Institut de recherche en biologie végétale IRBV

JARDIN BOTANIQUE DE MONTRÉAL

Université de Montréal

Analyse de différentes avenues de production de peupliers hybrides en Montérégie

Rapport final préparé par

Loïc D'Orangeville, Alain Cogliastro et Stéphane Daigle

Présenté au
Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec
Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier – Volet II

Projet 2-06-63-36

Mai 2007

ANALYSE DE DIFFÉRENTES AVENUES DE PRODUCTION DE PEUPLIERS HYBRIDES EN MONTÉRÉGIE

Projet 2-06-63-36

Présenté au

Ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec
Programme de mise en valeur
des ressources du milieu forestier – Volet II

PAR LOÏC D'ORANGEVILLE,
ALAIN COGLIASTRO ET STÉPHANE DAIGLE

Institut de recherche en biologie végétale
Université de Montréal &
Jardin botanique de Montréal
4101 rue Sherbrooke est, Montréal H1X 2B2

Équipe de travail

Institut de recherche en biologie végétale
L'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) est un centre de formation supérieure dont la mission porte sur la biologie des plantes dans tous ses aspects : fonctionnement, développement, évolution, écologie, etc. Issu d'un partenariat entre l'Université de Montréal et la Ville de Montréal, l'IRBV occupe des locaux modernes sur le site du Jardin botanique de Montréal. Il regroupe une quinzaine de chercheurs autonomes (chercheurs à la Division de la recherche et du développement scientifique du Jardin botanique de Montréal ou professeurs au Département de sciences biologiques de l'Université de Montréal) sans compter les nombreux assistants et chargées de recherche, étudiants à la maîtrise et au doctorat et chercheurs post-doctoraux. Les recherches sont de nature fondamentale et appliquée. Les chercheurs ont à leur disposition des laboratoires et des équipements scientifiques de pointe, en plus de serres expérimentales, de chambres de croissance, d'équipement de microscopie électronique et d'analyse d'image, de l'herbier Marie-Victorin (700 000 spécimens) et de 2 bibliothèques spécialisées en botanique.

LOÏC D'ORANGEVILLE (M.Sc. Écologie)	Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) Université de Montréal, Département des Sciences biologiques
ALAIN COGLIASTRO (Ph.D. Écologie)	IRBV, Jardin Botanique de Montréal Université de Montréal, Département des Sciences biologiques
STÉPHANE DAIGLE, STATISTICIEN	Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)

Pour fin de citation :

D'Orangeville, L., A. Cogliastro et S. Daigle. 2007. **Analyse de différentes avenues de production de peupliers hybrides en Montérégie.** Rapport final préparé pour le ministère des Ressources naturelles et de la Faune du Québec. Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier Volet II, projet 2-06-63-36. Institut de recherche en biologie végétale, Montréal. 70 pages.

Photo de la page couverture : David Rivest.

Table des matières

ÉQUIPE DE TRAVAIL **3**

TABLE DES MATIÈRES **4**

INTRODUCTION **6**

1. L'AGROFORESTERIE, LA CULTURE INTERCALAIRE (1 DISPOSITIF) 7
2. PEUPLIERS HYBRIDES COMBINÉS AUX FEUILLUS NOBLES (5 DISPOSITIFS) 7
3. PEUPLIERS HYBRIDES SUR SOLS AGRICOLES (2 DISPOSITIFS) 7
4. PEUPLIERS HYBRIDES SUR SOLS FORESTIERS (3 DISPOSITIFS) 8

CHAPITRE I – APPROCHE AGROFORESTIÈRE **10**

DISPOSITIF VERTENEUIL **10**
INTRODUCTION 10
MÉTHODOLOGIE 11
RÉSULTATS 17
DISCUSSION 22
REMERCIEMENTS 24

CHAPITRE II – APPROCHE DE RECONSTRUCTION FORESTIÈRE **25**

A- DISPOSITIF CAILLÉ-LATREILLE **25**
MÉTHODOLOGIE 25
RÉSULTATS ET DISCUSSION 27
B- DISPOSITIF THIBODEAU **29**
MÉTHODOLOGIE 29
RÉSULTATS ET DISCUSSION 31
C- DISPOSITIF LEBLANC-MCCORMICK **33**
MÉTHODOLOGIE 33
RÉSULTATS ET DISCUSSION 35

CHAPITRE III – APPROCHE CLASSIQUE SUR FRICHE AGRICOLE **37**

DISPOSITIFS HAVELOCK ET ST-DOMINIQUE **37**
MÉTHODOLOGIE 37
RÉSULTATS ET DISCUSSION 39

CHAPITRE IV – APPROCHE INTENSIVE APRÈS COUPE FORESTIÈRE **43**

DISPOSITIFS ROXTON FALLS, BRIGHAM ET STE-CHRISTINE **43**

MÉTHODOLOGIE 43
RÉSULTATS ET DISCUSSION 45

CONCLUSION 56

BIBLIOGRAPHIE 58

ANNEXES 61

Introduction

La Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise (Rapport Coulombe, 2004) propose de favoriser des formules de production intensive de bois en forêt privée. La Montérégie jouie des meilleures conditions climatiques, de sols favorables, d'un réseau routier développé et de l'accès à la main d'œuvre. Tous ces facteurs, couplés au fait que plusieurs municipalités de la Montérégie souhaitent augmenter les surfaces forestières, font en sorte que l'analyse de différents modèles de production intensive de bois apparaît nécessaire pour avancer des solutions et créer de nouvelles opportunités.

Plusieurs faits montrent à quel point le moment est opportun d'appuyer des initiatives liées à la production intensive. L'Agence forestière de la Montérégie (AFM) compte participer à l'analyse de différents scénarios de production qui incluent des espèces à croissance rapide puisque la demande pour de telles productions va en s'accroissant. L'Agence désire détenir toute la connaissance nécessaire pour inscrire un programme d'aide adapté qui conduit au plein succès de telles plantations. Suite à la multiplication des demandes, l'AFM a piloté en 2005 l'installation de cinq différents projets de plantation de peupliers hybrides totalisant 7,5 hectares: les modalités d'installation ont fait l'objet d'une consultation auprès de spécialistes. L'intérêt régional est donc très important. Au même moment, l'industrie forestière (DOMTAR, Norampac, Louisiana Pacific, etc.…) investit fortement pour expérimenter de nouveaux modes de production à l'aide d'espèces à croissance rapide : les peupliers hybrides étant les plus prometteurs (ici comme ailleurs en zone tempérée aux États-unis et en Europe). Cet intérêt de l'industrie pour les peupliers hybrides a été suivi par le ministère des Ressources naturelles et de la Faune (MRNF) qui produit au delà de 2M de plants de peupliers et conduit un programme d'amélioration d'envergure. La Montérégie peut profiter de plants de peupliers qualifiés rendus disponibles par le MRNF. Notons également qu'en 2002 le Réseau Ligniculture Québec (RLQ) a été mis sur pied. Ce réseau, d'abord initié par des chercheurs, a réussi à créer des liens avec différents intervenants et à susciter l'intérêt pour la culture intensive d'arbres. L'organisme supporte l'idée d'une production intensive localisée, ce qui permettrait de conserver certains milieux forestiers (concept de la Triade[1]). Le RLQ a notamment permis une meilleure diffusion des conditions de succès de la production de peupliers.

Enfin, l'Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) a initié depuis l'an 2000 différentes expérimentations incluant les peupliers hybrides. Deux visites en France de chercheurs de l'IRBV ont permis de valider la possibilité d'une populiculture en territoire privée, pratiquée sur de petites surfaces. L'IRBV s'est d'abord intéressé à connaître les différences de croissance parmi les nombreux hybrides de peupliers disponibles et ce, en fonction de la variation des conditions de sol. Si on suit l'exemple de la France, un cycle de 10 ans est nécessaire pour bien connaître un type d'hybride de peupliers et en faire une recommandation sécurisée : certains de nos dispositifs vont bientôt amorcer leur huitième année de croissance.

[1] Triade: territoire zoné selon trois vocations: aménagement intensif, aménagement écosystémique et conservation

Le présent rapport fournit un bilan des résultats de l'ensemble des plantations et dispositifs expérimentaux de peupliers hybrides installés en Montérégie depuis l'an 2000 (voir Annexe 11 pour localisation des sites). Le groupe de onze sites de plantations incluses au présent projet (Tableau 1) représente différentes opportunités permettant de diversifier les outils de production aux propriétaires. En effet, l'étude présente une analyse de quatre différentes avenues de production.

1. L'agroforesterie, la culture intercalaire (1 dispositif)

Une approche agroforestière où, en milieu agricole, sont combinés la culture d'arbres et la culture agricole annuelle (soya, blé…). Un dispositif de peupliers hybrides installés en 2000, visités par plusieurs intervenants, présentant d'excellents taux de croissance (10cm d'accroissement moyen de la circonférence en 2005 et 2006), comprend une culture intercalaire. L'intérêt d'une telle pratique s'accroît en Ontario, aux États-unis, en Europe. L'agroforesterie est très peu développée actuellement au Québec et les connaissances fondamentales et appliquées manquent pour porter un jugement éclairé sur les conditions de succès de la pratique.

2. Peupliers hybrides combinés aux feuillus nobles (5 dispositifs)

Une approche de reconstruction forestière où les peupliers hybrides et des arbres feuillus à plus lent développement (frênes, chênes, noyers…) sont combinés, les premiers abritant les seconds qui persisteront après la récolte de peupliers (15-20 ans). La culture des peupliers est pratiquée de façon rentable dans de nombreux pays, notamment européens où l'approche en est une de production de bois de déroulage et sciage, de haute valeur. C'est dans cette optique que nous comptons analyser l'option. En combinant sur un même site les PEH aux feuillus nobles, nous croyons pouvoir tirer plusieurs avantages qui ne sont pas détaillés ici. Cependant, pour conduire à bien la réussite de l'utilisation de peupliers dans ce contexte, la multiplication des essais et expérimentations dans différentes conditions de sol et avec plusieurs clones, viendra préciser les voies du succès. Nous présentons un réseau de plantations expérimentales de PEH combinés aux feuillus nobles établis depuis 2000 qui est unique et qui se développe très bien. La production de bois de peupliers de qualité (pour des panneaux de haute qualité et emballages spécialisés) se fait en Europe à partir d'espacement minimal de 7m X 7m entre les plants (204/ha). On cherche à maintenir les plants en état continuel de libre croissance, assurant d'une grande régularité de l'accroissement des plants et, ce qui est primordial, d'un court temps de rotation.

3. Peupliers hybrides sur sols agricoles (2 dispositifs)

Une approche de production classique de peupliers hybrides sur sol abandonné par l'agriculture. Récemment initiés, ces deux sites de plantations occupent deux sols issus de dépôts très différents (argile *vs* loam sableux). On compte ici détailler les caractéristiques physico-chimiques des sols ainsi que la hauteur de nappe phréatique à différents moments de l'année en y installant trois tubes d'accès atteignant 1m de profondeur. La densité de 2.5m X 5m pour le site loam sableux (Havelock) et de 3m X 4m pour le site argile (St-Dominique), pourrait permettre d'envisager des espacements finaux de 5m X 7,5m au premier et de 8m X 6m au second. On doit penser à désigner précocement des individus prometteurs pour y concentrer les interventions, notamment de taille et d'élagage.

4. Peupliers hybrides sur sols forestiers (3 dispositifs)

Une production de peupliers hybrides installés après coupe forestière et préparation de sol : les milieux forestiers fortement perturbés (chablis, verglas..) pourraient être convertis en systèmes de plantations intensives. Domtar expérimente ce scénario en Estrie sur ses terrains : il serait souhaitable d'analyser cette option dans le contexte de la petite propriété privée. Installés en 2005, ces sites sont les premiers représentants en Montérégie, de plantations d'espèces à croissance rapide installées sur un ancien milieu forestier. L'analyse est centrée sur la comparaison de 5 clones en fonction des conditions environnementales spécifiques à ces milieux. La densité de 2.5m X 5m pourrait permettre d'envisager des espacements finaux de 5m X 7,5m. On doit penser à désigner précocement des individus prometteurs pour y concentrer les interventions, notamment de taille et d'élagage.

Chacune des quatre avenues de production est représentée par des dispositifs (Tableau 1) qui comprennent une organisation expérimentale, assurant du contrôle des facteurs pour que les conclusions soient scientifiquement valables. La présente étude vise à poursuivre l'acquisition de connaissances et la conduite des traitements expérimentaux sur une partie importante de ces dispositifs. Nous croyons qu'ils constituent un héritage précieux et qu'ils vont offrir des enseignements fondamentaux pour l'amélioration de nos pratiques et l'enrichissement de nos options sylvicoles. Ces options visent à rendre plus productives nos sites à vocation forestière et à accroître la présence des arbres sur le territoire. Une liste complète des clones testés sur les différents dispositifs est présentée au Tableau 2.

Tableau 1- Année d'établissement des dispositifs de plantation.

2000	Verteneuil
2002	Caillé; Latreille
2003	Leblanc; McCormick; Thibodeau
2005	Havelock; St-Dominique; Roxton Falls; Ste-Christine; Brigham

Tableau 2- Liste des clones utilisés.

N° clone*	Site de plantation	Type d'hybride	Cultivar et origine
3230	Caillé, Latreille, Verteneuil, Thibodeau, Leblanc, McCormick, Brigham, Roxton Falls, Ste-Christine	*P. trichocarpa x deltoides*	*cv. 'Boelare';* Belgique
3308	Caillé, Verteneuil, Thibodeau	*P. deltoides x nigra*	*cv. 'Regenerata Bâtard d'Hauterive';* France
3333	Havelock	*P. deltoides x nigra*	'*Stormont*'; Ontario
3570	Caillé, Latreille, Thibodeau, Leblanc, McCormick, Havelock	*P. deltoides x nigra*	Belgique
3585	Havelock	*P. deltoides x nigra*	Belgique
3587	St-Dominique	*P. deltoides x nigra*	Belgique
3729	Verteneuil, thibodeau, Leblanc, McCormick, Brigham, Roxton Falls, Ste-Christine, Havelock, St-Dominique	*P. nigra x maximowiczii*	*cv. 'NM6';* Allemagne
4118	Latreille	*P. deltoides*	*MRN,* Québec
4679	Caillé	*P. deltoides x ?*	*MRN,* Québec
4813	Brigham, Roxton Falls, Ste-Christine	*P. deltoides x nigra*	Québec
915311	Thibodeau, Leblanc, McCormick, Brigham, Roxton Falls, Ste-Christine, St-Dominique	*P. maximowiczii x balsamifera*	*MRN,* Québec
915508	Caillé, Latreille, Thibodeau, Leblanc, McCormick, Brigham, Roxton Falls, Ste-Christine, St-Dominique	*P. (deltoides x nigra) x maximowiczii*	*MRN,* Québec

**liste des clones recommandés de peuplier hybride au Québec, DRF, Forêt Québec*

Chapitre I – Approche agroforestière

Dispositif Verteneuil

EFFETS DE PEUPLIERS HYBRIDES, AVANT ET APRÈS ÉCLAIRCIE, SUR LA DISPONIBILITÉ DE LA LUMIÈRE ET LA PRODUCTIVITÉ DU SOYA DANS UN SYSTÈME DE CULTURE INTERCALAIRE ÉTABLI DANS LE SUD-OUEST DU QUÉBEC, AU CANADA

David Rivest[1], Alain Cogliastro[2], Anne Vanasse[1] et Alain Olivier[1]

[1]Departement de phytologie, Université Laval, Québec, QC, Canada, G1K 7P4.
[2] Institut de recherche en biologie végétale, 4101 rue Sherbrooke est, Montréal, QC, Canada, H1X 2B2.
Contact : David.Rivest.1@ulaval.ca

Introduction

Le système de culture intercalaire (SCI) est une technologie agroforestière qui consiste en la plantation de rangées d'arbres largement espacées les unes des autres de façon à pouvoir allouer les bandes intercalaires à des plantes cultivées. Bien que la plupart des essais expérimentaux soient encore récents sous climat tempéré, des résultats issus de modèles de simulation novateurs indiquent que certains SCI intégrant des peupliers hybrides (PH) ou des feuillus nobles s'avèrent plus rentables et productifs que les systèmes conventionnels agricoles ou forestiers (Graves et al. 2007), tout en présentant de multiples bénéfices environnementaux comme la réduction de l'érosion des sols et du lessivage de l'azote, ainsi que l'augmentation de la séquestration du carbone et de la diversité biologique des paysages (Palma et al. 2007). La prédiction de ces bénéfices environnementaux corrobore des observations issues de recherches menées en Ontario sur des parcelles expérimentales avec des arbres à maturité (Thevathasan et al. 2004).

La présente étude, réalisée dans le sud-ouest du Québec, s'insère dans le cadre d'un projet expérimental qui vise à caractériser les interactions écologiques dans un SCI associant des PH et des feuillus nobles à une culture de soya. La structure particulière des SCI, intermédiaire entre celles des monocultures intensives et des écosystèmes naturels, fait effectivement intervenir un large éventail d'interactions complexes qui contrôlent la productivité des arbres et des plantes agricoles. Une meilleure compréhension de ces interactions devrait permettre de cibler les critères prépondérants à la conception et à la régie de SCI novateurs applicables au contexte du nord-est de l'Amérique du Nord, tout en consolidant une base scientifique en pleine émergence dans plusieurs régions tempérées (Gordon et Newman 1997).

