sept,	11,4	12,3	11,8	12,1	9,6	11,1	11,2	11,7	12,9	13,7	12,6	12,8
	Oct,	9,9	9,8	10,3	9,7	8,7	9,1	9,8	9,3	11,3	11,0	11,2	10,4

		T (°C) Moyenne				Moyenne des T (°C) Min				Moyenne des T (°C) Max			
		10 cm		20 cm		10 cm		20 cm		10 cm		20 cm	
		B	H	B	H	B	H	B	H	B	H	B	H
2005	Mai	11,0	11,3	4,4	3,8	2,0	1,6	4,4	4,4	4,4	4,4	9,9	9,9
	Juin	17,7	17,9	4,9	4,2	2,2	1,7	4,9	4,9	4,9	4,9	16,4	16,3
	Juillet	19,5	19,8	4,6	3,9	2,1	1,5	4,6	4,6	4,6	4,6	18,6	18,6
	Août	17,0	17,6	4,0	3,2	1,8	1,3	4,0	4,0	4,0	4,0	16,6	16,8
	Sept,	12,8	13,6	3,5	2,7	1,6	1,1	3,5	3,5	3,5	3,5	12,7	13,3
	Oct,	8,0	8,6	2,5	2,1	1,4	1,1	2,5	2,5	2,5	2,5	8,0	8,6
2006	Mai	11,3	11,7	4,6	3,8	2,2	1,9	4,6	4,6	4,6	4,6	10,2	10,0
	Juin	16,7	16,9	5,0	3,9	2,3	1,8	5,0	5,0	5,0	5,0	15,7	15,3
	Juillet	18,5	18,8	4,3	3,2	2,0	1,5	4,3	4,3	4,3	4,3	17,8	17,5
	Août	15,5	16,7	3,7	2,8	1,6	1,3	3,7	3,7	3,7	3,7	15,7	15,9
	Sept,	11,1	12,5	3,0	2,4	1,4	1,2	3,0	3,0	3,0	3,0	11,5	12,0
	Oct,	9,8	10,0	2,6	2,2	1,7	1,5	2,6	2,6	2,6	2,6	9,8	9,3

Note : Les moyennes en gras sont significativement différentes à un seuil de $p < 0,05$ entre les traitements de préparation de terrain.

Tableau 2.13 : Seuil de signification (p) entre les traitements d'entretien selon l'année, le mois et la profondeur du sol pour les températures ($^{\circ}\text{C}$) mensuelles moyennes, minimums, maximums et les écarts de température journaliers.

Année	Mois	T ($^{\circ}\text{C}$) Moyenne		Moyenne des T ($^{\circ}\text{C}$) Min		Moyenne des T ($^{\circ}\text{C}$) Max		Écart T ($^{\circ}\text{C}$) (Max-Min)	
		10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm	10 cm	20 cm
2005	mai	0,18	0,51	0,57	0,57	0,27	0,51	0,14	0,47
	juin	0,60	0,46	0,94	0,68	0,70	0,46	0,29	0,45
	juillet	0,65	0,60	0,86	0,85	0,78	0,59	0,65	0,46
	août	0,96	0,54	0,97	0,65	0,96	0,59	0,93	0,50
	septembre	0,96	0,41	0,80	0,41	0,96	0,52	0,92	0,54
2006	mai	0,14	0,57	0,71	0,59	0,33	0,58	0,54	0,45
	juin	0,39	0,46	0,91	0,67	0,67	0,44	0,58	0,39
	juillet	0,27	0,65	0,66	0,77	0,72	0,64	0,88	0,34
	août	0,11	0,71	0,31	0,73	0,37	0,71	0,94	0,55
	septembre	0,09	0,62	0,34	0,64	0,20	0,63	0,83	0,69
	octobre	0,30	0,42	0,34	0,41	0,32	0,49	0,39	0,58

Seuil de $p < 0.05$

2.5.7 Les rongeurs

La présence de dégâts causés par les rongeurs a été constatée au printemps 2006 au site de Preissac. Près de la moitié des peupliers hybrides y ont été rongés à la base et ce, selon des intensités allant de modérée (25 à 50% de la circonférence du tronc rongée), à sévère (75% et + de la circonférence du tronc rongée). En 2004 et 2005, aucun dégât n'avait été constaté.

Les plants ont été attaqués moins sévèrement dans la préparation de terrain en buttes où les rongeurs y ont attaqué, modérément ou sévèrement, 31% des plants par rapport à 54 % dans la préparation de terrain en surface plane (*herse*) (Figure 2.7). La proportion des arbres attaqués sévèrement était significativement ($p = 0,04$) plus faible sur la *butte* (7%) que dans la *herse* (22%) (Figure 2.7).

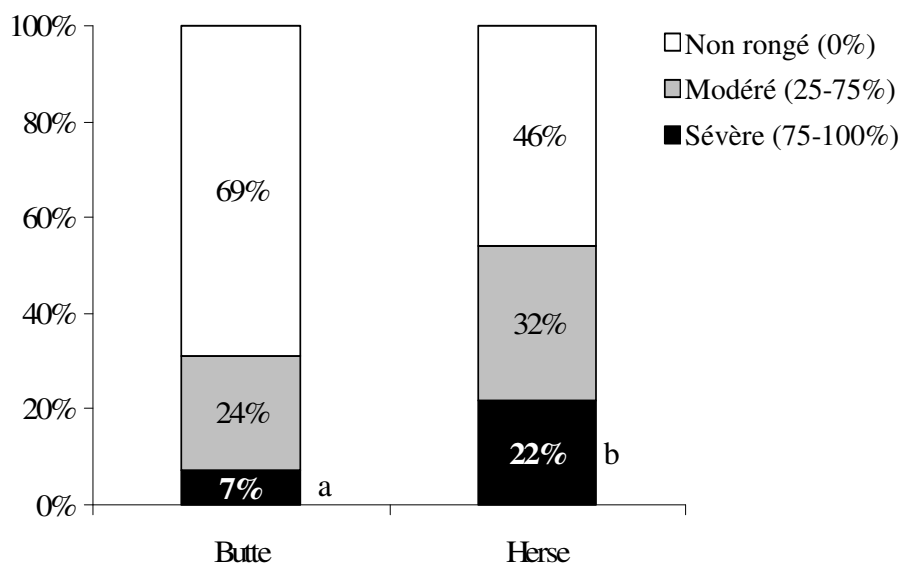


Figure 2.7 : Sévérité des dégâts causés par les rongeurs en fonction de la préparation de terrain sur le site de Preissac.

Les dégâts causés par les rongeurs étaient moindres lorsque la végétation était enlevée à trois reprises (35% des plants rongés) par rapport aux endroits où aucune végétation n'avait été entretenue (53% des plants rongés) (Figure 2.8). Les attaques sévères étaient également diminuées de moitié lorsque la végétation était entretenue à au moins une reprise ($p = 0,06$) (Figure 2.8).

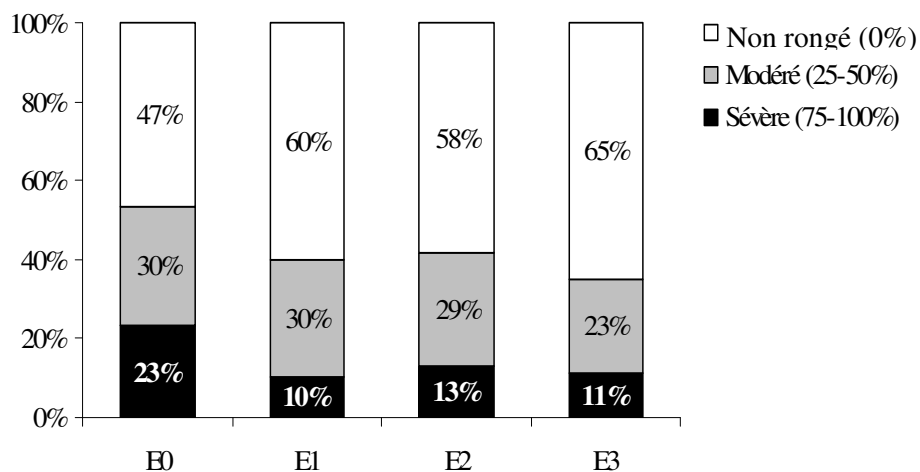


Figure 2.8 : Sévérité des dégâts causés par les rongeurs en fonction de la fréquence annuelle des entretiens sur le site de Preissac.