L'ombrage des arbres et la concurrence qu'ils exercent pour l'approvisionnement en eau représentent deux types d'interactions qui peuvent particulièrement limiter la productivité de la

culture intercalaire associée (Jose et al. 2004). Dans l'est du Canada, les rares recherches ayant abordé le SCI associant des PH au soya suggèrent que la compétition pour la lumière serait le principal facteur limitant (Reynolds et al. 2007). Plusieurs essais utilisant des ombrières artificielles ont effectivement mis en évidence la sensibilité du soya à la disponibilité de la lumière, particulièrement au dessus d'un seuil critique de 20 à 30 % d'ombrage et lorsque le traitement est appliqué au cours de la phase reproductive (Wahua et Miller 1978 ; Eriksen et Whitney 1984 ; Egli et Yu 1991). Ces travaux sont cependant délicats à extrapoler aux SCI, les arbres présentant la possibilité d'entrer en compétition avec la culture intercalaire non seulement pour la lumière, mais aussi pour l'eau et les ressources édaphiques.

Bien que la productivité du soya soit appelé à décliner assez rapidement sous l'influence des PH (Puri et al. 2002), certains éléments de l'itinéraire technique propre aux SCI, dont la sélection des espèces d'arbre, l'espacement et l'arrangement spatial des rangées d'arbres, l'élagage et l'éclaircie, peuvent toutefois contribuer à atténuer la compétition interspécifique, ce qui permettrait d'augmenter le nombre d'années où la culture intercalaire est envisageable (Dupraz et al. 2005; Reynolds et al. 2007). Les effets combinés de ces éléments de l'itinéraire technique sur la disponibilité de la lumière et la productivité du soya demeurent toutefois peu connus. Les objectifs de la présente étude consistaient à : 1) comparer les effets de deux espacements entre les rangées d'arbres (6 ou 8 m), de trois clones de PH (TD-3230, DN-3308 et NM-3729) et de deux orientations de la culture par rapport aux rangées de PH (est et ouest), avant et après éclaircie des PH, sur la PLTT et différents paramètres de productivité du soya, à diverses distances de la rangée de PH ; et 2) déterminer les relations entre la PLTT et les paramètres de productivité du soya.

Méthodologie

Site

L'étude a été menée à St-Rémi (45°14´ N., 73°40´ O.), dans la Municipalité régionale de comté (MRC) des Jardins de Napierville. Le sol est un loam contenant approximativement 20 % d'argile et 50 % de sable, avec une bonne capacité d'échange cationique (20,6 meq/100 g), une faible teneur en phosphore (27 kg/ha), un drainage modéré à imparfait et un pH neutre (6,9) (Tableau 3; Tableau 4). De 2004 à 2006, une culture intercalaire de soya a été intégrée à une plantation mélangée, établie en 2000, de feuillus nobles et de PH disposés en rangées alternées. Avant l'établissement de la plantation, des cultures de soya (1999) et de maïs (1998) occupaient le site.

Tableau 3- Concentration en éléments nutritifs des sols de Verteneuil (6m et 8m); Sat. = taux de saturation; CEC = capacité d'échange cationique. Les concentrations dépassant le cadre des valeurs de référence sont présentées en caractère gras. Les valeurs présentées sont des moyennes établies à partir de l'analyse de 6 échantillons extraits en juillet 2004, 3 dans la partie du site où l'espacement est de 6m et 3 autres à 8m.

	Pièce A (6m)	**Pièce B** (8m)
pH solution	7.1	6.9
pH tampon	7.4	7.2
Phosphore (P) (kg/ha)	**<9**	**10**

Potassium (K) (kg/ha)	**107.0**	**124.3**
Magnésium (Mg) (kg/ha)	810.0	857.7
Calcium (Ca) (kg/ha)	6750.0	5930.0
Aluminium (Al) (ppm)	645.7	800.1
Sat. P (% P/AI)	<1.0	<1.0
Sat. K (% mEq/CEC)	**0.6**	**0.7**
Sat. Mg (%mEq/CEC)	**15.3**	**16.6**
Sat. Ca (%mEq/CEC)	**76.0**	66.4
Sat. K-Ca-Mg (% mEq/CEC)	91.9	83.7
C.E.C. (mEq/100g)	19.9	20.5
Azote (N) total (%)	<0.3	<0.2

Tableau 4- Granulométrie des sols des deux pièces du site Verteneuil : la première présentant un espacement de 6m entre les rangées et l'autre de 8m. Les valeurs présentées sont des moyennes de valeurs extraites de 120 échantillons de sol pris à 15cm, 60 à 6m et 60 à 8m.

Espacement	%Argile	%Limon	%Sable	Type de sol
6 m	17.2	36.8	46.0	loam sablo-argileux
8 m	21.2	32.0	46.8	loam sablo-argileux

Les mesures d'humidité du sol prises en 2006 (Figure 1) montrent un apport hydrique suffisant pour la croissance des peupliers. Les besoins en eau du peuplier hybride sont élevés, comme le montre la forte baisse d'humidité à proximité des arbres, mais le pourcentage résiduel reste autour de 15% d'humidité.

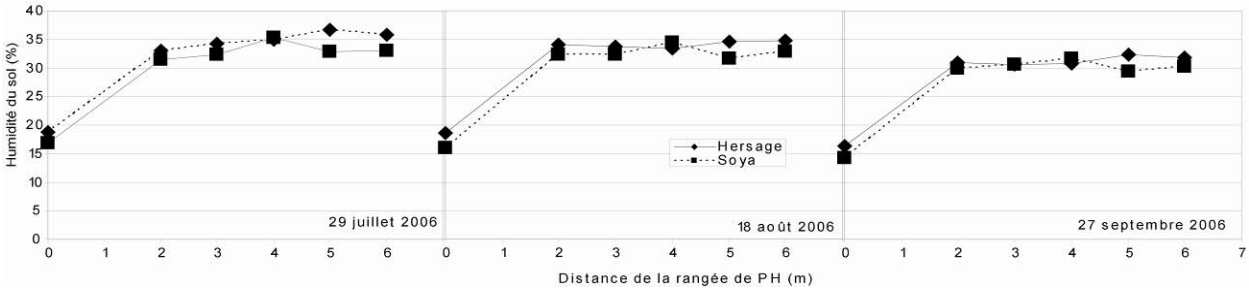


Figure 1- Valeurs d'humidité du sol mesurées à différentes distances d'une rangée de peuplier hybride (PH) dans les deux traitements, et prises durant les mois de juillet, août et septembre 2006.

Traitements et dispositif expérimental

Le dispositif est composé de 2 pièces (A et B) qui diffèrent selon l'espacement entre les rangées de feuillus nobles et de PH (A = 6 m, B = 8 m). Chacune des pièces est divisée en 4 blocs aléatoires complets, comprenant chacun 5 rangées de PH et 4 rangées de feuillus nobles, de façon à ce que tous les rangs de feuillus nobles soient accompagnés des 2 côtés par un rang de PH. Les PH ont été plantés à tous les 2 m sur le rang, à raison de 9 plants contigus pour chacun des clones (*Populus nigra x maximowiczii* NM-3729, *Populus deltoides x nigra* DN-3308, *Populus trichocarpa x deltoides* TD-3230) distribués de façon aléatoire. Les clones de PH choisis et les feuillus nobles permettent de viser une production de bois de grande qualité, à des fins de production de bois de déroulage, à haute valeur ajoutée. Les feuillus nobles (noyer noir

(*Juglans nigra*) et frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*)) sont plantés aux 3 m sur le rang, par groupe de 3 plants par espèce. Les rangées d'arbres sont orientées à 310°, ce qui correspond approximativement à l'orientation des terres dans la région de l'étude.

Le soya (cultivar S03-W4) a été semé le 11 juin en 2005 et le 3 juillet en 2006. Il a été ensemencé par semis direct en visant une densité de 50 plants par m² et selon un espacement entre les rangs de 38 cm. Afin de répondre à des objectifs de recherche différents de la présente étude, le soya n'a été implanté que sur la moitié du dispositif, l'autre moitié étant sans culture. Le soya a reçu une application conventionnelle d'herbicides (mélange de FirstRate®, Pinnacle ® et Assure® II) au stade trifolié. La répression des herbacées à proximité des arbres est assurée par un paillis de plastique installé en bande continue. Les bandes d'herbacées colonisant l'interface paillis-soya ont été éliminées annuellement grâce à l'application localisée de glyphosate (Round Up®). En pré-semis, le sol a été amendé avec un fertilisant N-P_2O_5-K_2O à raison de 300 kg/ha de 5-27-24 en 2005 et de 275 kg/ha de 9-24-21 en 2006. Une éclaircie réalisée au cours de l'hiver 2006 a permis d'augmenter l'espacement entre les PH de 2 à 6 m sur les rangées, faisant passer leur densité de 417 à 139 tiges/ha dans la pièce A et de 313 à 104 tiges/ha dans la pièce B. Les PH ont été élagués en 2003 et en 2005 en visant à dégager, dans l'ordre, le tiers et la demie de leur fût.

Le dispositif Verteneuil est le plus ancien du réseau de plantations expérimentales déployées en Montérégie depuis 2000. Après 7 années de croissance, les peupliers atteignent des hauteurs moyennes allant de 10 à 12m. La survie n'est pas présentée, car elle est presque parfaite (> 97% après 7 années de croissance).

La comparaison des espacements, quoique statistiquement impossible, permet néanmoins d'affirmer que la croissance est plus élevée à 6 m d'espacement, en hauteur autant qu'en diamètre (Figure 2). Cette tendance est la même que les années précédentes, et il est à noter que cette différence est plutôt stable entre les années.

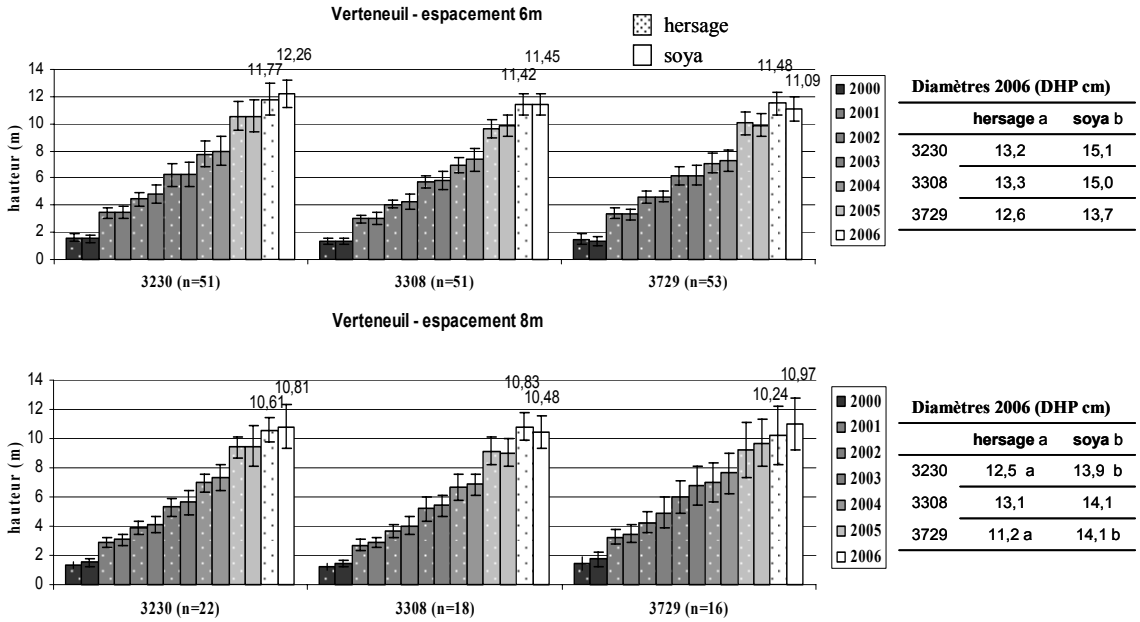


Figure 2- Hauteurs et diamètres moyens des cultivars de peupliers 3230, 3308 et 3729 selon l'espacement entre les rangées de culture (6m et 8m) et le type de traitement au sol associé : culture de soya ou hersage, en 2006 après 7 saisons de croissance. Les traitements ont un effet sur le diamètre des peupliers ($p<0.05$). Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Quoi que les valeurs moyennes de hauteur et de diamètre soient statistiquement différentes entre les clones ($p<0,05$), nos analyses post-hoc n'ont pas permis de pondérer ces différences selon les cultivars. Cela indique que les trois cultivars présentent des performances relativement similaires, bien que l'on puisse affirmer que le 3230 est le plus productif à l'intérieur d'un espacement de 6m ainsi qu'à un espacement de 8m, malgré que le 3729 ait produit une très forte croissance en 2006 pour dépasser le 3230 (Figure 2).

L'approche agro-forestière d'accompagnement par le soya se révèle très prometteuse : dans tous les cas, le soya produit des diamètres statistiquement supérieurs ($p<0.05$) à ceux des peupliers soumis au traitement de hersage (Figure 2). Les hauteurs des peupliers ne semblent pas beaucoup affectées par les traitements. Le clone 3729 semble être le plus sensible à la présence de soya en accroissant fortement ses diamètres (11,2 cm de DHP avec hersage contre 14,1 cm avec soya à 8m d'espacement).

Tableau 5- Hauteur (H) des plants de frêne d'Amérique (fra) et de noyer noir (non) à des espacements de 6m et 8m, de 2000 à 2006. Les lettres à côté des valeurs de hauteur indiquent des différences significatives à $p<0,05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Leblanc	H 2000 (cm)	H 2001 (cm)	H 2002 (cm)	H 2003 (cm)	H 2004 (cm)	H 2005 (cm)	H 2006 (cm)
Esp. 6m							
fra	38.0	87.9	130.2	187.3	248.5	353.3	441.5 **a**
non	31.8	45.7	80.3	113.7	153.8	228.3	287.7 **b**
Esp. 8m							
fra	36.9	75.8	109.9	153.0	215.8	310.0	397.0 **a**
non	37.7	48.8	78.6	105.1	135.4	196.5	238.4 **b**

Esp. = espacement entre les rangs;

Concernant les feuillus nobles, les frênes américains sont plus productifs que les noyers ($p<0.05$), ce qui concorde avec les tendances vues aux années précédentes (Tableau 5). Ces différences sont cependant stables si on compare les croissances de 2005 et 2006. Comme pour les peupliers, l'espacement de 6m présente des croissances moyennes plus élevées qu'à 8m, mais ces croissances ne peuvent être statistiquement comparées.

Paramètres échantillonnés

Afin d'éliminer l'effet de bordure, les mesures du soya n'ont été effectuées qu'à partir d'une seule rangée de PH située au centre de chacune des deux pièces. Le Tableau 6 présente les caractéristiques des arbres dans les parcelles échantillonnées. En général, les PH de la pièce A avaient une taille légèrement plus grande que ceux de la pièce B. La taille des PH était similaire d'un clone à l'autre. Comme les feuillus nobles, de taille beaucoup plus petite, ont sans doute exercé une influence négligeable sur la productivité du soya au cours de cette étude, l'échantillonnage a été réalisé de façon à isoler les effets du clone, ainsi que de l'orientation (est et ouest) et de diverses distances par rapport à la rangée de PH sur différents paramètres de productivité du soya. Chaque parcelle de PH couvrait une superficie de 216 (pièce A) ou 288 m² (pièce B), avec une suite de 9 (en 2005) ou 3 (en 2006, à la suite de l'éclaircie) PH d'un clone donné en son centre. Dans chacune des pièces et pour chacun des paramètres de productivité, 8 quadrats (2 par parcelle x 4 blocs) de chaque combinaison clone x orientation x distance (2, 3 et 4 m dans la pièce A ; 2, 3, 4, 5 et 6 m (2005) ou 2 et 5 m (2006) dans la pièce B) ont été échantillonnés (N = 384 en 2005 et N = 240 en 2006). Pour les mesures du rendement par m² et du poids de 100 grains, les plants de soya ont été récoltés manuellement dans des quadrats de 4 m² (1,14 x 3,51 m) en 2005 ou de 3 m² en 2006 (1,14 x 2,63 m). Le nombre de plants par m² et le nombre de gousses par m² ont été dénombrés dans des sous-parcelles de 1 m² (1,14 x 0,88 m). Afin d'avoir des valeurs de référence (hors de l'influence des arbres) pour chacun des paramètres de productivité du soya, 12 (2005) ou 8 (2006) quadrats ont également été échantillonnés, au nord et au sud de la pièce A, ainsi qu'au sud de la pièce B.

Tableau 6- Caractéristiques des arbres au début des saisons de croissance 2005 et 2006 dans un système de culture intercalaire établi dans le sud-ouest du Québec, au Canada.

Mesure	TD-3230		DN-3308		NM-3729		Feuillus nobles	
	2005	2006	2005	2006	2005	2006	2005	2006
Pièce A : espacement = 6 m								
Hauteur (m)	8,2	11,0	6,9	9,8	7,0	10,1	2,1	3,2
Diamètre (cm)	8,3	11,4	7,0	10,7	6,9	9,6	3,6	5,5
Pièce B : espacement = 8 m								
Hauteur (m)	7,0	8,9	6,3	8,6	6,8	8,6	1,8	2,6
Diamètre (cm)	7,0	10,1	6,2	9,6	6,4	8,9	3,3	5,2

Nota : le diamètre des peupliers hybrides a été mesuré à 1,3 m du sol (DHP) et celui des feuillus nobles au niveau du sol.

Des photos hémisphériques ont été prises en août 2005 et 2006, à l'aide d'une caméra numérique (*Nikkor Coolpix* 990) équipée d'une lentille *fisheye* à projection orthographique (*Nikon fisheye converter* FC-E8) qui était montée sur un trépied à 1 m du sol. Les photos couleurs ont d'abord été converties en mode binaire à l'aide du logiciel de traitement d'image Photoshop®. Elles ont

ensuite été analysées à l'aide du logiciel *Gap Light Analyser* (Frazer et al. 1999). Une correction magnétique de 50° ouest a été appliquée afin de corriger l'orientation des rangées d'arbres (310°). La proportion de lumière totale (directe et diffuse) transmise a été mesurée pour la période comprise entre le 15 juin et le 31 septembre. Les photos ont été prises le long de transects croisant perpendiculairement le centre de la rangée de PH de chacune des 12 parcelles de la pièce B (3 clones x 4 blocs). Le long de chacun de ces transects, une photo a été réalisée à 5 distances (2, 3, 4, 5 et 6 m) de la rangée de PH, dans chacune des deux orientations (N = 120).

Analyses statistiques

Les pièces (A et B) et les deux années de l'étude ont été évaluées de façon indépendante. Le plan d'expérience a été considéré comme un plan factoriel à blocs complets aléatoires. L'analyse de variance (ANOVA) et la comparaison multiple des moyennes ont été réalisées à l'aide de la procédure MIXED de SAS. Dans les cas où la normalité et l'homogénéité de la variance n'étaient pas respectées, une transformation non paramétrique (rang) a été utilisée. Le test de comparaison multiple des moyennes de Tukey a été utilisé pour faire ressortir les différences significatives entre les différentes combinaisons de traitement. Le seuil de signification retenu lors des analyses a été de 5 %. Les relations entre la PLTT et les différents paramètres de productivité du soya ont été évaluées à l'aide d'analyses de corrélation.

Résultats

Au cours des deux années de l'étude, le type de clone de PH n'a pas affecté la PLTT. À la première année de l'étude (2005), une interaction entre la distance et l'orientation par rapport à la rangée de PH a toutefois affecté significativement la PLTT (Figure 3). La PLTT du côté ouest de la rangée de PH était supérieure de 24 % à celle du côté est. D'un côté comme de l'autre, entre 2 et 5 m, la PLTT augmentait de façon significative d'une distance à l'autre, puis se stabilisait entre 5 et 6 m, ce qui suggère que l'interception de la lumière par les feuillus nobles était marginale par rapport à celle des PH. Suite à l'éclaircie réalisée à l'hiver 2006, la PLTT mesurée à 2 m de la rangée de PH, dans la pièce B, s'est accrue de 30 % par rapport à l'année précédente. Par ailleurs, une interaction significative entre le clone de PH, la distance et l'orientation a été mesurée (Figure 4). Comme c'était le cas en 2005, la PLTT mesurée à l'est de la rangée de PH était inférieure à celle mesurée à l'ouest. En revanche, elle variait de façon beaucoup moins prononcée d'une distance à l'autre, particulièrement chez le clone NM-3729 (côté est) et le TD-3230 (côté ouest). L'écart entre la PLTT à 2 m et celle à 5 m était de 26 et 8 % en 2005 et 2006, respectivement.

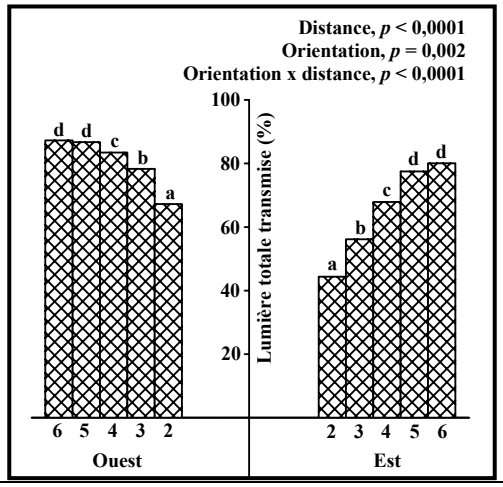


Figure 3- Lumière totale transmise avant éclaircie (2005) en fonction de l'orientation et de la distance (m) par rapport à la rangée de peupliers hybrides, dans un système de culture intercalaire établi dans le sud-ouest du Québec, au Canada. Les moyennes ont été calculés sur la base des observations réalisées dans la pièce B (espacement = 8 m). Les valeurs de probabilité (*p*) significatives de l'ANOVA sont indiquées dans le coin supérieur droit. Pour une combinaison d'orientation et de distance, les moyennes auxquelles ont été attribuées des lettres différentes sont différentes à $p < 0,05$ (test de Tukey).

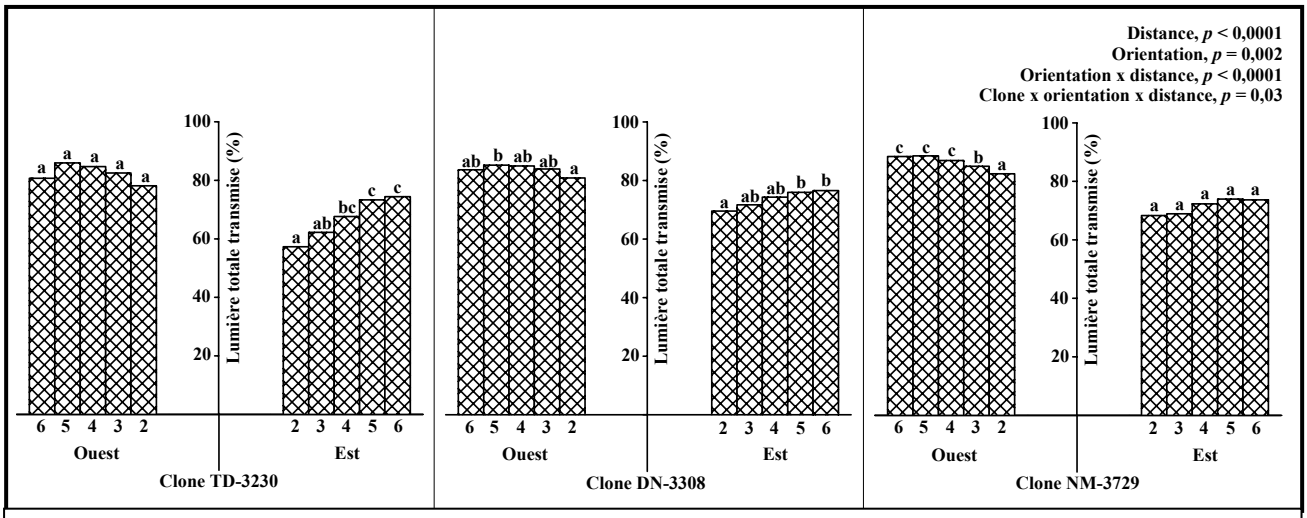


Figure 4- Lumière totale transmise après éclaircie (2006) en fonction du clone de peuplier hybride, de l'orientation et de la distance (m) par rapport à la rangée de peupliers hybrides, dans un système de culture intercalaire établi dans le sud-ouest du Québec, au Canada. Les moyennes ont été calculés sur la base des observations réalisées dans la pièce B (espacement = 8 m). Les valeurs de probabilité (*p*) significatives de l'ANOVA sont indiquées dans le coin supérieur droit. Pour une combinaison de clone, d'orientation et de distance, les moyennes auxquelles ont été attribuées des lettres différentes sont différentes à *p* < 0,05 (test de Tukey).

Le type de clone de PH a affecté significativement les paramètres de productivité du soya mesurés en 2005. Dans la pièce A, le rendement du soya sous l'influence du clone NM-3729 était de 15 et 21 % supérieur à celui des clones DN-3308 et TD-3230 respectivement (*P* = 0,02) (tableau 2). Dans la pièce B, bien que le rendement du soya avec le NM-3729 ait été plus élevé qu'avec le DN-3308 (3 %) et le TD-3230 (14 %), aucune différence significative n'a cependant été mesurée entre les trois clones (*P* = 0,11).

Bien qu'aucune différence concernant le nombre de plants par m² n'ait été observée dans la pièce A, ce nombre était plus faible avec le clone TD-3230 qu'avec les clones NM-3729 et DN-3308 (*P* = 0,002) dans la pièce B (tableau 2). Le nombre de gousses par m², quant à lui, était supérieur avec le NM-3729, intermédiaire avec le DN-3308 et inférieur avec le TD-3230, autant dans la pièce A (*P* = 0,05) que dans la pièce B (*P* = 0,04). Le poids de 100 grains suivait, dans la pièce B, la tendance inverse de celle observée pour le nombre de gousses par m² : il était le plus élevé avec le TD-3230 et le plus faible avec le NM-3729 (*P* = 0,05). Suite à l'éclaircie des PH en 2006, aucun effet du clone de PH n'a été observé.

L'orientation a influencé significativement le rendement du soya, autant en 2005 (*P* = 0,005) qu'en 2006 (*P* = 0,02), mais seulement dans la pièce A (tableau 2). Du côté ouest de la rangée de PH, le rendement du soya était de 9 et 7 % supérieur à celui du côté est, en 2005 et 2006 respectivement. De plus, un effet du clone de PH en interaction avec l'orientation (*P* = 0,02) a été observé en 2005 : le rendement était plus faible du côté est avec les clones TD-3230 et NN-3729, alors qu'il ne différait pas d'une orientation à l'autre avec le DN-3308.

En 2005, tous les paramètres de productivité du soya variaient significativement en fonction de la distance par rapport à la rangée de PH ($P < 0,01$). Les valeurs étaient généralement les plus faibles à 2 m et les plus élevées à 4 (pièce A) ou 5-6 m (pièce B) (Figure 5). Aucun paramètre de productivité du soya n'a toutefois été affecté par la distance en 2006, après éclaircie. Néanmoins, une interaction entre l'orientation et la distance a influencé le rendement du soya dans la pièce A ($P = 0,002$; résultat non présenté). À 2 m de la rangée de PH, il était inférieur du côté est, tandis qu'il ne différait pas entre les deux orientations à 3 et 4 m. En outre, une interaction observée en 2006 entre le clone de PH et la distance, dans la pièce B, a mis en évidence que le rendement du soya avec le NM-3729 était plus faible à 2 m qu'à 5m, ce qui n'était pas le cas pour les deux autres clones ($P = 0,02$; résultat non présenté).

La mesure des différents paramètres de productivité du soya dans des parcelles de référence, effectuée à titre indicatif, a fait ressortir notamment que le rendement moyen en 2005 y était supérieur de 61 et 42 % à celui du SCI pour les pièces A et B, respectivement (Figure 5). Après l'éclaircie de 2006, cet écart important de rendement s'est cependant largement amoindri : hors de l'influence des arbres, il n'était supérieur que de 7 et 1 % par rapport à celui des pièces A et B, respectivement. En général, les paramètres de productivité du soya étaient similaires à ceux observés dans des parcelles de référence lorsque la PLTT était supérieure au seuil critique de 75-80 %. Wahua et Miller (1978) rapportent qu'une diminution de la lumière de 20 %, obtenue grâce à l'utilisation d'ombrières artificielles, n'avait affecté ni le rendement du soya ni le nombre de gousses par m². Sous un tel niveau d'ombrage, les auteurs mentionnent toutefois que le poids de 100 grains y était plus élevé que celui mesuré en pleine lumière, ce qui est en accord avec ce qui a été observé dans la présente étude.

Au cours des deux années de l'étude, le rendement du soya était corrélé significativement avec la PLTT, excepté en 2005, à 5 m de la rangée de PH (Tableau 8). Le poids de 100 grains était lui aussi généralement corrélé avec la PLTT, mais de façon négative. Le nombre de gousses par m² n'était significativement corrélé avec la PLTT qu'en 2005, à 2 m, là où les plus faibles valeurs de PLTT ont été mesurées. À l'opposé, là où les plus hautes valeurs de PLTT ont été mesurées, soit lors de la saison de croissance 2006, à 5 m, une corrélation significative entre le nombre de plants par m² et la PLTT a été mesurée. En 2005, tout comme en 2006, le rendement du soya, en particulier à 2 m, était davantage corrélé avec le nombre de plants par m² et le nombre de gousses par m² qu'avec le poids de 100 grains, ce qui a également été observé par Ball et al. (2001) dans le cadre d'une étude sur la culture conventionnelle du soya.

Tableau 7- Comparaison des paramètres de productivité du soya en fonction de trois clones de peuplier hybride et deux orientations par rapport à la rangée de peupliers hybrides, avant (2005) et après éclaircie (2006), dans un système de culture intercalaire établi dans le sud-ouest du Québec, au Canada.

			Rendement (g/m²)					Plants par m² (nb)			Gousses par m² (nb)			Poids de 100 grains (g)		
Pièce	Année	Clone	Ouest		Est		Moyenne	Ouest	Est	Moyenne	Ouest	Est	Moyenne	Ouest	Est	Moyenne
A	2005	TD-3230	132 a	X	108 a	Y	120 a	38	36	37	311	250	281 a	22,1	23,1	22,6
		DN-3308	125 a	X	126 b	X	126 a	44	39	42	330	290	310 ab	21,8	22,7	22,2
		NM-3729	148 a	X	138 b	Y	143 b	43	40	41	345	319	332 b	21,8	22,4	22,1
		Moyenne	135	X	124	Y	129	42	38	40	329	286	308	21,9	22,7	22,3
	2006	TD-3230	150		135		143	38	36	37	400	308	354	17,2	17,1	17,1
		DN-3308	148		140		144	41	37	39	372	313	343	16,9	16,8	16,9
		NM-3729	142		138		140	40	37	38	372	321	345	16,8	17,1	17,0
		Moyenne	147	X	138	Y	142	40	36	38	381 X	314 Y	347	17,0	17,0	17,0
B	2005	TD-3230	173		174		173	41	39	40a	352	369	361 a	22,2	22,7	22,4 a
		DN-3308	188		194		191	46	45	46b	403	409	406 ab	21,5	22,2	21,8 ab
		NM-3729	201		194		197	42	39	41b	418	415	417 b	20,9	22,3	21,6 b
		Moyenne	184		189		187	43	41	42	390	398	394	21,5 X	22,4 Y	22,0
	2006	TD-3230	166		167		166	32	33	33	437	397	417	16,6	16,8	16,7
		DN-3308	157		151		154	31	33	32	409	400	404	16,8	17,0	16,9
		NM-3729	180		177		179	34	30	32	481	335	408	16,9	16,9	16,9
		Moyenne	168		165		166	33	32	32	443	377	410	16,8	16,9	16,8

Nota : Les moyennes d'une même colonne pour chaque combinaison de pièce, d'année et d'orientation (ouest, est et moyenne) auxquelles ont été attribuées des lettres différentes sont différentes à $p < 0,05$ (test de Tukey). Les pièces A et B correspondent, dans l'ordre, à un espacement de 6 et 8 m entre les rangées d'arbres. Les moyennes d'une même ligne pour chaque combinaison de pièce, d'année et de clone (TD-3230, DN-3308, NM-3729 et moyenne) auxquelles ont été attribuées des lettres différentes sont différentes à $p < 0,05$ (test de Tukey).