Le clone 915319, qui était le plus performant, a été attaqué plus souvent (52 % vs 33 %, $p < 0,001$) et plus sévèrement (22 % vs 7 %, $p < 0,001$) que le clone 916401 (Figure 2.9).

Peu d'arbres sont morts suite aux dommages causés par les rongeurs (5%). Les arbres rongés modérément se sont cicatrisés alors que la tige principale des plants complètement annelés est morte pour faire place à de nouvelles tiges à la base (rejets de souche) pouvant atteindre jusqu'à 2 m de hauteur au cours de la même saison de croissance.

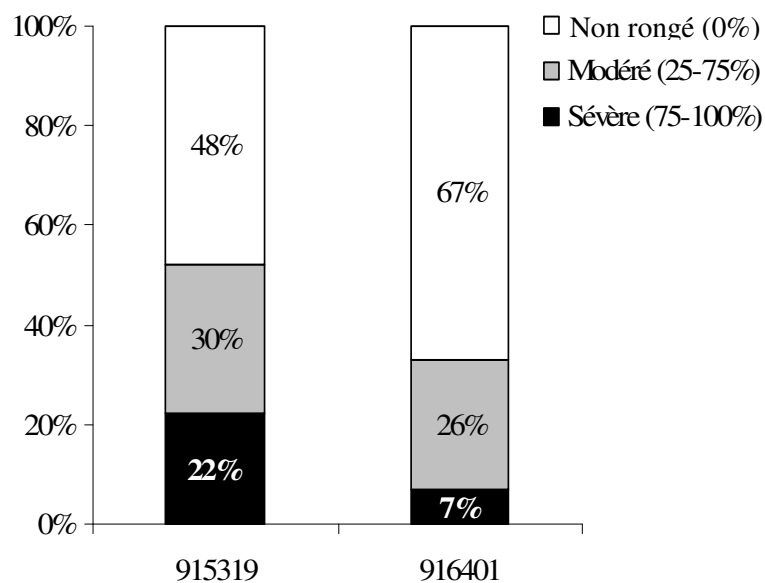


Figure 2.9 : Sévérité des dégâts causés par les rongeurs sur le site de Preissac en fonction du clone.

2.6 Discussion

L'utilisation de la mise en buttes dans les plantations de peuplier hybride est assez récente, bien qu'elle ait une longue histoire de succès dans les plantations de pins sur sites mal drainés (Dickmann et al., 2001). De nombreux auteurs ont démontré que des gains en croissance pour diverses essences en plantation pouvaient être obtenus suite à une préparation de terrain en buttes (Berguson et Adams, 1989 ; Heiskanen et Rikala, 2005 ; Löff et al., 2006), alors que d'autres ont obtenu des résultats contraires (Smolander et al., 2000 ; Renou-Wilson et al., 2007). L'effet de la préparation de terrain en buttes sur les clones de peuplier hybride dans le cadre de la présente étude reste mitigé : la butte a accru la croissance en hauteur et en diamètre de l'ordre de 14 % et 32% respectivement sur un seul des sites et pour un seul des clones à l'étude (Figure 2.1). Ceci s'est exprimé également par un taux de photosynthèse (Figure 2.2) et une surface foliaire (Figure 2.3) plus grands. Ce gain en croissance obtenu pour le clone 916401 à Arntfield va dans le même sens que ceux obtenus dans des plantations d'épinette de Norvège (*Picea abies* (L.) Karst), où des gains en hauteur de 43% ont été observés dans une préparation de terrain en buttes (Heiskanen et Rikala, 2005), ainsi que pour des plantations de chêne rouge (*Quercus robur* L.) avec des gains d'environ 30% en diamètre et en hauteur (Löff et al., 2006). Bien que la mise en buttes semble, de façon générale, améliorer la qualité du microsite, les baisses de croissance observées par Smolander et al. (2000) et Renou-Wilson et al. (2007) ont été expliquées par une diminution de la minéralisation en azote (N) et carbone (C) ainsi qu'une baisse du pH du sol dans ce type de préparation de terrain. D'autre part, le léger gain de croissance en hauteur dans la préparation de terrain *herse* à Preissac (Figure 2.1) pourrait simplement s'expliquer par le fait que, lors de son passage, le Weed Badger® creuse un peu autour de l'arbre, ce qui pourrait artificiellement faire augmenter la hauteur mesurée.

Par ailleurs, même s'il a déjà été observé que la mise en buttes réchauffait significativement le sol (Sutton, 1993 ; Nilsson and Örlander, 1999 ; DesRochers et al., 2004), cet effet n'a pas été observé dans la présente étude (Tableau 2.12). L'absence d'augmentation généralisée de la croissance dans la préparation de terrain en buttes pourrait donc s'expliquer par le non-réchauffement de la température du sol dans les 2 sites où des thermomètres avaient été

installés. Une température plus élevée du sol augmente la croissance des racines (Pregitzer et al., 2000) et, incidemment, de la partie aérienne de l'arbre et ce, particulièrement chez le peuplier (Landhäusser et al., 2001; Peng et Dang, 2003). Malgré que des écarts aient été dénotés dans la température du sol dans la préparation de terrain en buttes au début (un peu plus chaud) et en fin de saison (un peu plus froid), la température était similaire dans les 2 préparations de terrain lors des mois où la croissance était la plus marquée (juin et juillet) (Tableau 2.12), menant à des croissances comparables. D'autre part, les gains de température obtenus en début de saison, de l'ordre de 3 à 4 %, étaient en deçà de ceux rapportés dans la littérature d'au moins 10% (DesRochers et al., 2003 ; Nilsson and Örlander, 1999). La mise en buttes n'a également pas allongé la saison de végétation (Tableau 2.11), le débourrement et l'aoûtement étant respectivement régis par la température de l'air et le génotype (Kozlowski, 1997; Howe et al., 2000).

Par leur forme conique, les buttes pourraient également induire un stress hydriques causé par un drainage trop rapide (Haeussler, 1989 ; Sutton, 1993). D'autre part, l'exposition des racines due à l'érosion rapide des buttes et/ou à la constriction des racines à l'intérieur des buttes pourrait empêcher leur plein déploiement (Haeussler, 1989). Les sites argileux peuvent devenir également très secs au cours de la période estivale et présenter des fissures entre des blocs compacts (Konrad et Ayad, 1997). Comme l'humidité relative du sol n'a pas été évaluée, nous ne sommes pas en mesure de valider si celle-ci était réduite dans les buttes. Cependant, notons que le site d'Arntfield, seul site où la mise en buttes a induit des gains de croissance substantiels, était visuellement plus humide (la présence d'eau limitait souvent le passage de la machinerie lors des entretiens) probablement dû à un effet de drainage latéral.

La préparation de terrain en buttes a réduit substantiellement les dégâts causés par les rongeurs au printemps 2006 et ce, tant au niveau de la proportion des arbres attaqués que de la sévérité des dommages (Figure 2.7). Dans l'hémisphère nord, les attaques des rongeurs surviennent généralement dans le haut d'un cycle de fluctuation des populations (Cheveau et al., 2004) et lorsque les conditions climatiques sont particulièrement sèches (Baxter et Hansson, 2001) comme en 2005-2006 (Environnement Canada, 2007). D'ailleurs, on préconisait anciennement une méthode pour prémunir les arbres des rongeurs, qui consistait à tasser le sol, près des troncs, à une hauteur d'au moins 20 cm, de façon à créer une barrière

physique (Knapp et Auchter, 1929, cité par Marsh et al., 1990), méthode qui s'apparente à la mise en buttes. Les invasions de rongeurs peuvent être évitées par l'installation de spirales de plastique ou encore de trappes ou de pesticides (Marsh et al., 1990), qui sont, par contre, des méthodes beaucoup plus coûteuses que la préparation de terrain en buttes. On pourrait penser que la diminution de la hauteur des buttes avec les années et l'entretien (Tableau 2.7) diminuerait l'efficacité de ces derniers face aux rongeurs. Cependant, comme le couvert tend à se refermer après 3 à 5 ans, les rongeurs utilisent moins ces plantations puisque cette fermeture de couvert entraîne également une variation dans la composition de la flore herbacée (Moser et al., 2002). D'autre part, le délai de retour de la végétation sur le dessus des buttes (Landhäusser et Lieffers, 1999) rend le milieu moins propice pour les rongeurs. L'absence de végétation sur les buttes a été observée sur tous les sites. Bien que très peu de végétation se retrouvait en bordure du plant après 3 années de croissance, les résultats de recouvrement et de hauteur de la végétation en fonction des types de préparation de terrain (Tableau 2.9) ne représentaient pas tout à fait ce qui a été observé sur le terrain, puisque le rayon dans lequel le recouvrement était évalué (1,13 m) incluait une bonne proportion à la base de la butte où la végétation était abondante. Dans la préparation de terrain en surface plane (*herse*), le Weed Badger® ne s'approchait pas à moins de 25 cm du tronc de l'arbre et une touffe de végétation s'installait rapidement autour de la base des arbres fournissant abri aux rongeurs (Christian et al., 1997 ; Moser et al., 2002). Le fait d'entretenir un minimum d'une fois par an a toutefois diminué de moitié les dégâts sévères causés par les rongeurs (Figure 2.8). On peut penser que le passage de la machinerie affecte ces communautés davantage que la présence de foin ou non (Tableau 2.8), puisque les attaques sévères ne variaient pas entre les fréquences annuelles d'entretien 1, 2 ou 3 (Figure 2.8). Notons que, issu d'un croisement de *Populus balsamifera* et de *Populus Maximowiczii*, le clone 915319 a été davantage rongé que le clone 916401, moins vigoureux, hybride de *Populus euramericana* et *Populus balsamifera* (Figure 2.9) peut-être à cause de la sapidité de l'écorce de cette essence. Les dégâts causés par les rongeurs aux plantations sont un aspect à ne pas négliger lors de l'établissement d'une plantation étant donné qu'ils engendrent des coûts imprévus (Baxter et Hansson, 2001) induits par la perte de productivité, une plus grande mortalité et demandent des investissements additionnels pour la taille de formation des bouquets de rejets de souches issus de plants complètement annelés.

L'effet positif sur la croissance de l'augmentation de la fréquence annuelle de l'entretien mécanique de la végétation compétitrice a été bien démontré au site de Preissac (Figure 2.4), seul site où la végétation compétitrice était abondante (Tableau 2.8). L'historique agricole de ce site semble favoriser le retour de la végétation, contrairement aux sites d'Arntfield et de Duparquet, où le retour de la végétation n'a eu lieu que timidement lors de la troisième saison (Tableau 2.8). D'autre part, la sensibilité aux traitements d'entretien ainsi que la corrélation de la croissance des arbres avec la présence de végétation compétitrice variaient selon les clones (Figure 2.4, Tableau 2.10). Les auteurs sont unanimes quant à l'importance de l'entretien de la végétation compétitrice et son influence bénéfique sur la croissance du peuplier (Aird, 1962 ; Hansen et al., 1984 ; Bowersox et al., 1992 ; Czapowskyj et Safford, 1993 ; Buhler and al., 1998 ; Marino et Gross, 1998 ; Welham et al., 2007 ; Pinno et Bélanger 2008). Pourtant, peu de recherches se sont penchées sur l'entretien mécanique de la végétation compétitrice puisqu'il a été démontré que l'utilisation d'herbicides permettait d'obtenir des rendements supérieurs (Aird, 1962 ; Hansen et al., 1984; Hansen et Netzer, 1985 ; Buhler et al., 1998 ; Dickmann et al., 2001; Laureysens et al., 2005). Löff et al. (2006) ont obtenu des gains de croissance de l'ordre de 68% lorsque l'entretien à l'aide d'herbicide était combiné à une préparation de terrain en buttes. Dans les méthodes de contrôle mécaniques, le fait d'enlever complètement la végétation plutôt que de la tondre favorise davantage la croissance des arbres puisque les plantes herbacées concurrencent sévèrement les arbres pour l'eau et les éléments nutritifs (Nambiar et Sands, 1993 ; Pinno et Bélanger 2008). Les gains de croissance obtenus à Preissac après 2 entretiens annuels (Figure 2.4) confirment le fait que l'augmentation de la fréquence annuelle des entretiens augmente également la croissance en hauteur et en diamètre. Une plus grande surface foliaire était observée après 2 ou 3 entretiens de la végétation, bien que cette différence était non significative entre les traitements (Figure 2.5). Le fait que le troisième entretien n'ait pas procuré de gain de croissance supplémentaire peut s'expliquer par le fait que celui-ci n'a été réalisé qu'à une reprise (2005) en début de saison, au moment où la végétation était faiblement établie.

On observait une corrélation négative sur les sites de Duparquet et de Preissac entre la hauteur et le recouvrement de la végétation compétitrice et l'accroissement en hauteur et en

diamètre (Tableau 2.10). Cependant, sur le site d'Arntfield où l'entretien n'a pas clairement eu d'effet positif sur la croissance étant donné son faible recouvrement (Tableau 2.8), la corrélation positive entre la végétation compétitrice et la croissance laisse à penser que dans les rares endroits où il y avait présence de végétation, il y avait plus d'eau disponible, et que les arbres en ont profité (Tableau 2.10). De plus, même si la végétation compétitrice était plus abondante, son pourcentage de recouvrement était très faible (1 à 5%, Tableau 2,8) et ne posait probablement que très peu ou pas de compétition par rapport à l'avantage donné par la présence d'eau.

2.7 Conclusion

Les résultats de cette recherche sont importants pour le développement de la culture du peuplier hybride sur les sols argileux des régions nordiques. Les plantations établies sur ces sols riches propices à la végétation compétitrice doivent être intensivement entretenues et ce, plusieurs fois par année en fonction de l'abondance du retour de la végétation, comme le témoigne nos résultats sur le site de Preissac. Il est cependant primordial de vérifier la sensibilité des clones mis en place face aux divers traitements avant de les appliquer, puisque ceux-ci réagissent différemment aux traitements. Bien que la préparation de terrain en buttes ait seulement augmenté la croissance d'un clone sur un seul site, il n'en demeure pas moins qu'elle ait prémuni, de façon indirecte, les attaques par les rongeurs. Étant donné que cette technique présente des coûts raisonnables, elle demeure une avenue envisageable afin d'assurer la viabilité d'un projet de ligniculture en augmentant les chances de survie des arbres récemment mis en terre. Des projets futurs pourraient se pencher sur la sensibilité de l'ensemble des clones recommandés face aux divers traitements de préparation de terrain et d'entretien afin d'évaluer la rentabilité des investissements en travaux sylvicoles.

2.8 Remerciements

Je tiens à remercier tous les partenaires industriels et municipaux qui ont donné leur appui au projet et permis l'installation des dispositifs sur leurs territoires respectifs, et particulièrement Jean-Marc St-Amant (Tembec), Sylvain Chouinard (Norbord) et Hans Carignan (MRC Abitibi). Merci également à tous les aides de terrain qui ont participé à la prise de mesure ainsi qu'à Stéphane Gaussiran pour sa généreuse implication. Merci au Centre technologique des résidus industriels de m'avoir donné l'opportunité de me consacrer à ce projet. Merci également au Conseil de recherche en sciences naturelles et de génie du Canada (CRSNG), à Développement économique Canada et à la Chaire industrielle CRSNG-UQAT-UQAM en Aménagement Forestier Durable pour leur appui financier.