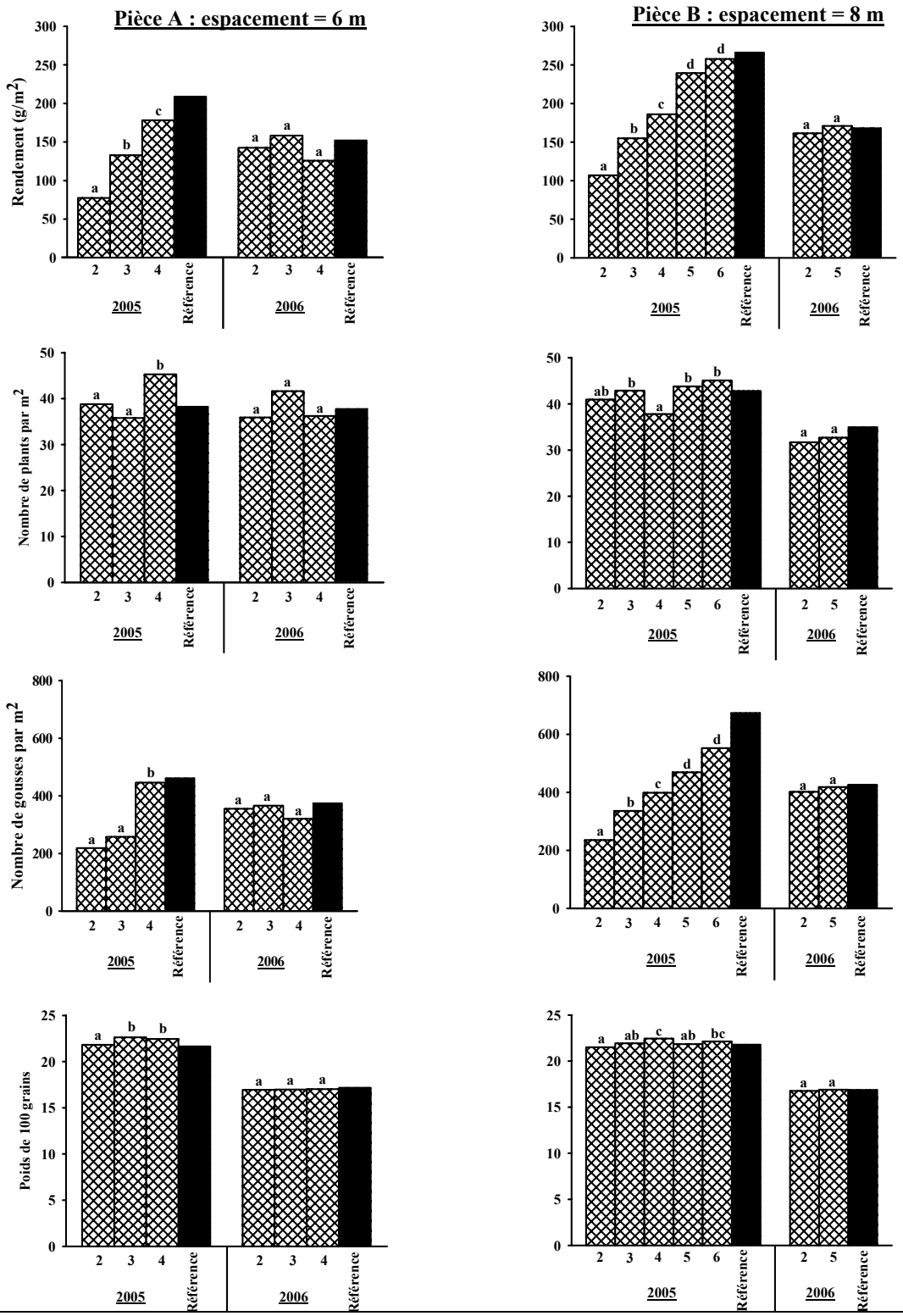


Figure 5- Comparaison des paramètres de productivité du soya mesurés à diverses distances (m) par rapport à la rangée de peupliers hybrides et hors de son influence (référence), avant (2005) et après éclaircie (2006), dans un système de culture intercalaire établi dans le sud-ouest du Québec, au Canada. Pour une combinaison de pièce, d'année et de distance, les moyennes auxquelles ont été attribuées des lettres différentes sont différentes à $p < 0,05$ (test de Tukey).

Discussion

Un effet significatif du clone de PH sur la plupart des paramètres de productivité du soya a été observé. Dans le contexte de l'optimisation de la productivité de la culture intercalaire, ce résultat souligne l'importance d'une sélection appropriée des espèces et des clones d'arbre, comme le suggèrent d'autres études sur des SCI associant des arbres à croissance rapide au soya (Dhyani et Tripathi 1999 ; Reynolds et al. 2007). En 2005, à l'exception du poids de 100 grains, les paramètres de productivité du soya étaient généralement les plus élevés avec le NM-3729 et les plus faibles avec le TD-3230. Ces contrastes entre clones n'ont cependant pas été observés en 2006, probablement en raison de l'éclaircie qui s'est traduite par une augmentation notable de la PLTT. Bien que les analyses statistiques ne l'aient pas mis en évidence, parmi les trois clones de l'étude, le TD-3230 est celui qui tendait à intercepter le plus de lumière totale transmise, probablement en raison du fait qu'il a développé une cime plus large que celle des deux autres clones (résultat non présenté). La modélisation (e.g. SORTIE), au cours des années futures, de la PLTT en fonction de différents paramètres de l'arbre (hauteur, DHP, largeur et porosité de la cime), pourrait permettre de préciser davantage les tendances observées en ce qui concerne les différences entre les clones de PH. Par ailleurs, dans l'hypothèse où les PH entrent en concurrence avec le soya pour les ressources édaphiques du sol, il faut considérer également que l'utilisation de ces ressources puisse varier en fonction du clone comme l'ont démontré Berthelot et al. (2000).

Tableau 8- Coefficients de corrélation entre la proportion de lumière totale transmise et différents paramètres de productivité du soya à 2 et 5 m de la rangée de peupliers hybrides, avant (2005) et après éclaircie (2006), dans un système de culture intercalaire établi dans le sud-ouest du Québec, au Canada.

	Distance par rapport à la rangée de peupliers hybrides									
	2 m					5 m				
Variables	1	2	3	4	5	1	2	3	4	5
2005, avant éclaircie										
(1) Lumière totale transmise (%)	1,00					1,00				
(2) Rendement (g/m^2)	0,66***	1,00				-0,10	1,00			
(3) Nombre de plants par m^2	0,31	0,42*	1,00			0,40	0,19	1,00		
(4) Nombre de gousses par m^2	0,57**	0,86***	0,61**	1,00		-0,17	0,51*	0,08	1,00	
(5) Poids de 100 grains (g)	-0,42*	-0,28	-0,18	-0,28	1,00	-0,79***	0,05	-0,30	0,00	1,00
2006, après éclaircie										
(1) Lumière totale transmise (%)	1,00					1,00				
(2) Rendement (g/m^2)	0,45*	1,00				0,51*	1,00			
(3) Nombre de plants par m^2	0,39	0,60**	1,00			0,59**	0,59**	1,00		
(4) Nombre de gousses par m^2	0,29	0,72***	0,24	1,00		0,18	0,18	-0,14	1,00	
(5) Poids de 100 grains (g)	-0,48*	-0,18	0,00	-0,29	1,00	-0,25	-0,25	-0,10	-0,36	1,00

Nota : les coefficients de corrélation ont été calculés sur la base des observations (N = 24) réalisées dans la pièce B (espacement = 8 m). *$P < 0,05$; **$P < 0,01$; ***$P < 0,001$.

Dans le SCI à l'étude, les rangées d'arbres étaient orientées à 310°, ce qui est intermédiaire entre une orientation nord-sud et une orientation est-ouest. L'écart entre la PLTT du côté est de la rangée de PH et celle du côté ouest s'est avéré important, en particulier à proximité des PH. Bien que ce n'ait pas été le cas dans la pièce B, le rendement du soya était lui aussi le plus faible du côté est des PH dans la pièce A. Ces résultats sont en accord avec ceux obtenus lors d'une étude portant sur un SCI avec le PH, dans laquelle on a observé que, à 2 m de la rangée de PH, la disponibilité de la lumière et le rendement d'une culture de blé d'hiver étaient plus faibles du côté est et du côté nord, pour une orientation des rangées d'arbres nord-sud et est-ouest, respectivement (Dupraz et al. 2005). Les auteurs soulignent que le fait d'observer une réaction comparable de la PLTT et du rendement de la culture à l'effet de l'orientation des rangées d'arbres, porte à croire que la lumière était probablement le facteur limitant. Les auteurs mentionnent cependant que la concurrence pour la lumière peut être minimisée en optant pour une orientation nord-sud des rangées d'arbres. Comme c'était le cas dans la présente étude, l'orientation des terres et du réseau de drainage peuvent cependant représenter des contraintes importantes à l'adoption d'une orientation nord-sud.

Le plan d'expérience du présent essai n'autorise pas les comparaisons formelles entre la pièce A et la pièce B, ni entre les parcelles de référence (sans arbres) et celles du SCI. Les différences observées dans la réaction aux traitements peuvent cependant être considérées comme des indicateurs de tendances plus générales. Au cours des deux années de l'étude, il se dégage notamment que le rendement moyen du soya de la pièce B, comportant une plus faible densité d'arbres, était supérieur à celui du soya de la pièce A, tout en étant plus près de celui des parcelles de référence. Ces résultats appuient ceux obtenus par Shanker et al. (2005) qui ont observé que le rendement du soya en culture pure était supérieur de 2 et 9 % à celui de jeunes SCI avec *Hardwickia binata* comportant 200 et 800 tiges/ha, respectivement. Dans leur synthèse sur les SCI en Chine, Wu et Zhu (1997) ont insisté sur le fait que l'espacement entre les rangées d'arbres est un critère important à considérer dans un contexte où la lumière est le principal facteur limitant la productivité de la culture intercalaire. Dans le cas où les cultures agricoles et les arbres présentent une valeur économique similaire, ces auteurs recommandent d'opter pour un espacement de 15 à 20 m entre les rangées d'arbres, ce qui est bien en deçà de ceux utilisés dans la présente étude (6 ou 8 m), le dispositif ayant été conçu à l'origine pour des fins de recherche forestière. Néanmoins, la disposition des feuillus nobles et des PH en rangées alternées constitue, pour sa part, un système tout à fait novateur (Thevathasan et Gordon 2004) qui offre l'avantage de maintenir le site ouvert, ce qui est favorable aux cultures intercalaires. Cela a été clairement démontré en 2005 alors que la PLTT et le rendement du soya à proximité (2 m) des feuillus nobles étaient supérieurs à ceux à proximité des PH. En outre, un tel système permet l'obtention d'une récolte de bois à moyen terme (15-20 ans) grâce aux PH, ce qui n'est pas le cas des SCI intégrant uniquement des feuillus nobles.

En ce qui a trait à la validité du traitement d'éclaircie, il aurait été hasardeux de morceler davantage le dispositif expérimental en y ajoutant un témoin sans éclaircie, compte tenu de la taille restreinte de l'aire de l'étude. Néanmoins, la comparaison entre l'année avant (2005) et l'année après (2006) l'éclaircie peut être considérée comme un bon indicateur de l'effet du traitement. En 2005, face à des réductions importantes de la PLTT, en particulier à proximité des PH, les paramètres de productivité du soya étaient fortement réduits. Par contre, suite à l'éclaircie qui s'est traduite par une augmentation importante de la PLTT à proximité des PH, les différents paramètres de productivité du soya présentaient une distribution uniforme d'une distance à l'autre de la rangée de PH. En augmentent de façon notable la PLTT grâce à l'élagage des PH, Dupraz et al. (2005) ont constaté, eux aussi, une atténuation importante du gradient de productivité de la culture intercalaire en relation avec la distance de la rangée d'arbres.

Bien que davantage de recherche soit nécessaire afin de préciser l'importance des effets de concurrence pour la lumière par rapport aux interactions souterraines (compétition pour l'eau et les éléments minéraux), les corrélations significatives mesurées entre la PLTT et le rendement du soya, ainsi que leur réponse similaire à l'effet de l'orientation, indiquent que la lumière est probablement le facteur limitant du SCI à l'étude. Cette conclusion est tout à fait en accord avec celle qu'ont tirée Reynolds et al. (2007) d'un SCI similaire à la présente étude, ainsi que Jurik et Van (2004) d'un système associant le soya au maïs et à l'avoine. Les résultats suggèrent qu'il est possible de contrôler les effets négatifs de la compétition pour la lumière si une attention particulière est portée à la sélection des espèces et des clones d'arbre, à l'écartement et à l'arrangement spatial des rangées d'arbres, ainsi qu'à certains traitements sylvicoles comme l'éclaircie et l'élagage.

Remerciements

Nous remercions André-Jean Lalanne, Benjamin Patarin, Antoine St-Pierre, Louis-Vincent Bérubé-Dufour et Nathan De Baets pour leur contribution sur le terrain et en laboratoire, ainsi que Alain Paquette pour ses conseils sur le traitement des photos hémisphériques et Stéphane Daigle pour sa contribution aux analyses statistiques. Ces travaux ont été rendus possibles grâce à la contribution financière du Fonds Québécois de la Recherche sur la Nature et les Technologies (FQRNT) et du Programme de mise en valeur des ressources du milieu forestier du ministère des Ressources naturelles et de la Faune (volet II). Nous remercions sincèrement Dany Verteneuil, propriétaire du terrain où le site expérimental a été établi, de même que Jean-Guy Lamoureux et Alain Lazure pour la réalisation des divers travaux agricoles.

Chapitre II – Approche de reconstruction forestière

Les 5 plantations abordées dans ce chapitre ont toutes été installées sur paillis de plastique en dispositif expérimental à blocs complets.

Durant la saison 2006, nous avons ajusté les densités de peupliers des 5 différents sites qui composent ce volet du projet. Les sites expérimentaux ont été plantés à l'origine à des espacements qui variaient de 1,5m à 3m sur le rang (et 6m à 7m entre les rangs). Ces hautes densités sur le rang étaient justifiées par la volonté de disposer de nombreux plants au démarrage, de manière à valider la survie et la croissance initiale à partir de grands effectifs, ce qui renforce les analyses statistiques. Les éclaircies pratiquées en 2006 ont impliqué le retrait d'arbres de 3m à 6m de hauteur (encore facile à faire) afin d'obtenir un espacement de plus ou moins 6m sur le rang, en référence aux systèmes populicoles intensifs européens.

Également, une taille de formation et d'élagage (quand nécessaire) des peupliers et feuillus des 5 sites a été complétée afin qu'ils deviennent des dispositifs de démonstration exemplaires à ce chapitre. De plus, le hersage a été pratiqué sur l'ensemble des parcelles. La pratique du hersage sur certains sols à plus forte pierrosité demandait d'ailleurs de procéder au ramassage des plus grosses pierres mises en surface et limitant les prochains passages.

Enfin, des mesures de survie, de croissance (hauteur, diamètre), marque d'abroutissement ou de frottis par le chevreuil et de qualité des plants (selon rectitude, flexuosité) ont été complétées sur les cinq dispositifs.

A- Dispositif Caillé-Latreille

Méthodologie

Un dispositif comprenant deux sites et intégrant une double production de PEH et de feuillus nobles ont été mis en place au printemps 2002 (Annexe 2 & Annexe 3) afin de représenter des conditions de sols marginales pour la grande agriculture contemporaine. Les rangs d'arbres sont espacés de 7m, 14 m entre les peupliers intercalés de feuillus nobles. Les deux sites sont situés sur des dépôts pierreux. Le site Caillé, d'origine glaciaire et situé dans la municipalité de Godmanchester, est moyennement pierreux, alors que le site Latreille, d'origine littorale et situé à Saint-Anicet, est très pierreux. Leurs deux sols sont situés sur des roches alcalines dolomitiques. Le glaciaire présente en surface un loam contenant une proportion élevée de sable alors que le littoral est constitué d'un loam limoneux plus lourd mais à plus forte proportion de pierres (Tableau 9). 6 tubes d'accès (3 par site) ont été posés en 2006 afin de mesurer les fluctuations de la

nappe phréatique. Les deux sites présentent des niveaux de nappes généralement bas se situant à plus de 1 m de profondeur. La recharge d'automne montre également un niveau de nappe relativement profond (Tableau 10). La culture de peupliers en absence de nappe phréatique permanente accessible demeure plus incertaine.

Tableau 9- Granulométrie des sols des deux sites. Les valeurs accompagnées des lettres a ou b sont significativement différentes à $p<0.05$. Un échantillon par sol par bloc et par rang de PEH a été prélevé à 15cm de profondeur pour un total de 54 au site glaciaire et 35 sur le littoral.

Site	dépôt	%Argile	%Limon	%Sable	Type de sol
Caillé 1 ha	Glaciaire	23.5 a	31.4 a	45.1 a	Loam
Latreille 1.7 ha	Littoral	28.4 b	52.3 b	19.3 b	Loam limoneux

Tableau 10- Profondeur de la nappe phréatique pour les dispositifs Caillé et Latreille.

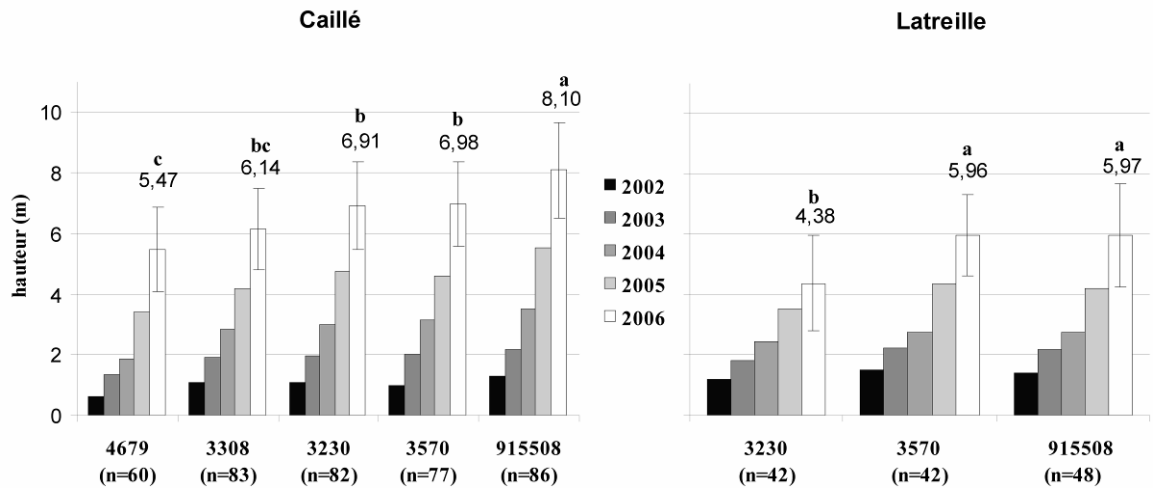
		Juillet 2006 (cm)	Octobre 2006 (cm)
Caillé	Bas de pente	≥93	≥94
	Milieu de pente	≥88	40
	Haut de pente	≥94.5	≥94
Latreille	Bas de pente	77	45
	Milieu de pente	≥158	≥165
	Haut de pente	≥81	≥167

Les cultivars de peupliers plantés sont les 3230, 3308, 3570, 4118, 4679 et 915508 (Tableau 2). À noter qu'un de ces clones (4118) n'est pas à proprement parler un hybride, puisqu'il s'agit d'un clone issu de croisements dirigés de populations locales de peuplier deltoïde. De même le 4679 est issus d'un parent particulièrement performant et identifié dans la nature. Il est de descendance deltoïde mais probablement croisé avec des sujets de *P. nigra* ou *deltoides x nigra* présents depuis longtemps en Amérique du Nord (source, Pierre Périnet, MRN). Nous avons intégré ces derniers dans le but de tester aussi des clones de provenance locale à faible niveau d'hybridation. Des boutures de peupliers de 20cm ont été utilisées comme matériel de départ pour les plantations.