2.9 Références

- Aird, P. 1962. Fertilization, weed control and the growth of poplar. *Forest Science* 8 : 413-428
- Amacher, M.C. Henserson R.E., Breithaupt, M.D., Seale, C.L., et LaBauve, J.M. 1990. Unbuffered and buffered salt methods for exchangeable cations and effective cation-exchange capacity. *Soil Sci. Soc. Am. J.* 54 : 1036-1042.
- Baxter, R. et Hansson, L. 2002. Bark consumption by small rodents in the northern and southern hemispheres. *Mammal Rev.* 31 : 47-59.
- Berguson, W.E. et Adams, R.D. 1989. Undrained peatlands for short rotation forestry. Natural resources research institute, University of Minnesota, NRRI/TR-89/6.
- Berthelot, A. 2001. Mélange de clones en taillis à courtes rotations de peuplier : influence sur la productivité et l'homogénéité des produits récoltés. *Can. J. For. Res.* 31 : 1116-1126.
- Bowersox, T.W., Stover, L.R., Strauss, C.H. et Blankenhorn, P.R. 1992. Advantages of an effective weed control program for *Populus* hybrids. *Tree Planters' Notes* 43 : 81-86.
- Boyucos, G.J. 1962. Hydrometer method improved for making particle-size analysis of soils. *Agron. J.* 54: 464-465.
- Brais, S. 2001. Persistence of soil compaction and effects on seedling growth in northwestern Quebec. *SSSA Journal* 65: 1263-1271.
- Buhler, D.B., Netzer, D.A., Riemenschneider, D.E. et Hartzler, R.G. 1998. Weed management in short rotation poplar and herbaceous perennial crops for biofuel production. *Biomass and Bioenergy* 14 : 385-394.
- Ceulemans, R. et Deraedt, W. 1999. Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture. *For. Ecol. Manage.* 121 : 9-23.
- Cheveau, M., Drapeau, P., Imbeau L. et Bergeron, Y. 2004. Owl winter irruptions as an indicator of small mammal population cycles in the boreal forest of eastern North America. *Oikos* 107 : 190-198.
- Chrisitan, D.P., Collins, P.T., Hanowski, J.M. et Niemi, G.J. 1997. Bird and small mammal use of short-rotation hybrid poplar plantations. *J. Wildl. Manage.* 61 : 171-182.
- Cogliastro, A., Gagnon, D., Coderre, D. et Bhébeur, P. 1990. Response of seven hardwood tree species to herbicide, rototilling, and legume cover at two southern Québec plantation sites. *Can. J. For. Res.* 20 : 1172-1182.

- Conseil des Productions Végétales du Québec 1988. Méthodes d'analyse des sols, des fumiers et des tissus végétaux. Commission des sols, section méthodologie. Québec (Canada). AGDEX, 533 p.
- Czapowsky, M.M. et Safford, L.O. 1993. Site preparation, fertilisation, and 10 year yields of hybrid poplar on a clearcut forest site in eastern Maine, USA. *New Forests* 7 : 331-344.
- Dang, Q. et Cheng, S. 2004. Effects of soil temperature on ecophysiological traits in seedlings of four boreal tree species. *For. Ecol. Manage.* 194 : 379-387.
- DesRochers A. et Thomas B.R. 2003. A comparison of pre-planting treatments on hardwood cuttings of four hybrid poplar clones. *New Forests* 26 : 17-32.
- DesRochers, A., Thomas, B.R. et Butson, R. 2004. Reclamation of roads and landings with balsam poplar cuttings. *For. Ecol. Manage.* 199 : 39-50.
- Dickmann, D.I., Isebrands, J.G., Eckenwalder, J.E. et Richardson, J. (*Editeurs*) 2001. Poplar culture in North America, Chapitre 5. NRC Research Press, Ottawa, Canada, 397 p.
- Dumant, M.J. 1979. Implantation de taillis de peupliers échelonnés au cours de la saison froide. *Annales de recherches sylvicoles*, Tome 1, p. 252-263.
- Environnement Canada 2007. Données climatologiques du Canada. Normales climatiques au Canada 1971-2000. Station météorologique de Val d'Or. Canadian Climate Program, Ottawa, Ont., Canada.
 URL : http://www.climat.meteo.ec.gc.ca/climate_normals/results_f.html?Province=QUE%20&StationName=&SearchType=&LocateBy=Province&Proximity=25&ProximityFrom=City&StationNumber=&IDType=MSC&CityName=&ParkName=&LatitudeDegrees=&LatitudeMinutes=&LongitudeDegrees=&LongitudeMinutes=&NormalsClass=A&SelNormals=&StnId=6081&
- Farmer, R.E., Palmer, C.L., Anderson, H.W., Zsuffa, L. et O'Reilly, G. 1991. Nine-year out-planting test of cottonwood and hybrid poplar clones in northwestern Ontario. *Tree Planters' Notes* 42 : 49-51.
- Frewen, B.E., Chen, T.H.H., Howe, G.T., Davis, J., Rohde, A., Boerjan, W. et Bradshaw, H.D.Jr. 2000. Quantitative trait loci and candidate gene mapping of bud set and bud flush in *Populus*. *Genetics* 154 : 837-845.
- Grondin, P. 1996. Écologie forestière. *Dans* : Manuel de foresterie. Presses de l'Université Laval, Québec, pp.135-279.
- Haeussler, S. 1989. Mounding for Site Preparation. Synopsis - Topic Summary for the Operational Forester. FRDA Memo 100, 12 p.
- Hansen E.A. 1986. Planting date affects survival and height growth of hybrid poplar. *For. Chron.* 62 : 164-169.

- Hansen, E.A. et Netzer, D.A. 1985. Weed control using herbicides in short-rotation intensively cultured poplar plantations. USDA For. Serv. Res. Pap. NC-260, 6 p.
- Hansen, E.A., Netzer, D.A. et Rietveld, W.J. 1984. Weed control for establishing intensively cultured hybrid poplar plantations. USDA For. Serv. Res. Note. NC-317, 6 p.
- Heiskanen, J. et Rikala, R. 2006. Root growth and nutrient uptake of Norway spruce container seedling planted in mounded boreal forest soil. *For. Ecol. Manage.* 222 : 410-417.
- Hogg, E.H. et Lieffers V.J. 1991. The impact of *Calamagrostis canadensis* on soil thermal regimes after logging in northern Alberta. *Can. J. For. Res.* 21 : 387-394.
- Howe, G.T., Saruul, P., Davis, J. et Chan T.H.H 2000. Quantitative genetics of bud phenology, frost damage, and winter survival in an F₂ family of hybrid poplars. *Theor. Appl. Genet.* 101 : 632-642.
- Knapp, H.B. et Auchter, E.C. 1929. Growing tree and small fruits. John Wiley & Sons, Inc., London, 510 p.
- Konrad, J.-M. et Ayad, R. Dessication of a sensitive clay : field experimental observation. *Can. Geotech. J.* 34 : 929-942.
- Kozłowski, T.T. et Pallardy, S.G. 1997. Physiology of woody plants, deuxième édition, Chapitre 5. Academic Press Inc., New York, 411 p.
- Landhäusser, S.M., DesRochers, A. et Lieffers, V.J. 2001. A comparison of growth and physiology in *Picea glauca* and *Populus tremuloides* at different soil temperature. *Can. J. For. Res.* 31 : 1922-1929.
- Landhäusser, S.M. et Lieffers V.J. 1998. Growth of *Populus tremuloides* in association with *Calamagrostis canadensis*. *Can. J. For. Res.* 28 : 396-401.
- Landhäusser, S.M. et Lieffers V.J. 1999. Rhizome growth of *Calamagrostis canadensis* into mounds created for tree seedling establishment. *New Forests* 18 : 245-262.
- Laureysens, I., Pellis, A., Willems, J. et Ceulemans, R. 2005. Growth and production of a short rotation coppice culture of poplar. III. Second rotation results. *Biomass and Bioenergy* 29 : 10-21.
- Löf, M., Rydberg, D. et Bolte, A. 2006. Mounding site preparation for forest restoration : survival and short term growth response in *Quercus robur* L. Seedlings. *For. Ecol. Manage.* 232 : 19-25.
- Marino, P.C. et Gross, K.L. 1998. Competitive effects of conspecific and herbaceous (weeds) plants on growth and branch architecture of *Populus × euramericana* cv. *Eugenei*. *Can. J. For. Res.* 28 : 359-367.

- Marsh, R.E., Koehler, A.E. et Salmon, T.P. 1990. Exclusionary methods and materials to protect plants from pest mammals – a review. Proceedings of the fourteenth vertebrate pest conference. University of Nebraska-Lincoln. , Davis, juillet 1990, p. 174-180.
- Mehlich, A. 1984. Mehlich 3 soil test extractant : A modification of Mehlich 2 extractant. Commun. In Soil Sci. Plant Anal. 18 : 1003-1015.
- Moser, B.W., Pipas, M.J., Witmer, G.W. et Engeman, R.M. 2002. Small mammal use of hybrid poplar plantations relative to stand age. Northwest Science. 76 : 158-165.
- Nambiar, E.K.S. et Sands, R. 1993. Competition for water and nutrients in forests. Can. J. For. Res. 23 : 1955-1968.
- Nilsson, U. et Örlander, G. 1999. Vegetation management on grass-dominated clear-cuts planted with norway spruce in southern Sweden. Can. J. For. Res. 29 : 1015-1026.
- Paillassa, E. 2001. Le peuplier et les enjeux environnementaux. Forêt-entreprise 142 : 61-63.
- Peng, Y.Y. et Dang, Q.L. 2003. Effects of soil temperature on biomass production and allocation in seedlings of four boreal tree species. For. Ecol. Manage. 180 : 1-9.
- Pinno, B.D. and Bélanger, N. 2008. Competition control in juvenile hybrid poplar plantations across a range of site productivities in central Saskatchewan. New Forests (*Submitted*).
- Pregitzer, K.S., King, J.S., Burton, A.J. et Brown, S.E. 2000. Responses of tree fine roots to temperature: research review. New Phytol. 147 : 105-115.
- Quikchem Method 13-107-06-2-D. Determination of total Kjeldahl Nitrogen in soils and plants by flow injection analysis. Zellweger Analytic, inc. Lachat Instruments Division. Milwaukee, WI.
- Renou-Wilson, F., Keane, M. et Farrell, E.P. 2007. Establishing oak woodland on cutaway peatlands : effects of soil preparation and fertilization. For. Ecol. Manage. Article sous presse, doi:10.1016/j.foreco.2007.09.059.
- Rompré, M. et Carrier, D. 1997. Étude pédologique des sols défrichés de l’Abitibi-Témiscamingue. Centre de recherche et d’expérimentation en sols, Ministère de l’Agriculture, des Pêcheries et de l’Alimentation du Québec (MAPAQ), 133 p.
- Schroeder, W.R., Silim, S., Inouye, G. et Kalcits, L. 2003. Weed management in hybrid poplar. Affiche présentée lors de la réunion annuelle du Conseil du peuplier du Canada, Rouyn-Noranda, Québec, 1 p.
- Smolander, A., Paavolainen, L. et Mälkönen, E. 2000. C and N transformations in forest soil after mounding for regeneration. For. Ecol. Manage. 134 : 17-28.

- Steel, R. G. D. and Torrie, J. H. (1980), Principles and Procedures of Statistics, Second Edition, New York: McGraw-Hill, p. 390-393.
- Sutton, R.F. 1993. Mounding site preparation: A review of European and North American experience. *New Forests* 7 : 151-192.
- Tsarouhas, V., Kenney, W.A. et Zsuffa, L. 2000. Variation in freezing resistance during different phonological stages in some *Populus* and *Salix* clones: Implications for clonal selection. *Silvae Genetica* 50-2 : 54-63.
- Welham, C., Van Rees, K., Seely, B. et Kimmins, H. 2007. Projected long-term productivity in Saskatchewan hybrid poplar plantations: Weed competition and fertilizer effects. *Can. J. For. Res.* 37 : 356-370.
- Yeomans, J.C. et J.M. Bremner 1988. A rapid and precise method for routine determination of organic carbon in soil. *Commun. Soil Sci. Plant Anal.* 19 : 1467-1476.

CHAPITRE III

CONCLUSION GÉNÉRALE

La mise en place d'une plantation à croissance rapide implique le déploiement de traitements sylvicoles adaptés au site, au climat régional ainsi qu'aux clones utilisés. La préparation de terrain ainsi que l'entretien de la végétation compétitrice sont deux ingrédients indispensables de la recette du succès en populiculture.

Dans cet ordre d'idées, cette étude visait à 1) évaluer les effets sur la croissance du peuplier hybride de la préparation de terrain en buttes (billonnage), par rapport à une préparation de terrain en surface plane (herse seulement), sur l'accroissement en diamètre et en hauteur, l'activité photosynthétique ainsi que la surface foliaire de deux clones de peuplier hybride. L'étude visait également à 2) vérifier si l'augmentation de la fréquence annuelle des entretiens mécaniques améliorerait la croissance des plants en évaluant les mêmes paramètres.

Très populaire dans les années 80, particulièrement en Scandinavie, la préparation de terrain en buttes visait, à priori, la mise à nue du sol minéral tout en améliorant la qualité de l'aération du sol et du drainage dans les sites entourés lors de la plantation (Haeussler, 1989 ; Sutton, 1993). Nous avons tenté d'adapter cette technique dans le cadre de travaux de populiculture dans un climat boréal sur des sols à textures fines, réputés pour leur fraîcheur ainsi que leur faible aération. Un effet positif de la préparation de terrain sur la croissance a été obtenu sur le clone 916401 sur le site d'Arntfield, en procurant un gain de croissance en hauteur de 14% et de 32% en diamètre après 3 années de croissance. Les arbres des autres sites ne présentaient pas de gain ni de diminution de croissance attribuables à ce traitement et cela pourrait s'expliquer par le fait que, contrairement à d'autres études (Sutton, 1993 ; Nilsson and Örlander, 1999 ; DesRochers et al., 2004), nous n'avons pas obtenu de hausse de température dans la butte. L'effet négatif d'un drainage trop rapide pourrait être en cause, mais les données d'humidité du sol n'ont pas été évaluées dans le projet. La longueur de la

saison de végétation n'a pas été influencée par les différentes préparations de terrain et celle-ci n'a pas influencé la croissance. En effet, bien que la saison de végétation du clone 916401 était plus longue d'environ une semaine par rapport au clone 915319, c'est ce dernier qui a présenté la meilleure croissance. Une saison de végétation plus longue pourrait augmenter les risques de gels printaniers pour un débourrement trop hâtif et automnal par un aoûtement tardif (Tsarouhas et al., 2000). Le clone 915319 semble à cet égard mieux adapté au climat de l'Abitibi-Témiscamingue.

Le faible pourcentage de dégâts causés par les rongeurs dans la préparation de terrain en buttes présente également un avantage certain pour ce type de préparation de terrain par rapport à la préparation de terrain en surface plane. En effet, les dégâts causés par les rongeurs étant souvent associés à une diminution de croissance, une hausse du taux de mortalité ainsi qu'à l'apparition de divers défauts à la tige (Baxter et Hansson, 2001), cette préparation de terrain devrait être considérée comme mesure de mitigation. De plus, cette technique permettrait potentiellement de diminuer les coûts associés à l'éventuelle taille de formation sur les arbres dont la tige principale meurt suite à l'attaque et où sont produits de multiples rejets de souche. Combinée à un entretien de la végétation entre les rangs, cette méthode peut aisément remplacer l'utilisation de pesticides et d'herbicides. En effet, comme le foin ne colonise la butte que tardivement, l'entretien entre les rangs suffit à contrôler la végétation sans avoir à recourir à l'utilisation du Weed Badger® puisque aucun entretien n'est alors nécessaire entre les arbres sur le rang.

Pour des considérations opérationnelles, la mise en bouton, bien que coûteuse, pourrait être envisagée afin d'organiser le travail sur le terrain. Tout d'abord, il est facile pour un opérateur d'établir rapidement des buttes en continu avec un espacement constant qui doit être déterminé en fonction de la densité désirée et de la largeur de l'équipement d'entretien disponible. L'entretien se fera alors aisément dans le sens des buttes. La création du bouton permettra également d'ameublir le sol, particulièrement s'il est réalisé à l'automne, rendant ainsi la plantation moins difficile le printemps suivant. Il faut cependant s'assurer de planter les plants profondément dans la butte afin d'en assurer la stabilité tout en facilitant l'accès à l'eau souterraine et de bien compacter le sol autour de celui-ci afin de diminuer les poches d'air qui pourraient assécher les racines (Haeussler, 1989). Les planteurs peuvent facilement

s'orienter dans un terrain billonné et ajuster l'espacement sur le rang sans se soucier de l'alignement latéral, puisque l'entretien ne se fera que dans un sens. Le temps ici gagné augmente la rentabilité du projet.