La comparaison de productivité entre les clones et entre les espèces de feuillus, ainsi que l'étendue de la variabilité de croissance de chacun des clones furent analysées pour chacun des deux sites. Des comparaisons entre les sites sont présentées. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA), avec un seuil significatif fixé à $p<0,05$, suivies du test de comparaison multiple des moyennes de Tukey. Les valeurs ont été transformées en rang afin de garantir la normalité.

Résultats et discussion

L'intérêt de ce dispositif réside dans son potentiel à comparer l'influence du type de dépôt (glaciaire ou littoral) sur la croissance des peupliers. Les croissances moyennes sont largement supérieures sur sol loameux (Caillé) pour tous les cultivars (FiFigure 6). Le 915508 a particulièrement bien performé en 2006, accentuant son écart avec les autres ($p<0.05$) sur Caillé. Effectivement, il a produit des hauteurs dépassant de plus d'1m les autres cultivars : le 915508 a atteint une hauteur moyenne de 8,10m, suivi par le 3570 (6,98m), le 3230 (6,91m), le 3308 (6,14m) et le 4679 (5,47m). De plus, le 3230 poursuit sa moins bonne performance initiée en 2005 sur le site littoral Latreille.



	Caillé		Latreille	
	DHP 2006 (cm)	Accroissement en circonférence (cm) 2006	DHP 2006 (cm)	Accroissement en circonférence (cm) 2006
4679	4.3 **a**	6.2	-	-
3308	5.7 **ab**	7.6	-	-
3230	7.3 **cd**	10.2	4.2 **a**	4.6
3570	6.5 **bc**	9.2	5.4 **b**	6.0
915508	8.1 **d**	11.4	5.2 **ab**	6.5

Figure 6- Hauteurs, diamètres et circonférences moyens des cultivars de peupliers sur les dépôts glaciaires (Caillé) et littoraux (Latreille). Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs. De plus, le cultivar 4118 (Latreille) présentait trop de croissances négatives pour être inclus dans les résultats.

Tableau 11- Hauteurs moyennes (H) des plants de bouleau blanc, frêne de Pennsylvanie, cerisier tardif, chêne à gros fruits et de noyer noir sur un sol d'origine glaciaire (Caillé) vs littoral (Latreille), de 2002 à 2006 (les informations pour l'année 2003 ne sont pas disponibles). Les lettres à côté des valeurs de hauteur indiquent des différences significatives à p<0,05. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

	H initiale (cm)	H 2002 (cm)	H 2004 (cm)	H 2005 (cm)	H 2006 (cm)
Caillé					
Bouleau blanc	64,47	93,44	187,47	278,80	388,33 a
Cerisier tardif	35,38	73,15	141,18	194,48	297,73 b
Chêne à gros fruits	47,56	53,72	78,28	119,91	176,17 c
Frêne de Pennsylvanie	67,98	104,82	196,59	255,20	331,47 ab
Noyer noir	29,67	35,71	70,72	108,63	167,94 c
Latreille					
Chêne à gros fruits	54,61	56,52	80,00	106,00	157,14
Noyer noir	27,59	34,51	77,36	101,93	146,95

Sur dépôt glaciaire (Caillé), les bouleau blanc et frêne de Pennsylvanie ont encore cette année montré les meilleures croissances (3,88m et 3,31m en hauteur respectivement) (Figure 9). De plus, le cerisier tardif semble rattraper le frêne de Pennsylvanie. En effet, contrairement à l'an dernier, ces deux espèces ne sont plus significativement différentes en hauteur (p>0.05). Enfin, bien que les chênes rouges et noyers noirs soient moins productifs que les autres - ils sont statistiquement moins hauts que les autres espèces, p<0.05 – ils ont produit en 2006 de bonnes croissances sur le dispositif Caillé, mais de moins bonnes croissances sur le site Latreille.

B- Dispositif Thibodeau

Méthodologie

Un ancien marécage est aujourd'hui restreint à une petite superficie de 4-5 hectares entourée de cultures de maïs établies sur des sols dont on a retiré l'horizon organique (terre noire). Le site de plantation de peupliers occupe 2 ha sur d'anciens champs, ouverts par le passé suite au drainage et qui possèdent toujours un horizon organique d'une épaisseur de 50 cm au maximum et qui recouvre un argile (Tableau 12). Le drainage y est d'imparfait à mauvais. Un fossé de drainage borde l'ensemble des parcelles. Quelques arbres (peupliers, ormes) occupaient le site et l'examen des cernes de croissance révélait une forte productivité.

Tableau 12- Granulométrie de la partie minérale du sol de Thibodeau.

dépôt	pH	%Argile	%Limon	%Sable	C.E.C. (mEq/100g)	Type de sol
Marin	7.0	52	30	17	27.5	argileux

Préparation de sol (abattage de quelques arbres, déchiqueteur rotatif FECON Bullhog® automne 2002, rotoculture superficielle et hersage printanier 2003 sur les rangs), paillage plastique en bande de 2 m de largeur, protection contre les rongeurs et brouteurs, plantation, mesures de croissance, ont été appliqués (fauchage en 2003 et entretien par hersage du sol en 2004, 2005, 2006). Des plants ont reçu une taille de formation lorsque nécessaire en juillet 2004 et 2005 et un premier élagage des peupliers eut cours en 2005. Cinq différents cultivars de PEH sont présents sur chaque site et sont intégrés dans un dispositif expérimental à trois blocs aléatoires complets.

Les cultivars de PEH sont les mêmes que ceux du dispositif de la prochaine section (Leblanc-McCormick) soit, 3230, 3570, 3729, 915311, 915508 (Tableau 2), mais ici, des plants ont été utilisés (plutôt que des boutures). Cette fois, les rangs de PEH alternent avec des rangs composés d'une alternance de PEH et de feuillus sur le rang (Annexe 4). Il y a 7 m d'espacement entre les rangs et 3,5m sur le rang. L'espacement sur les rangs composés uniquement de PEH a été ramené à 7m par le retrait d'un arbre sur deux au printemps de 2006.

Les feuillus nobles représentés sont les frênes rouge et d'Amérique avec le chêne à gros fruits. Un secteur du site avec les mêmes cultivars, soit 3230, 3570, 3729, 915311, 915508, auxquels nous avons ajouté le 3308 met à l'essai l'utilisation de plançons. Le dispositif est cependant moins formel, un cultivar occupe chacun des six rangs du dispositif avec 28 à 29 plançons par rang. Les plants de peupliers ont été plantés de façon à ce que le système racinaire touche l'argile (recouvert de 50 cm de tourbe). Une tarière motorisée était utilisée pour faciliter l'enlèvement temporaire de la tourbe qui servait à

refermer la fosse de plantation. Les plants de feuillus étaient plantés à une profondeur habituelle (au niveau du collet des racines).

Un mini essai de plantation par plançons a été installé sur le site. Les plançons de peupliers, qui variaient en longueur de 2,3 m à 3 m selon le cultivar, étaient insérés à 80 cm de profondeur dans l'argile après qu'une ouverture eut été pratiquée à l'aide d'une tige métallique d'un diamètre légèrement inférieur aux plançons. Cette technique doit être améliorée dans de prochains essais par le forage d'une ouverture plus importante (pouvant varier de 20cm à 60 cm de diamètre).

La comparaison de productivité entre les clones et entre les feuillus, ainsi que l'étendue de la variabilité de croissance de chacun des clones furent analysées. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA), avec un seuil significatif fixé à $p<0,05$, suivies du test de comparaison multiple des moyennes de Tukey. Les valeurs ont été transformées en rang afin de garantir la normalité.

Résultats et discussion

1- Plants

Le cultivar 3570 a produit la plus forte croissance, et dépasse maintenant en moyenne le 3729, bien que cette différence ne soit pas statistiquement significative (Figure 7). De tous les peupliers testés ici, il reste que le 915508 et le 3570 sont les plus productifs, avec des hauteurs moyennes respectives de 8,40 et 8,24 m après 4 années de croissance. Ils ne sont cependant pas statistiquement différents des 3729 (7,87m) et 915311 (7,44m). Pour ce qui est des diamètres, le 3570 (9.7 cm) présente des résultats moyens inférieurs au 915508 (10.7 cm), 915311 (10.7 cm) et 3729 (10.4cm), bien que non statistiquement différents.

Le 3230 apparaît être le moins bien adapté en phase d'établissement aux conditions de croissance apportées notamment par un sol lourd. Suivant une tendance similaire aux années précédentes, ses hauteur et diamètre moyens sont largement inférieurs à tous les autres cultivars (Figure 7; Tableau 13). Cependant, sa croissance moyenne en 2006 a été bonne, dépassant les 915311 et 3729. Il est donc possible qu'il se soit maintenant affranchi des premières années difficiles d'établissement.

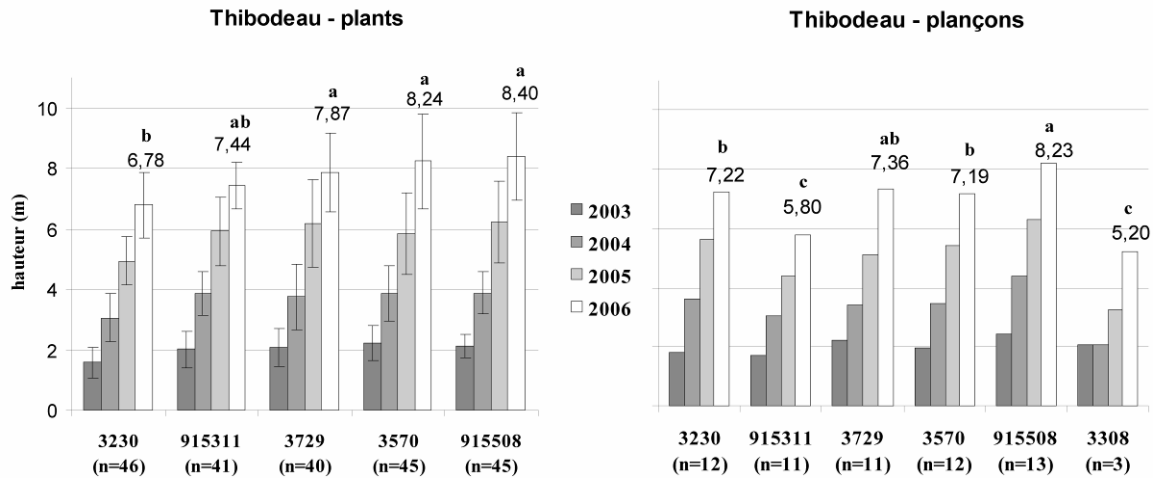


Figure 7- Hauteurs moyennes des plants et plançons de peupliers sur le dispositif Thibodeau. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs. Plants : 915508a, 3570a, 3729a, 915311ab, 3230b. Plançons: 915508a, 3729ab, 3230b, 3570b, 915311c, 3308c.

Malgré une hauteur moyenne plus faible de moins d'un mètre en comparaison avec le 915508, le 915311 a produit des diamètres presque identiques (Tableau 13).

Au niveau de la rectitude (Tableau 13), les deux clones ayant les hauteurs moyennes les plus élevées (915508 et 3570) présentent également les tiges les plus droites ($p<0.05$).

Tableau 13- Diamètres et rectitude de tige des plants et plançons de peupliers sur le dispositif Thibodeau selon trois classes de rectitude de tige, allant de la cote 1 (très droit) à la cote 3 (déviation). Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à p<0.05.

	Plants		**Plançons**	
	DHP 2006 (cm)	**Cote 2006**	**DHP 2006 (cm)**	**Cote 2006**
3230	8.2 a	2.4 a	9.7 ab	2.58
915311	10.7 b	2.8 a	7.5 c	2.82
3729	10.4 b	2.7 a	9.5 ab	2.18
3570	9.7 ab	1.8 b	8.7 bc	2.67
915508	10.8 b	1.8 b	11.1 a	2.23
3308	-	-	5.5 d	2.33

2- Plançons

Les croissances des plançons se sont révélées beaucoup plus variables entre les clones. Les effectifs analysés sont faibles, ce qui minimise la généralisation des résultats obtenus.

Le 915508 s'est révélé le plus productif avec une hauteur moyenne de 8,23m et un DHP de 11.1 cm, devançant largement, quoique non statistiquement, le 3729 ayant une hauteur de 7,36m (Figure 7) et un DHP de 9.5 cm (Tableau 13). Ensuite, les 3230 et 3570 présentent des hauteurs moyennes de 7,22 et 7,19m.

Enfin, il semble que les 915311 et 3308 répondent très mal à la méthode des plançons, et ont des hauteurs statistiquement inférieures aux autres clones (p<0,05) de 5,80 et 5,20m respectivement. Cependant, tel que mentionné précédemment, cette technique doit être améliorée dans de prochains essais par le forage d'une ouverture plus importante (pouvant varier de 20cm à 60 cm de diamètre).

Tableau 14- Succès d'établissement à la fin de 2006 et hauteur (H) des plants de frêne de Pennsylvanie, frêne d'Amérique et de chêne à gros fruits sur sol lourd au mauvais drainage, pour 2003, 2005 et 2006 (les données pour 2004 ne sont pas disponibles). Les lettres à côté des valeurs de hauteur indiquent des différences significatives à p<0,05. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

	H 2003 (cm)	H 2005 (cm)	H 2006 (cm)	%Survie
Chêne à gros fruits	74.31	133.25	188.61 a	96.61
Frêne d'Amérique	71.05	137.70	189.05 a	96.55
Frêne de Pennsylvanie	107.63	179.90	236.86 b	100.00

Le taux de survie des feuillus plantés sur le dispositif Thibodeau sont presque parfaits, soit >96,5% pour toutes les espèces (Tableau 14). Le frêne de Pennsylvanie continue à se démarquer des frênes américains et chênes à gros fruits (p<0,05).

C- Dispositif Leblanc-McCormick

Méthodologie

Ce dispositif permet d'analyser la croissance de cinq cultivars de peupliers hybrides en fonction de conditions de sol différenciées. Deux sites ont été choisis dans le territoire pilote de la MRC du Haut-Saint-Laurent: un sur dépôt gréseux (pH =5.7) et un sur dépôt dolomitique pH = 7.5). La sélection des deux sites a été minutieusement réalisée de façon à retenir ceux présentant des dépôts d'origine glaciaire, un historique d'utilisation du sol semblable ainsi qu'un climat (précipitations de 1102 mm dont 877 mm en pluie) et une topographie (en position mi-versant, pente de 2 % sur chaque site, 50 m du sommet, orientation nord) identiques. Le drainage sur les deux sites varie de modéré à imparfait. La profondeur de la nappe phréatique, mesurée en juillet 2006 (en six points sur chaque site de plantation), est de moins d'1 m pour les deux sites, une condition qui assure un apport hydrique constant. Ainsi, nous cherchons à restreindre les différences entre les sites aux seules composantes minéralogiques et chimiques du sol. Les conditions édaphiques initiales qui distinguent les deux sites sont illustrées au Tableau 15. Alors que les caractères granulométriques sont quasi-identiques, le pH dans l'eau et la saturation en bases permettent, entre autres, de distinguer nettement les deux sites.

Tableau 15- Propriétés chimiques et granulométriques moyennes des horizons Ap (10-30cm) des deux sites expérimentaux (n=30).

Site		Argile %	Limon %	Sable %	Type de sol	pH	SB %	C.E.C. mEq/100g
Leblanc	2.0 ha	14.6	26.4	59.0	loam sableux	7.5	16.5	19
McCormick	0.9 ha	13.3	32.7	54.0	loam sableux	5.7	67.5	17

Préparation de sol (labour superficiel et hersage printanier sur les rangs), paillage plastique en bande de 2 m de largeur, collerette, protection contre les rongeurs (spirales) et brouteurs (Deer Away©), plantation, fauchage, mesures de croissance, ont été appliqués en 2003 (hersage en 2004). Les différents cultivars sont présents sur chaque site (Tableau 2), intégrés dans un dispositif expérimental à trois blocs aléatoires complets (Annexe 5). Chaque bloc comprend cinq rangs de peupliers, chacun occupé par un des cultivars à l'essai.