La technique d'enlèvement de la végétation compétitrice de façon mécanique a permis de diminuer le recouvrement et la hauteur de la végétation de façon substantielle particulièrement au site de Preissac, où elle y était abondante. Bien qu'elle demande une grande habileté de la part de l'opérateur, l'utilisation du Weed Badger® en combinaison avec le hersage entre les rangs a ainsi été efficace. L'augmentation de la fréquence annuelle des entretiens mécaniques a augmenté la croissance des arbres en hauteur et en diamètre de façon minimale après 1 entretien par rapport à aucun, et significativement après 2 ou 3 entretiens et ce, particulièrement pour le clone 915319 qui présentait une croissance supérieure de l'ordre de 35% en diamètre et de 20% en hauteur. L'ajout d'un troisième entretien en 2005 n'a pas augmenté davantage la croissance par rapport à 2 entretiens, surtout que cet entretien supplémentaire a été réalisé à un moment où la végétation n'était pas encore bien installée (juin 2005). Le site de Duparquet n'a présenté aucun gain de croissance par rapport à l'enlèvement de la végétation compétitrice (Figure 2.1) en concordance avec les résultats de Pinno et Bélanger (2008) qui stipulent que l'entretien de la végétation est bénéfique seulement sur les sites riches où il y a beaucoup de végétation compétitrice. Le site de Duparquet comportait une faible teneur en azote (Tableau 2.1) et un très faible recouvrement de la végétation herbacée (Tableau 2.1).

Le clone 916401 a réagit faiblement à l'augmentation de la fréquence des entretiens et le gain de croissance obtenu s'est avéré significatif après 3 entretiens seulement. De plus, il ne semble pas que sa croissance soit corrélée avec la présence ou non de végétation compétitrice. En ce qui concerne les sites de Duparquet et Arntfield, comme il n'y a pas eu de retour de la végétation, les fréquences d'entretien n'ont pas engendré de gain de croissance puisqu'il n'y avait pas de végétation à entretenir.

L'entretien a aussi permis de diminuer de façon significative les dégâts causés par les rongeurs et ce, dès le premier entretien. Le milieu devenant moins propice avec le passage répété de la machinerie, les rongeurs ont tendance à aller s'établir ailleurs (Moser et al.,

2002). Il est intéressant de s'informer à l'avance si notre plantation est établie au moment d'un haut dans le cycle de fluctuation des rongeurs (4-6 ans) afin d'effectuer l'entretien de la végétation en conséquence ou d'établir des dispositifs supplémentaires pour prévenir les attaques (spiraies, pesticides, etc.).

La répétition des entretiens au cours de la même saison représente une méthode plus efficace de contrôle de la végétation qu'un passage unique puisque cela en affecte tant le recouvrement que la hauteur. Un entretien unique permet à la végétation de se rétablir sur le site et le hersage effectué l'année suivante ne permet pas de l'éliminer complètement, ce qui augmente la compétition d'année en année. Le moment de l'entretien doit également être choisi judicieusement. Ainsi, les plants bénéficieront davantage de l'entretien si celui-ci est réalisé au moment où les plants sont en pleine croissance (juin-juillet) ou un peu avant. Étant donné que ce fait demeure intuitif, il serait intéressant d'établir un dispositif pour le démontrer.

Il a été démontré que l'entretien avait eu un impact non seulement sur la croissance de l'année en cours mais peut également avoir des répercussions positives, étant donné que le gain initial se maintient, sur les années suivantes (Bowersox et al., 1992). Il serait intéressant de valider combien de temps ces effets perdurent dans le temps. La connaissance de la sensibilité des clones selon les traitements est primordiale afin d'assurer la rentabilité de la plantation.

Les résultats obtenus lors de cette étude sont basés sur des résultats de croissance d'une plantation de 3 ans. Il est entendu qu'une période d'étude plus longue est nécessaire afin de tirer des conclusions quant à l'effet des traitements sur la productivité totale d'une plantation de peuplier hybride. Ainsi, un remesurage à 5 et 10 ans permettrait de valider la pérennité des effets des traitements, même si, en ce qui concerne l'entretien entre autres, ceux-ci n'étaient plus effectués.

De façon générale, les résultats de croissance sont très satisfaisants et justifient la poursuite du développement de ce mode de culture en Abitibi-Témiscamingue. Il est important d'y poursuivre les recherches appliquées afin de développer de nouvelles méthodes de préparation de terrain et d'entretien toujours plus efficaces et moins onéreuses. Le

développement de nouveaux clones présentant une bonne rusticité à notre territoire est primordial afin d'augmenter la diversité de ceux-ci tout en assurant la mixité du déploiement dans le territoire afin de se prémunir contre d'éventuels dégâts phytosanitaires.

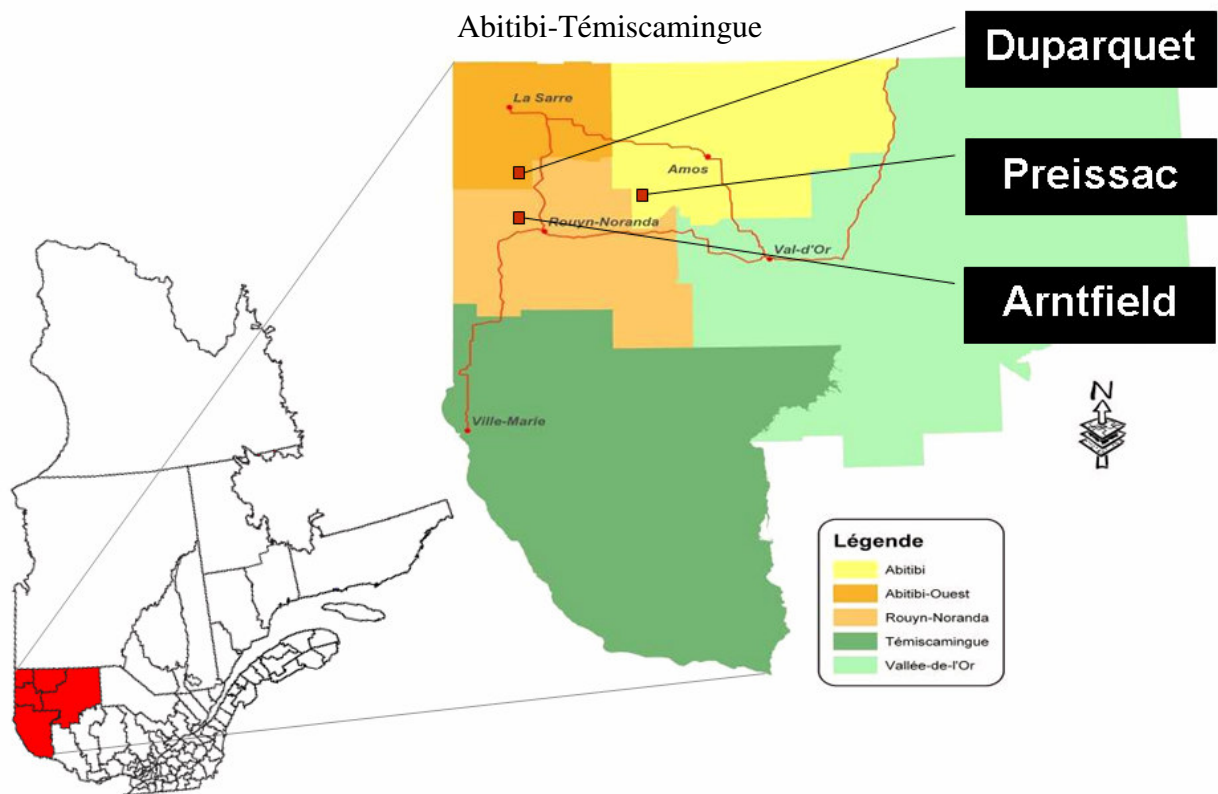
RÉFÉRENCES

- Baxter, R. et Hansson, L. 2002. Bark consumption by small rodents in the northern and southern hemispheres. *Mammal Rev.* 31 : 47-59.
- Bowersox, T.W., Stover, L.R., Strauss, C.H. et Blankenhorn, P.R. 1992. Advantages of an effective weed control program for *Populus* hybrids. *Tree Planters' Notes* 43 : 81-86.
- DesRochers, A., Thomas, B.R. et Butson, R. 2004. Reclamation of roads and landings with balsam poplar cuttings. *For. Ecol. Manage.* 199 : 39-50.
- Haeussler, S. 1989. Mounding for Site Preparation. Synopsis - Topic Summary for the Operational Forester. FRDA Memo 100, 12 p.
- Moser, B.W., Pipas, M.J., Witmer, G.W. et Engeman, R.M. 2002. Small mammal use of hybrid poplar plantations relative to stand age. *Northwest Science.* 76 : 158-165.
- Nilsson, U. et Örlander, G. 1999. Vegetation management on grass-dominated clear-cuts planted with norway spruce in southern Sweden. *Can. J. For. Res.* 29 : 1015-1026.
- Pinno, B.D. and Bélanger, N. 2008. Competition control in juvenile hybrid poplar plantations across a range of site productivities in central Saskatchewan. *New Forests (Submitted)*.
- Sutton, R.F. 1993. Mounding site preparation: A review of European and North American experience. *New Forests* 7 : 151-192.
- Tsarouhas, V., Kenney, W.A. et Zsuffa, L. 2000. Variation in freezing resistance during different phenological stages in some *Populus* and *Salix* clones: Implications for clonal selection. *Silvae Genetica* 50-2 : 54-63.

ANNEXE A

Localisation des dispositifs

Localisation des dispositifs sur le territoire de l'Abitibi-Témiscamingue

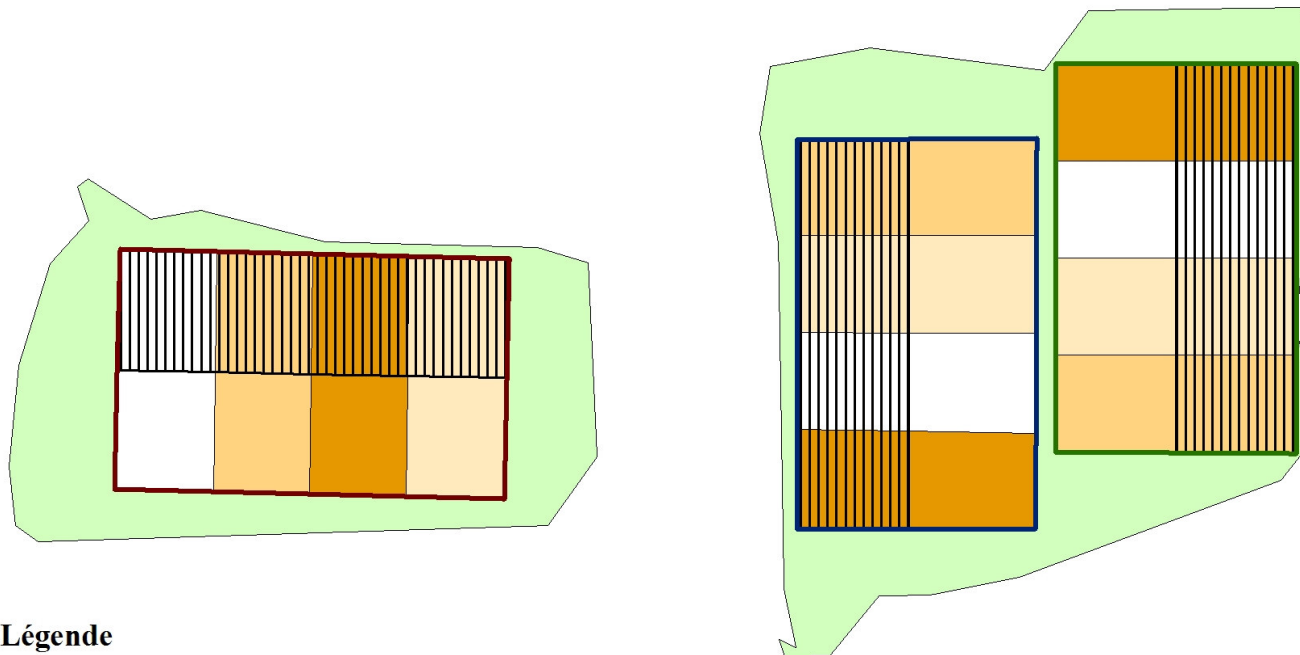


Province de Québec, Canada

ANNEXE B

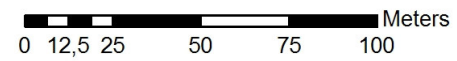
**Plan des dispositifs et
répartition des clones par site**

Site de Preissac



Légende

Bloc	Préparation de terrain	Fréquence annuelle d'entretien
1	Buttes	0 entretien
2	Herse	1 entretien
3		2 entretiens
		3 entretiens