La plantation par boutures a été choisie. Ainsi, toute la biomasse produite au cours des premières années du projet sera principalement liée à la qualité nutritive des sites. Les arbres de chaque rang sont au nombre de 30 et sont espacés de 1,5 m sur le rang de manière à élever l'effectif de départ (Annexe 5). Les rangs de PEH alternent avec des rangs de feuillus nobles. Ceux ci sont représentés par le frêne d'Amérique, le chêne rouge, le noyer noir et le noyer hybride (Mj209). Ils sont distribués selon une séquence de trois plants de la même espèce alternant avec une prochaine séquence de plants, l'ordre des espèces étant attribué au hasard sur le rang. L'espacement est de six mètres entre les rangs. Il y a donc douze mètres entre deux rangs de peupliers, ce qui exclut l'interaction entre deux cultivars. La croissance plus lente des feuillus permet également d'exclure les interactions possibles entre les feuillus et les peupliers, tous deux espacés de six mètres. Le dispositif représente une grande valeur pour de futures études concernant les

possibilités de cultures intercalaires avec d'autres feuillus, une approche qui suscite beaucoup d'intérêt actuellement chez plusieurs intervenants.

Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA), avec un seuil significatif fixé à $p<0,05$, suivies du test de comparaison multiple des moyennes de Tukey. Les valeurs ont été transformées en rang afin de garantir la normalité.

Résultats et discussion

1- Leblanc

Tous les clones sauf le 3230 (5,10m) ont des hauteurs statistiquement semblables (Figure 8), quoique le 3729 ait la plus forte hauteur moyenne (6,95m après 4 années de croissance), suivi de près par les 3570 (6,67m) et 915508 (6,69m). Le 915311 présente une hauteur moyenne de près de 1m de moins que ceux-ci (5,87m).

Le 3230 présente également la plus faible croissance radiale (Tableau 16), bien que son diamètre moyen (5.0cm) ne soit pas statistiquement différent des 915311 (5.8cm) et 915508 (6.3cm).

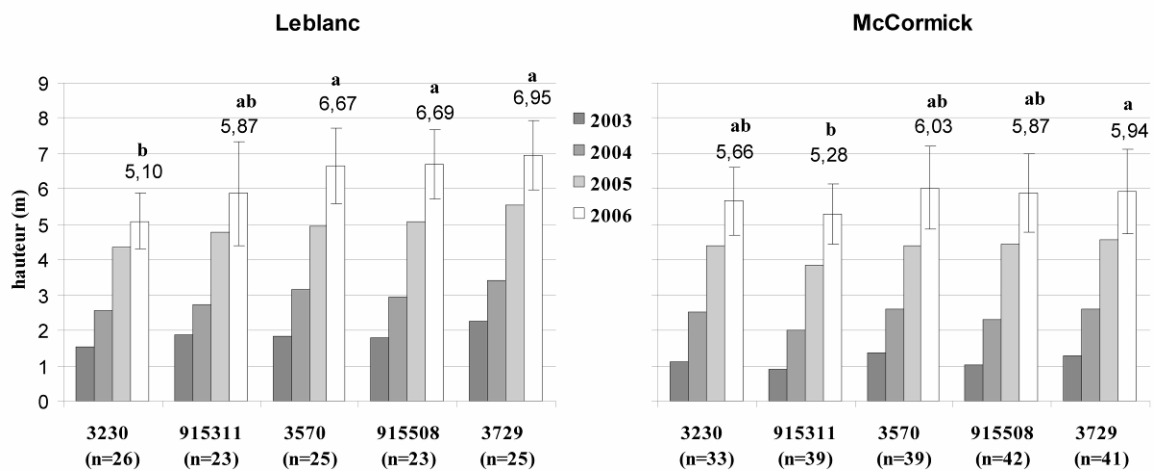


Figure 8- Hauteurs moyennes des cultivars de peupliers sur les dispositifs Leblanc et McCormick. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

2- McCormick

Sur le dispositif McCormick, le clone 3230 performe mieux en termes absolus de hauteur (5,66m contre 5,10m) et de diamètre (5.1cm contre 5.0cm). Également, le 3230 dépasse le 915311 en hauteur moyenne (5,28m) et n'est pas statistiquement différent des 3570 (6,03m), 915508 (5,87m) et 3729 (5,94m).

À l'opposé, le 915311 favorise la croissance radiale puisqu'il présente la plus faible hauteur moyenne mais le plus fort diamètre (6.3cm). Son diamètre n'est cependant pas statistiquement différent des autres clones sauf pour ce qui est du 3230. Ce dernier semble d'ailleurs avoir connu une mauvaise saison de croissance. Il sera à surveiller en 2007.

Tableau 16- Diamètres (DHP) et accroissements en circonférence moyens des cultivars de peupliers sur les dispositifs Leblanc et McCormick. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à p<0.05. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

	Leblanc		**McCormick**	
	DHP 2006 (cm)	Accroissement en circonférence (cm) 2006	DHP 2006 (cm)	Accroissement en circonférence (cm) 2006
3230	5.0 a	4.9	5.1	8.2
915311	5.8 ab	6.8	6.3	7.0
3570	6.6 b	7.3	5.9	7.0
915508	6.3 ab	6.8	5.7	8.6
3729	6.4 b	6.2	5.7	7.3

Tableau 17- Succès d'établissement à la fin de 2006 et hauteur (H) des plants sur les sites acide (McCormick) et alcalin (Leblanc), de 2003 à 2006. Les lettres à côté des valeurs de hauteur indiquent des différences significatives à p<0,05. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Leblanc	H 2003 (cm)	H 2004 (cm)	H 2005 (cm)	H 2006 (cm)	%Survie
Chêne à gros fruits	85.38	91.80	90.69	124.46 a	96.43
Frêne d'Amérique	66.37	92.04	124.19	180.17 b	92.61
Noyer hybride mj209	106.83	89.38	126.40	163.73*	90.91
Noyer noir	55.57	77.95	96.41	150.37 ab	86.11
McCormick					
Chêne rouge	90.92	96.39	125.53	186.06 a	91.67
Frêne d'Amérique	60.96	100.13	135.80	198.99 a	96.49
Noyer hybride mj209	97.88	89.31	128.64	167.15*	81.33
Noyer noir	46.08	59.64	84.87	133.97 b	74.36

* Le noyer hybride n'est pas inclus dans les analyses parce qu'il montre une trop grande proportion de gélivures. Les données seront analysées ultérieurement.

Chapitre III – Approche classique sur friche agricole

Dispositifs Havelock et St-Dominique

Méthodologie

Récemment initiés, ces deux sites de plantations expérimentales occupent deux friches herbacées issues de dépôts très différents, quoi que les deux sites présentent des pH oscillant autour de 6,0. Le sol de Havelock, de 1,4 ha, varie de loam sableux à sable loameux, alors que celui de St-Dominique, de 1,2 ha, est plutôt argileux, avec aux extrémités un sol plus loameux (Tableau 18). Ces textures se reflètent sur les drainages des deux sites, imparfait à mauvais chez St-Dominique et bon chez Havelock.

Tableau 18- Propriétés chimiques et granulométriques moyennes des horizons Ap (10-30cm) des deux sites expérimentaux (n=8).

Site		Argile %	Limon %	Sable %	Type de sol	pH	C.E.C. mEq/100g
Havelock	1.4 ha	13.7	3.8	82.5	Loam sableux	6.0	10
St-Dominique	1.2 ha	33.8	19.4	46.8	Loam argileux	6.0	29

Les dispositifs ont été initiés en 2005. La préparation de sol pour St-Dominique s'est faite à l'aide d'un rotoculteur, puis la mise en terre des clones 3587, 3729, 915311 et 915508 (Tableau 2) a été effectuée à une densité de 833 plants/ha, soit 3m X 4m. Deux passages de herse en croisé durant la saison de croissance ont complété l'entretien du site.

Supportant une faible biomasse de plantes herbacées, la préparation de terrain pour Havelock a été effectuée par le propriétaire à l'aide d'une pelle mécanique par la création de fosses de plantation bien ameublies, favorables à la croissance des plants. Les clones de PEH 3570, 3729, 3333, 3585 ont été mis en terre à raison de 800 plants/ha, soit un espacement de 2,5 x 5m entre les rangs (Tableau 2).

Six tubes d'accès (trois par site) ont été posés en 2006 afin de mesurer les fluctuations de la nappe phréatique. Les tiges d'avenir ont été numérotées, représentant 25% des plants sur le site argileux (St-Dominique, 1 rang sur deux, un plant sur deux) et 33% sur le site sableux (Havelock, un plant sur trois sur chaque rang)[2]. En plus des étiquettes numérotées, des protecteurs antirongeurs ont été posés sur les plants numérotés. Deux applications de Deer Away ont été complétées au printemps et à l'automne 2006. Également, un traitement à l'herbicide (glyphosate) sur le dispositif Havelock, effectué par le propriétaire, a permis de limiter la compétition herbacée sur ce site alors qu'à St-Dominique, la rotoculture a été pratiquée près des plants (un peu tardivement dans la saison). Une taille de formation a été appliquée sur les plants désignés sur les deux sites.

[2] La densité de 2.5m X 5m pour le Havelock et de 3m X 4m pour le St-Dominique, pourrait permettre d'envisager des espacements finaux de 5m X 7,5m au premier et de 8m X 6m au second.

Des mesures de survie, de croissance (hauteur, diamètre au sol et à hauteur de poitrine), et de qualité des plants (marques d'abroutissement ou de frottis par le chevreuil, rectitude) ont été complétées et serviront à analyser l'évolution des dispositifs dans le temps.

La comparaison de productivité entre les clones ainsi que l'étendue de la variabilité de croissance de chacun des clones furent analysées pour chacun des deux sites. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA), avec un seuil significatif fixé à $p<0,05$, suivies du test de comparaison multiple des moyennes de Tukey. Les valeurs ont été transformées en rang afin de garantir la normalité.

Résultats et discussion

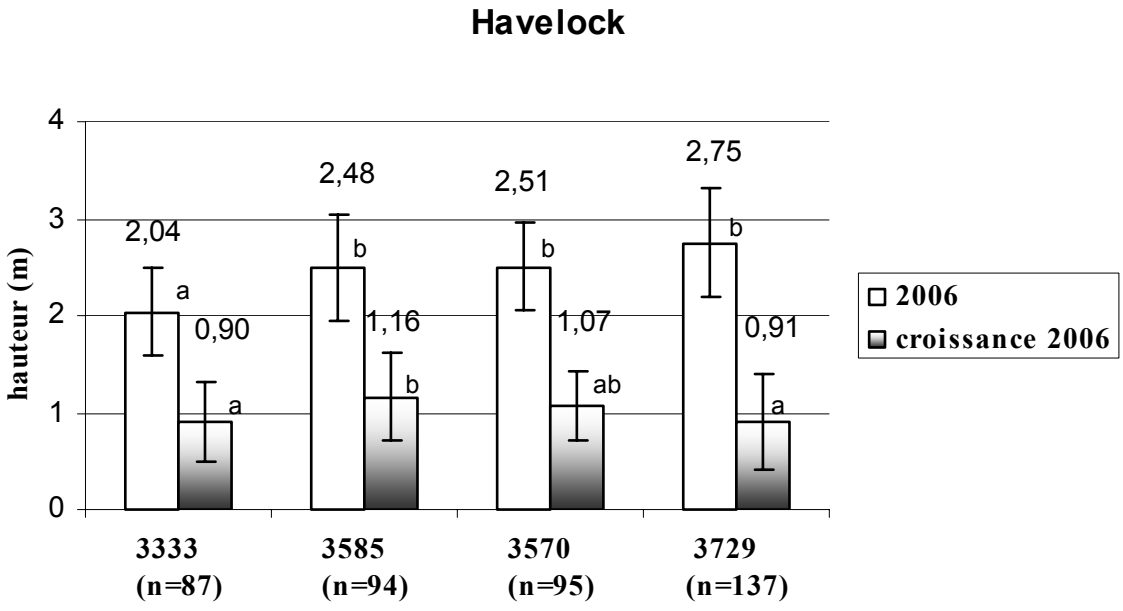
Havelock

Les données recueillies sur la hauteur des nappes phréatiques montrent des fluctuations hydriques suffisantes pour assurer la saturation du sol en eau durant la saison de croissance (Tableau 19). Également, les hauteurs de nappe en période d'étiage sont suffisantes (40-70cm environ).

Tableau 19- Hauteur de la nappe phréatique sur le dispositif Havelock.

	Juillet 2006 (cm)	Octobre 2006 (cm)
Tube 1	41	2
Tube 2	48	6
Tube 3	68	15

Le 3729 a atteint le plus forte hauteur moyenne en 2006, à 2,75m, suivi de près par le 3570 (2,51m) et le 3585 (2,48m) (Figure 9). Ces trois cultivars sont d'ailleurs statistiquement semblables. Le 3333 se démarque en étant statistiquement moins haut que ses semblables (2,04m; $p<0,05$). Cependant, il faudra surveiller à l'avenir le 3585, qui a produit la plus forte croissance verticale en 2006 (1,16m), dépassant le 3729 ainsi que le 3333 ($p<0,05$). Le 3570 présente également une bonne croissance en 2006 de 1,07m.



	DHP 2006 (cm)	DHS 2006 (cm)
3333	0.9 c	2.7 b
3585	1.2 bc	2.8 b

3570	1.3 b	3.1 ab
3729	1.7 a	3.3 a

Figure 9- Hauteurs, croissances et diamètres moyens des cultivars de peupliers sur le dispositif Havelock. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Le 3729 produit de bons volumes, présentant un DHP moyen de 1,7cm, statistiquement supérieur à tous les autres cultivars (Figure 9). Les écarts de DHP sont d'ailleurs importants : le 3729 a produit un DHP de près du double de celui du 3333 (0,9cm). Le 3729 est suivi par le 3570 (1,3cm) et le 3585 (1,2cm). En regard des DHS (diamètre hauteur du sol) par contre, le 3729 n'est pas statistiquement différent du 3570. Les valeurs moyennes de DHS présentent en général moins de variation. Cela pourrait suggérer un problème lié à la présence de branches fortes, notamment pour le 3333 son DHS n'est pas bien corrélé à son DHP qui est relativement faible. Justement, le 3333 présente les tiges les moins droites de l'ensemble des cultivars (voir Tableau 21).

St-Dominique

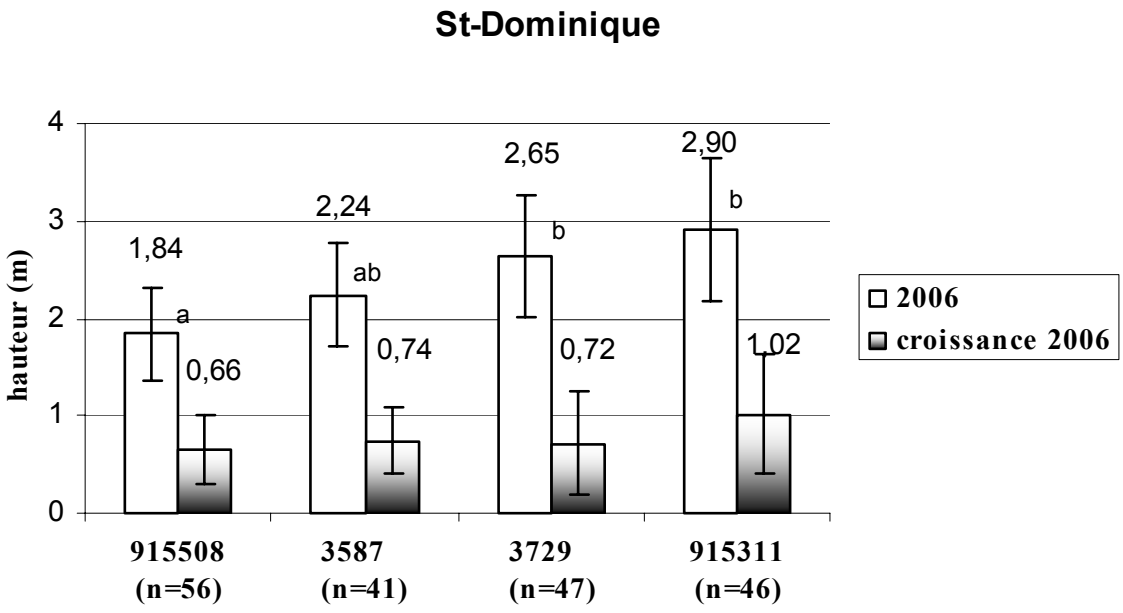
Le niveau de la nappe phréatique du dispositif St-Dominique mesuré en période d'étiage (Tableau 20) était perceptible à près de 1m de profondeur dans deux des trois tubes, ce qui augure bien pour la disponibilité en eau du site durant la période de croissance des plants. Les mesures automnales montrent également une bonnne recharge de la nappe en saison froide.

Tableau 20- Hauteur de la nappe phréatique sur le dispositif St-Dominique

	Juillet 2006 (cm)	Octobre 2006 (cm)
Tube 1	≥112.5	106
Tube 2	99	68
Tube 3	94.5	59

Le 3729 s'est révélé également très productif sur le dispositif St-Dominique (Figure 10). Cependant, le 915311 présente la plus forte hauteur moyenne (2,90m), quoique pas statistiquement différentes des 3729 et 3587. Le 915311 est suivi par le 3729 (2,65m), le 3587 (2,24m) et enfin le 915508 (1,84m). Le 915508 est d'ailleurs statistiquement inférieur aux 915311 et 3729, autant en hauteur qu'en diamètre.

Les croissances annuelles ne sont pas statistiquement différentes entre cultivars, mais le 915311 a produit les plus fortes croissances verticales moyennes en 2006 (1,02m), et le 915508 les plus faibles (0,66m) (Figure 10).



	DHP 2006 (cm)	DHS 2006 (cm)
915508	0.7 b	2.0 b
3587	1.1 b	2.6 ab
3729	1.6 a	3.1 a
915311	1.9 a	3.8 a

Figure 10- Hauteurs, croissances et diamètres moyens des cultivars de peupliers sur le dispositif St-Dominique. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Au niveau de la forme de la tige, les 3587 présentent une proportion de tiges très droite (cote 1) inférieure aux autres cultivars (Tableau 21). De plus, il faudra surveiller le 915311, qui est le plus productif mais aussi présentant beaucoup de tiges à forte déviation (cote 3 : 10,87%). Cela est confirmé par les coefficients de variation élevés associés à sa hauteur et sa croissance moyenne.

Tableau 21- Distribution des plants des dispositifs Havelock et St-Dominique selon trois classes de rectitude de tige, allant de la cote 1 (très droit) à la cote 3 (déviation).

Havelock	% Cote 1	% Cote 2	% Cote 3	**St-Dominique**	% Cote 1	% Cote 2	% Cote 3
3333	29.89	49.43	20.69	**3587**	43.90	53.66	2.44
3570	40.00	47.37	12.63	**3729**	63.83	31.91	4.26
3585	37.23	48.94	13.83	**915311**	56.52	32.61	10.87
3729	39.42	51.09	9.49	**915508**	57.14	41.07	1.79

Il est difficile de comparer les deux sites, puisqu'un seul clone, le 3729, est commun aux deux. Il présente cependant des productivités moyennes très semblables sur les deux dispositifs, bien que le 915311 soit le plus productif. Il faut cependant considérer que les plus faibles croissances associées au site St-Dominique peuvent être expliquées par une

microtopographie de surface plus inégale, combinée à la fine texture des sols, favorise des zones à drainage mauvais. Par opposition, le site Havelock possède un sol plus pauvre par sa teneur en sable mais un bon drainage uniforme et un niveau de nappe phréatique d'été près de la surface..

Chapitre IV – Approche intensive après coupe forestière

Dispositifs Roxton Falls, Brigham et Ste-Christine

Méthodologie

Les dispositifs analysés ici ont été mis en place au printemps 2005. Il s'agit de trois anciennes terres forestières ayant été entièrement rasées, deux anciennes érablières rouges (Ste-Christine et Brigham) et une plantation de pins rouges et de pins sylvestres (Roxton Falls). Le site Ste-Christine est caractérisé par un sol loameux de drainage modéré au pH allant de 5,0 à 5,1 (Tableau 22). Le site Brigham est très semblable, alliant un loam au drainage modéré à des pH de 5,0 à 5,3. Il est cependant à noter que la portion Est du site est composée d'un loam limoneux argileux. Enfin, l'ancienne pinède Roxton Falls est un loam sableux à argileux au drainage modéré à imparfait, de pH 4,9 à 5,0.

Tableau 22- Propriétés chimiques et granulométriques moyennes des horizons Ap (10-30cm) des trois sites expérimentaux (n=8).

Site		Argile %	Limon %	Sable %	Type de sol	pH	C.E.C. mEq/100g
Roxton Falls	1.5 ha	17.0	8.6	74.5	Loam sableux	5.0	16
Brigham	6.4 ha*	26.3	45.2	28.5	Loam	5.2	13
Ste-Christine	1.5 ha	23.9	41.6	34.5	Loam	5.0	17

*Ce chiffre regroupe deux surfaces, une partie n'étant pas dans le dispositif.

Sur l'érablière Ste-Christine, le propriétaire a réalisé une coupe totale suivie d'un hersage forestier, alors que sur l'érablière de Brigham, le terrain avait subi auparavant une coupe de récupération et un déblaiement suite à un chablis, suivi par un nivelage du sol. Sur l'ancienne pinède de Roxton Falls, le terrain avait également subi au auparavant une coupe de récupération suite à un chablis, suivi d'un débroussaillement et déblaiement (déchiquetage), puis d'un hersage forestier.

Les mêmes clones ont été plantés sur les trois dispositifs, soit 3230, 3729, 4813, 915311 et 915508 (Tableau 2), selon la même densité de 800 tiges/ha selon un espacement de 5,0 x 2,5m, ce qui permettra des analyses fines de performance des clones intersites selon notamment l'historique du site. Chez Ste-Christine, un dégagement mécanique des plants fut nécessaire en 2006; la débroussailleuse fut utilisée étant donné que le terrain présentait beaucoup de débris de coupes et de roches empêchant l'utilisation de méthodes mécanisées. Alors que la compétition herbacée sur le site Roxton Falls était faible et n'a pas nécessité d'intervention, la technique du passage en surface d'une pelle chez Brigham a été choisie par son propriétaire pour réduire la densité d'herbacées.

Afin de limiter l'abroutissement par le chevreuil, deux applications de Deer Away ont été complétées au printemps et à l'automne 2006. Des tiges d'avenir ont été numérotées et étiquetées, représentant 33% des effectifs sur les trois sites (1 arbre sur trois). En plus des étiquettes numérotées, des protecteurs antirongeurs ont été posés sur les plants numérotés.

Une taille de formation a été appliquée sur les arbres désignés afin d'assurer la croissance d'une seule pousse annuelle sur les deux sites.

Des mesures de survie et de croissance (hauteur, diamètre au sol et à hauteur de poitrine), et de qualité des plants (marques d'abroutissement ou de frottis par le chevreuil, rectitude) ont été complétées et serviront à analyser l'évolution des dispositifs dans le temps. Également, l'intensité de la compétition végétale au sol a été évaluée (% de recouvrement total, recouvrement par groupe de fougère, *Rubus sp.*, herbacées et ligneux, composition floristique et hauteur moyenne de la compétition) sur les trois sites. Les mesures permettent de juger de l'impact de cette compétition sur la croissance des peupliers selon les différents clones. Également, trois échantillons de sol par site ont permis de préciser le potentiel de productivité de chaque dispositif.

La comparaison de productivité entre les clones, ainsi que l'étendue de la variabilité de croissance de chacun des clones sont présentées pour chaque site. Les analyses statistiques ont été effectuées à l'aide d'analyses de variance (ANOVA), avec un seuil significatif fixé à $p<0,05$, suivies du test de comparaison multiple des moyennes de Tukey. Les valeurs ont été transformées en rang afin de garantir la normalité. Des analyses multivariées en composantes principales ont été effectuées sur des données centrées-réduites transformées (Hellinger) de végétation herbacée afin de mesurer l'intensité de la compétition herbacée sur la croissance en 2006 des cultivars de peupliers. Également, des corrélations de Kendall ont été complétées sur les mêmes données afin de pondérer les relations individuelles entre les différents facteurs herbacés et la croissance des arbres.

Résultats et discussion

Roxton Falls

a. Productivité

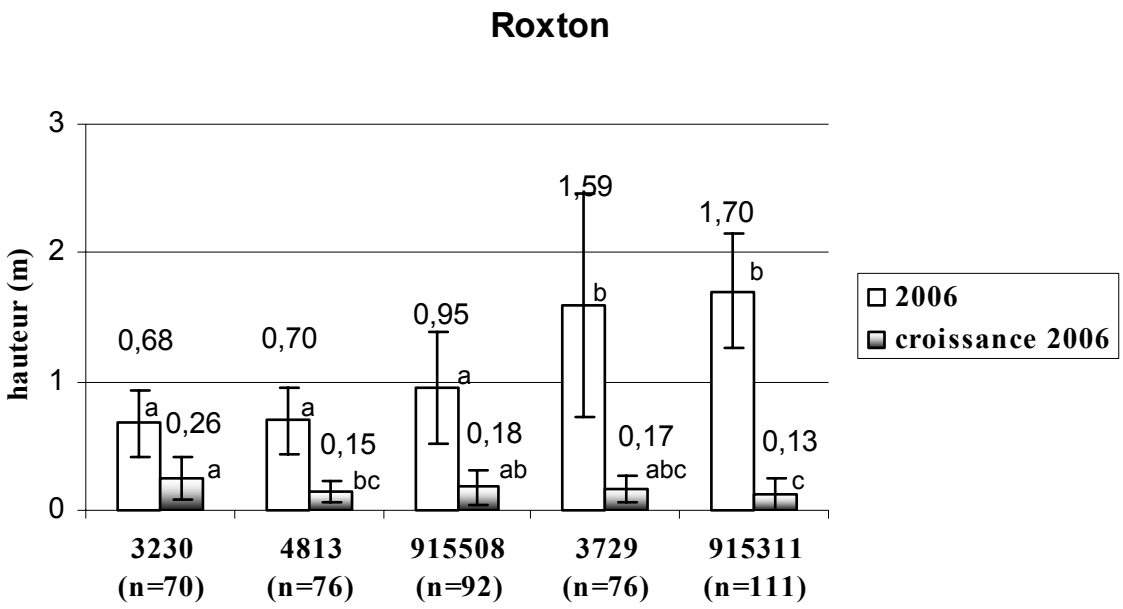
Les résultats obtenus sur le dispositif de Roxton Falls présentent une variabilité inter-clones très élevée et des productivités très faibles (Figure 11). Il semble que des problèmes de drainage soient à l'origine d'une réduction de la disponibilité des éléments nutritifs du sol. Également, une absence complète de suivi par le propriétaire (i.e. protection contre le chevreuil la première année 2005) et la forte présence de chevreuils (Tableau 23) qui s'ajoute au problème de drainage, font en sorte que le potentiel de productivité de cette plantation est fortement hypothéquée.

Tableau 23- Proportion des arbres de chaque clone ayant subi le broutage par le chevreuil sur la tige terminale ou au niveau des branches sur le site de Roxton.

	3230	**3729**	**4813**	**915311**	**915508**
Tige terminale	42,8	13,2	30,3	1,8	17,4
branches	5,7	2,6	1,3	5,4	3,3

Les cultivars 3230 et 4813 ont été davantage broutés que les autres clones (3729, 915311 et 915508) qui sont des hybrides issus de croisement avec les peupliers *P. maximowiczii* et *P. balsamifera*, déjà reconnus pour leur moins grande palatabilité par les chevreuils (Tableau 23).

Tout comme pour les dispositifs décrits au Chapitre III – Approche classique sur friche agricole, le 3729 et le 915311 ont le mieux performé et présentent les plus fortes hauteurs moyennes (respectivement 1,59m et 1,70m). Ils dépassent en hauteur les 3230 (0.68m), 4813 (0.70m) et 915508 (0.95m) ainsi qu'en diamètre ($p<0.05$).



	DHS 2006 (cm)
3230	1.3 b
4813	1.1 b
915508	1.4 b
3729	1.8 a
915311	1.9 a

Figure 11- Hauteurs, croissances et diamètres moyens des cultivars de peupliers sur le dispositif Roxton. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Cependant, c'est le 3230 qui, malgré sa plus faible hauteur moyenne, a produit la plus forte croissance annuelle moyenne en 2006 (0.26m), statistiquement supérieure aux 915311 (0.13m) et 4813 (0.15m). Cependant, les coefficients de variation sont très élevés, particulièrement pour le 3729. Jumelé à la relativement faible croissance mesurée sur le site en 2006, cela démontre des difficultés liées aux variations des conditions de drainage, à la faible disponibilité des éléments du sol et aux impacts du broutage.

b. Compétition herbacée

La compétition pour les ressources hydriques est considérée comme le principal facteur limitant l'établissement des arbres en communauté herbacée (Davis et al., 1998). Par contre, un phénomène de facilitation peut également découler de la présence d'une strate herbacée, soit par la réduction de l'intensité lumineuse et par conséquent du stress hydrique, soit, pour certaines herbacées, par la protection des plants de la prédation (Callaway and Walker, 1997).

Dans le contexte qui nous intéresse, il va de soi que la protection des plants de la prédation par la végétation périphérique est ineffective : les plants sont trop grands en regard de la hauteur de la strate herbacée. De plus, il s'agit d'un site où le surplus d'eau,

plutôt que sa limitation, risque de limiter la productivité des plants. Dans ce cas, la présence d'herbacées de milieux humides pourrait davantage témoigner de problèmes locaux de drainage. Par opposition, la présence d'autres espèces de champs bien drainés pourrait souligner une microtopographie favorable au plant.

Tableau 24- Corrélations de Kendall (Tau) entre la croissance terminale en 2006 et la strate herbacée sur le dispositif Roxton. Seules les corrélations significatives sont présentées.

	915311	4813	3729	3230	915508
Spiraea latifolia	-	-	0.43*	-	-
Graminées	0.42**	-0.45**	-	-	-
Jonc sp.	-0.38**	-	-	-	-

*Prob>|Tau b| < 0.1; ** Prob>|Tau b| < 0.05; ***Prob>|Tau b| < 0.01;

Seulement trois paramètres herbacés ont été significativement corrélés à la croissance terminale des peupliers (Tableau 24). Il s'agit de la spirée à larges feuilles (*Spiraea latifolia*), positivement associée à la croissance du 3729 (Tau=0,43; p<0.1), du groupe des Graminées, positivement associé à la croissance du 915311 (Tau=0,42; p<0.05) et négativement à la croissance du 4813 (Tau=-0,45; p<0.05) et du groupe des joncs (*Juncus* sp.), négativement associé à la présence du 915311 (Tau=-0,38; p<0.05) (Tableau 24).

La spirée à larges feuilles est typique des friches ouvertes ainsi que des rivages humides. Sa présence pourrait témoigner d'un sol local humide tout autant que d'un bon drainage. Dans le cas des graminées, une famille contenant une cinquantaine de genres au Québec dont les espèces se retrouvent autant en milieu humide que sec, il est difficile de tirer des généralités. Les *Juncus* par contre sont surtout marécageux et témoignent de mauvaises conditions de drainage, ce qui explique leur corrélation négative avec la croissance du 915311. On retrouve également sur les diagrammes d'ordination (Figure 12) cette corrélation négative, quel que soit le clone analysé.