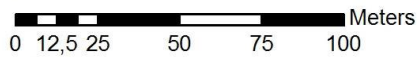


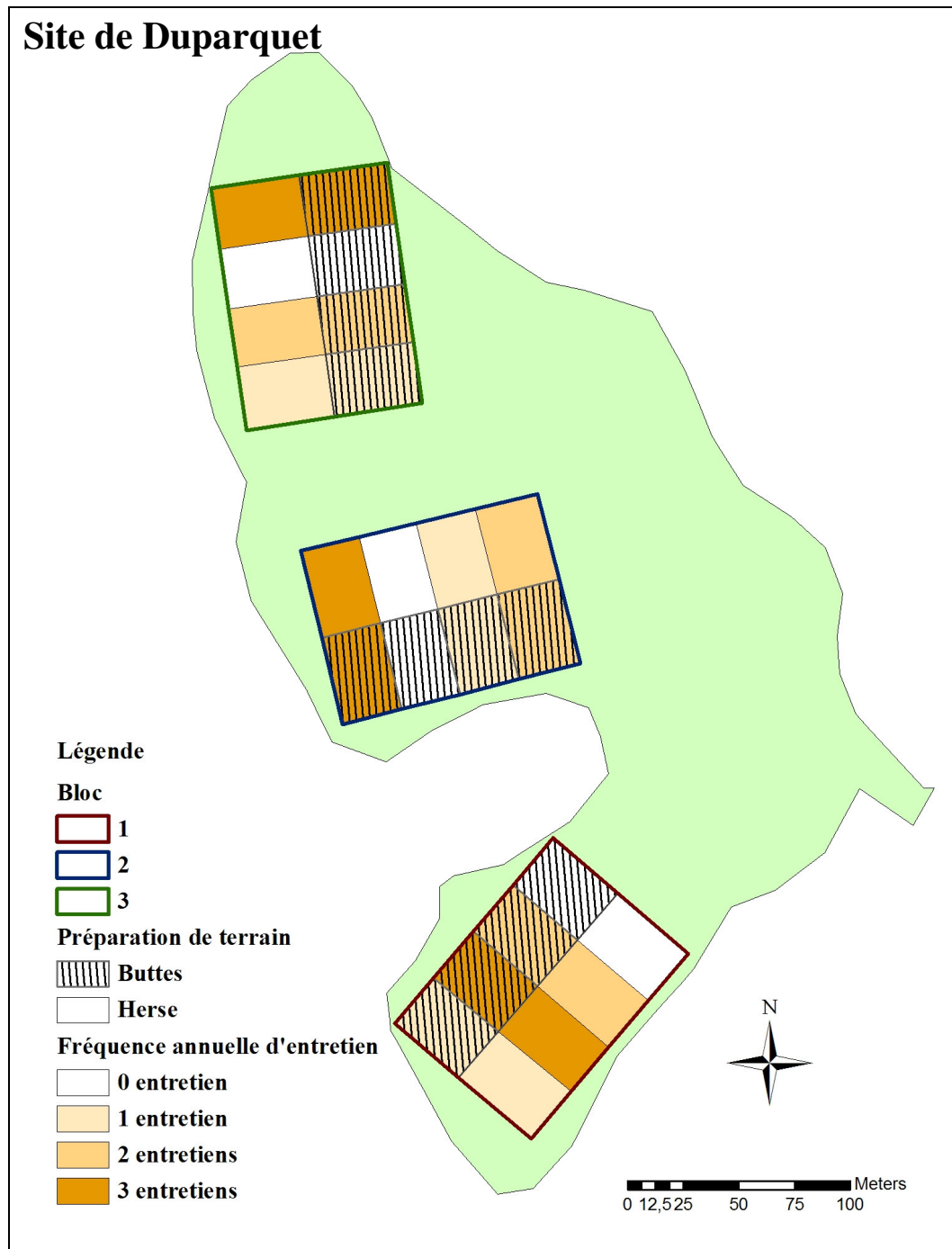
Site de Arntfield



Légende

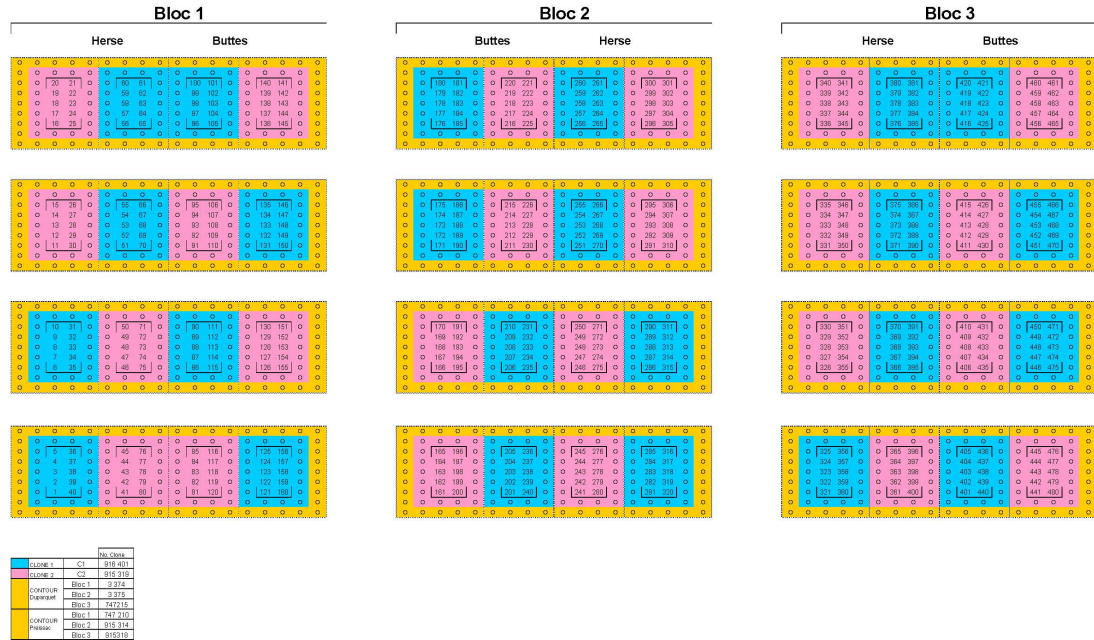
Bloc	Préparation de terrain	Fréquence annuelle d'entretien
1	Buttes	0 entretien
2	Herse	1 entretien
3		2 entretiens
		3 entretiens



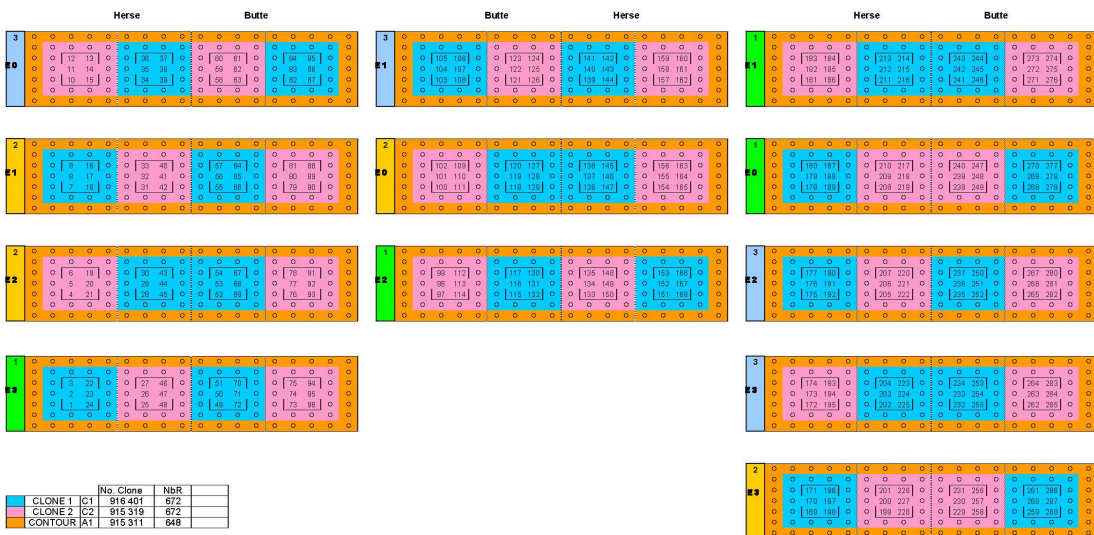


Répartition des clones de peuplier hybride

Preissac et Duparquet



Arntfield



ANNEXE C

Analyse de variance (ANOVA) sur la hauteur et le diamètre après 3 ans de croissance

ANNEXE C : Analyse de variance (ANOVA) sur la hauteur et le diamètre après 3 ans de croissance

Source de variation	d.l	Preissac				d.l	Duparquet				d.l	Arntfield			
		Diamètre final		Hauteur finale			Diamètre final		Hauteur finale			Diamètre final		Hauteur finale	
		F	p	F	p		F	p	F	p		F	p	F	p
Bloc	2	9,37	<,0001	2,29	0,1031	2	8,39	0,0003	11,6	<,0001	2	59,24	<,0001	75,69	<,0001
Bloc × Prep_ter (Erreur A)	2	3,46	0,0325	9,76	<,0001	2	14,33	<,0001	5,19	0,006	2	23,38	<,0001	27,13	<,0001
Bloc × Ent (Erreur B)	6	4,59	0,0002	7,23	<,0001	4	2,61	0,0355	3,66	0,0062	4	14,95	<,0001	17,39	<,0001
Bloc × Prep_Ter × Ent (Erreur C)	6	13,32	<,0001	15,92	<,0001	4	3,7	0,0057	3,79	0,005	4	5,63	0,0002	3,35	0,0108
Préparation de terrain (Prep_Ter)	1	0,01	0,9385	0,96	0,4307	1	0,11	0,7676	4,02	0,1829	1	0,57	0,5295	1,16	0,3943
Entretien (Ent)	3	4,37	0,0591	1,56	0,2929	2	0,75	0,5307	0,25	0,7934	2	0,24	0,7971	0,14	0,8695
Prep_Ter × Ent	3	0,43	0,7417	0,35	0,7897	2	0,11	0,8943	0,13	0,8839	2	0,60	0,5904	1,40	0,3466
Clone	1	47,68	<,0001	83,39	<,0001	1	4,49	0,0348	36,2	<,0001	1	4,50	0,0348	0,01	0,9152
Clone × Prep_ter	1	0,60	0,4373	0,17	0,6769	1	0,56	0,4529	2,08	0,1499	1	8,65	0,0036	20,74	<,0001
Clone × Ent	3	8,19	<,0001	8,84	<,0001	2	2,46	0,0873	1,14	0,3199	2	1,74	0,1774	1,97	0,1414
Clone × Entretien × Prep_ter	3	0,65	0,5823	2,22	0,0851	2	10,05	<,0001	4,7	0,0097	2	0,83	0,4392	0,47	0,6239
Diamètre initial covariante	1	6,13	0,0137	0,00	0,9676	1	0,9	0,3424	0,04	0,8417	1	1,20	0,2746	0,89	0,3453
Hauteur initiale covariante	1	3,61	0,0582	4,85	0,0282	1	3,23	0,0731	1,77	0,1846	1	3,48	0,0632	14,31	0,0002
Bloc × Prep_Ter × Ent × Clone (Erreur D)	379					354					252				
Total	412					379					277				

Seuil $p < 0.05$