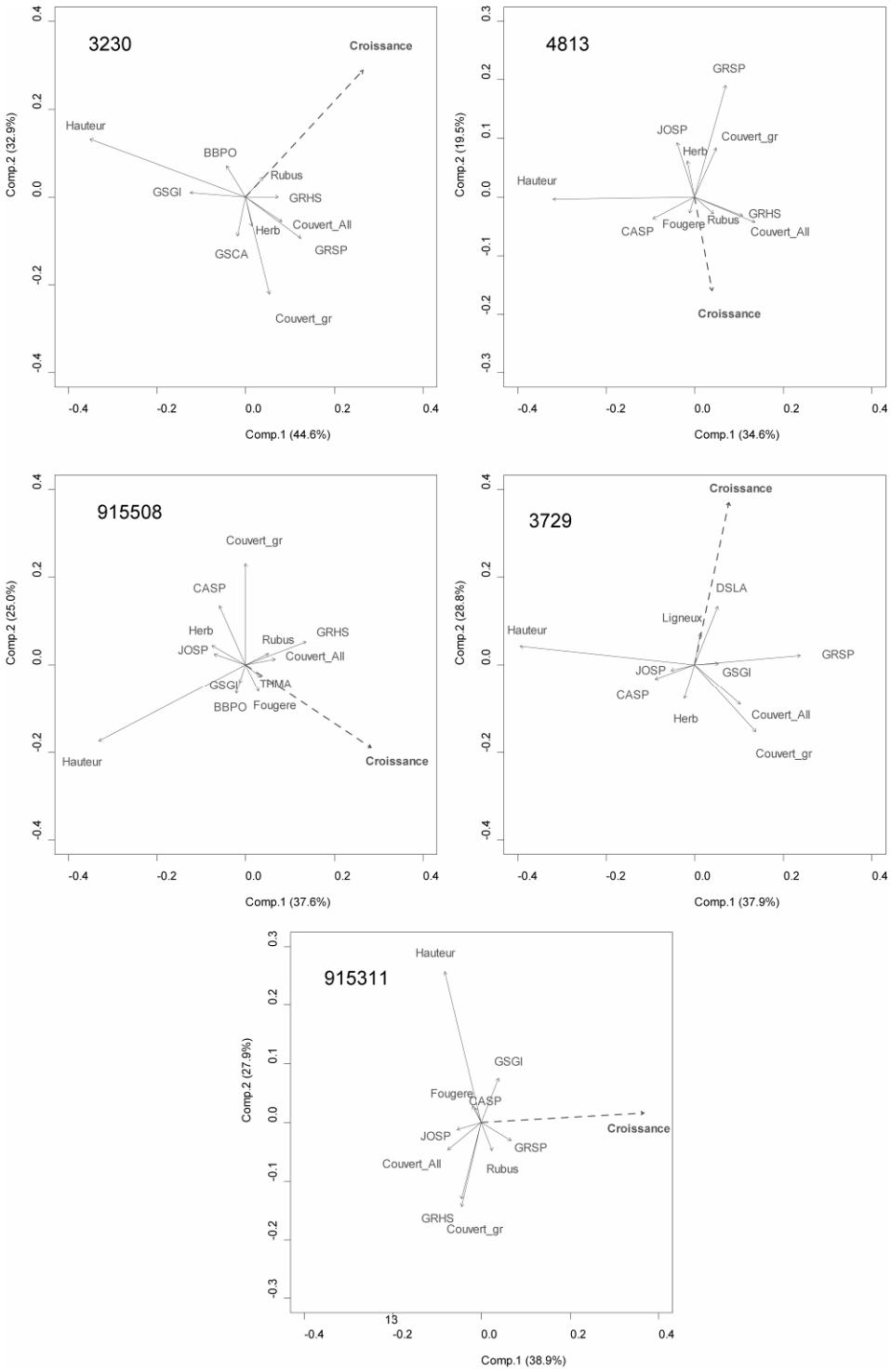
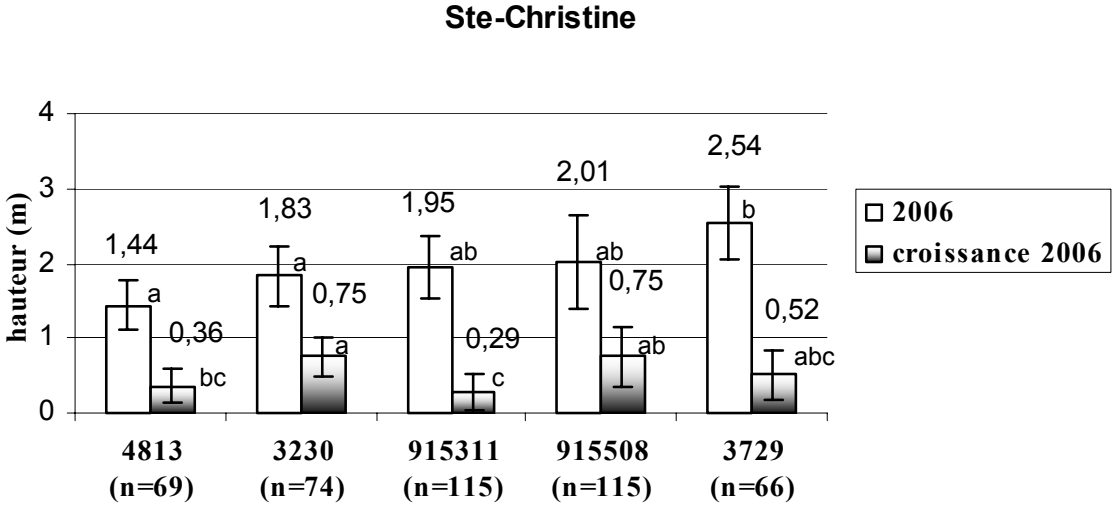


Figure 12- Diagramme d'analyse en composantes principales (ACP) de la **croissance** terminale des peupliers hybrides en 2006 en fonction de la compétition herbacée sur le dispositif Roxton. Les pourcentages mis entre parenthèses représentent la fraction de la variance exprimée par chacun des axes. Couvert_all : densité du couvert total. Couvert_gr : densité du couvert du groupe dominant. Herb : densité du couvert herbacé; Rubus : densité du couvert de Rubus sp.; Fougère : densit. Du couvert de fougères; Ligneux : densité du couvert ligneux; Hauteur : hauteur de la strate herbacée dominante; DSLA : *Spiraea latifolia*; GRSP : *Graminées*; JOSP : *Jonc sp*.; BBPO : Betula populifolia; GRHS : *Rubus hispidus*; GSCA : *Solidago canadensis*; GSGI : *Solidago graminifolia*; CASP : *Acer spicatum*; THMA : *Thelypteris palustris*;

Ste-Christine

a. Productivité

Les productivités (hauteur, croissance et diamètre) sont nettement supérieures sur cette ancienne érablière en comparaison au site Roxton Falls (Figure 13), sans toutefois être satisfaisantes en populiculture intensive. Sans surprise, le 3729 domine en hauteur moyenne (2,54m), suivi par le 915508 (2,01m) et par le 915311 (1,95m), mais également en accroissements de hauteur. Statistiquement inférieurs au 3729 ($p<0.05$), les 4813 et 3230 présentent des hauteurs de 1,44m et 1,83m respectivement.



	DHS 2006 (cm)
4813	1.7 b
3230	2.3 ab
915311	2.3 ab
915508	2.3 ab
3729	2.7 a

Figure 13- Hauteurs, croissances et diamètres moyens des cultivars de peupliers sur le dispositif Ste-Christine. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Durant la saison 2006, les croissances du 3729 (0.52m) et du 915508 (0.75m) sont statistiquement égalées par le 3230 (0.75m). Suivent ensuite le 915311 (0,29m) puis le 4813 (0,36m). Pour la croissance radiale, seul le 4813 produit des diamètres statistiquement inférieurs aux autres cultivars (Figure 13).

b. Compétition herbacée

Le dispositif Ste-Christine, mieux drainé que celui de Roxton Falls, montre un plus grand nombre de corrélations entre la croissance terminale des peupliers et les paramètres herbacés (Tableau 25). La croissance terminale du 915311 est positivement corrélée au couvert herbacé total (Tau=0,38; $p<0.05$), à la présence de framboisiers (*Rubus idaeus)* (Tau=0,32; $p<0.10$) et à la hauteur herbacée (Tau=0,34; $p<0.05$). La croissance terminale du 915508 est négativement corrélée à la présence d'Eupatoire perfoliée (*Eupatorium*

perfoliatum) (Tau=-0,36; p<0.1), et positivement corrélée à la présence de framboisiers (Tau=0,35; p<0.1) et de la verge d'or graminifoliée (*Solidago graminifolia*) (Tau=0,33; p<0.1). Le 4813 est peu sensible à la strate herbacée et n'est corrélé qu'à la présence de fraisier de Virginie (*Fragaria virginiana*) (Tau=0,43; p<0.1). Comme le 4813, le 3729 est également peu sensible aux herbacées, mais montre une forte corrélation de sa croissance terminale avec la présence de verge d'or canadienne (*Solidago canadensis*) (Tau=0,55; p<0.05). Enfin, le 3230 est négativement corrélé à la présence de l'Eupatoire perfoliée (Tau=-0,38; p<0.1), comme le 915508, et positivement corrélée à la présence de plantes du genre *Rubus*, (Tau=0,38; p<0.1).

Tableau 25- Corrélations de Kendall (Tau) entre la croissance terminale en 2006 et la strate herbacée sur le dispositif Ste-Christine. Seules les corrélations significatives sont présentées.

	915311	915508	4813	3729	3230
Couvert herbacé total	0.38**	-	-	-	-
Eupatorium perfoliatum	-	-0.36*	-	-	-0.38*
Rubus idaeus	0.32*	0.35*	-	-	-
Solidago canadensis	-	-	-	0.55**	-
Solidago graminifolia	-	0.33*	-	-	-
Hauteur herbacée	0.34**	-	-	-	-
Fragaria virginiana	-	-	0.43*	-	-
Tous *Rubus sp.*	-	-	-	-	0.38*

*Prob>|Tau b| < 0.1; ** Prob>|Tau b| < 0.05; ***Prob>|Tau b| < 0.01;

Toutes les corrélations sont positives sauf dans le cas de l'Eupatoire perfoliée (Tableau 25). Cette espèce est généralement caractéristique de milieux humides et pourrait indiquer un problème local de drainage comme la présence d'une cuvette par exemple. Le site de Ste-Christine est justement caractérisé par une importante pierrosité visible reflétant une roche en place relativement près de la surface qui pourrait créer un excès d'eau du sol en certains endroits. Toutes les autres espèces, positivement corrélées à la croissance, sont des espèces de milieux ouverts (champs, friches, etc.) et pourraient indiquer un sol mieux drainé induisant une meilleure disponibilité des éléments nutritifs.

Les résultats des ordinations, présentés à la Figure 14, montrent une palette variée de facteurs associés à la croissance terminale des clones. Les relations ne sont pas constantes selon les clones, notamment en ce qui a trait aux groupes d'herbacées ainsi qu'aux autres paramètres qui ne concernent pas une espèce en particulier. Cela semble vouloir dire que l'effet de compétition des herbacées est combiné aux conditions de sol variées entre les microsites, l'ensemble affectant la croissance pour les plants. Cette grande variation des conditions de sol limite les possibilités d'une populiculture qui cherche à produire un matériel régulier dont les tiges sont toutes prêtes à récolter au même moment.

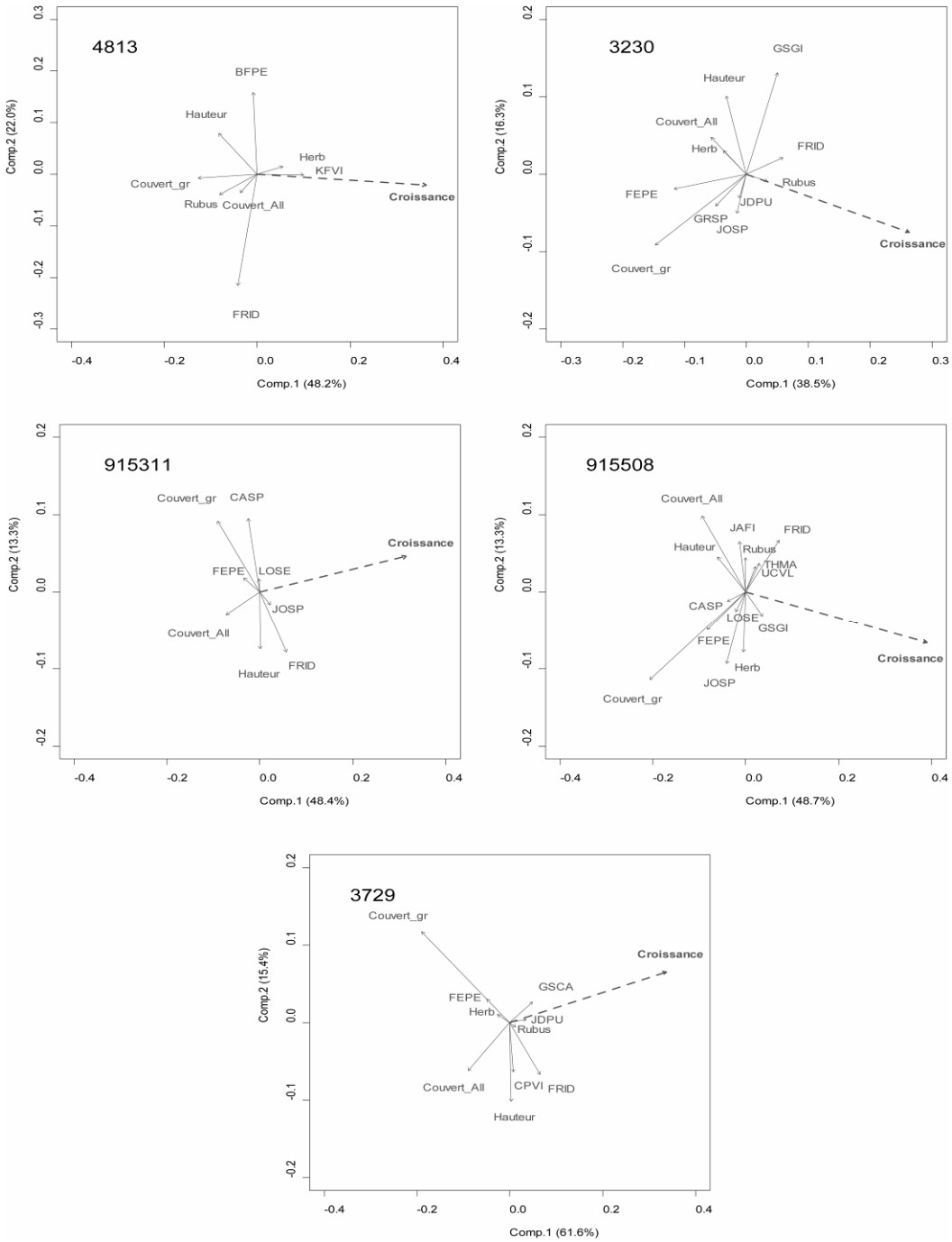
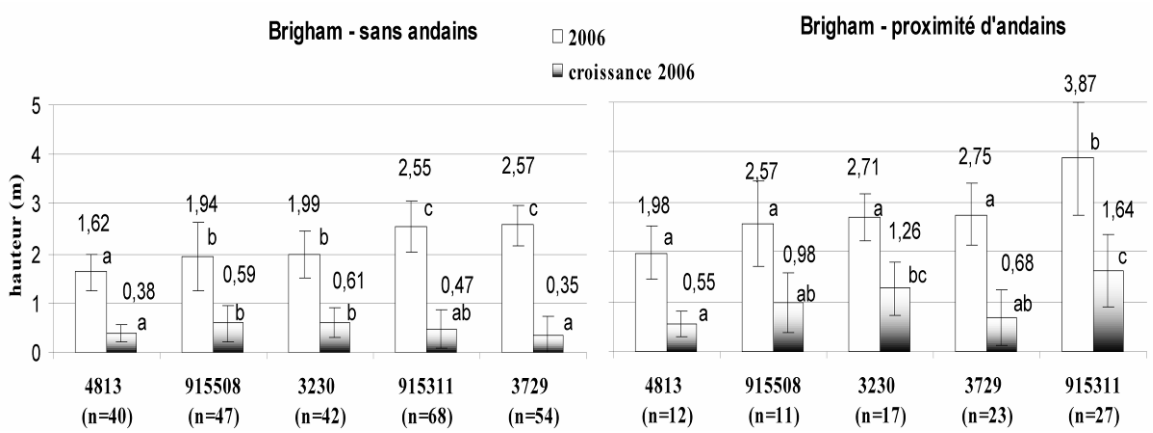


Figure 14- Diagramme d'analyse en composantes principales (ACP) de la **croissance** terminale des peupliers hybrides en 2006 en fonction de la compétition herbacée sur le dispositif Ste-Christine. Les pourcentages mis entre parenthèses représentent la fraction de la variance exprimée par chacun des axes (les analyses n'étaient pas possibles pour le clone 4813 étant donné le trop faible effectif). Couvert_all : densité du couvert total. Couvert_gr : densité du couvert du groupe dominant. Herb : densité du couvert herbacé; Rubus : densité du couvert de Rubus sp.; Fougère : densité du couvert de fougères; Ligneux : densité du couvert ligneux; Hauteur : hauteur de la strate herbacée dominante; GRSP : *graminée sp.*; JOSP : *Jonc sp*; GSCA : *Solidago canadensis*; GSGI : *Solidago graminifolia*; CASP : *Acer spicatum*; THMA : *Thelypteris palustris*; FEPE : *Eupatorium perfoliatum*; FRID : *Rubus idaeus*; BFPE *: Fraxinus pennsylvanica;* JDPU *: Dennstaedtia punctilobula;* LOSE *: Onoclea sensibilis;* UCVL *: cirsium vulgare;* JAFI *: Athyrium filixfemina; CPVI : Prunus virginiana;* KFVI *: Fragaria virginiana.*

Brigham

a. Productivité

L'ancienne érablière que constitue le dispositif Brigham a subi une mise en andains avant la mise en terre des plants. Nous avons séparé les résultats selon la proximité des plants vis-à-vis des andains : un premier examen des croissances, sur le terrain, nous a incité à formuler l'hypothèse que la proximité d'andains était positivement influente pour la productivité des arbres. Les résultats ont confirmé cette hypothèse. Toutes les moyennes de hauteur, diamètre et croissance en 2006 se sont avérées supérieures à proximité d'andains (Figure 15). Un test d'analyse de variance comparant les deux groupes d'arbres (proximité d'andains ou non) s'est révélé hautement significatif ($p<0,05$), à l'exception du 3729, qui performe de manière assez semblable dans les deux cas. La disponibilité en éléments nutritifs accrue par la proximité des andains est l'hypothèse la plus probable pour expliquer ce phénomène.



	Sans andain **DHS 2006 (cm)**	Proximité d'andains **DHS 2006 (cm)**
4813 **c**	1.8	2.2
915508 **b**	2.2	2.4
3230 **ab**	2.4	3.1
915311 **a**	3.1	4.6
3729 **ab**	2.8	2.9

Figure 15- Hauteurs, croissances et diamètres moyens des cultivars de peupliers sur le dispositif Brigham, selon la proximité ou non d'andains. Les lettres (a et b) indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Que les plants soient situés à proximité ou non d'andains, le positionnement hiérarchique des cultivars selon leur productivité est semblable. Arrivent en tête les 3729 et 915311, suivis par les 3230 et 915508, et enfin le 4813 est le moins productif (Figure 15).

Sans andains à proximité, les 3729 et 915311 enregistrent des hauteurs moyennes presque identiques, à 2,57m et 2,55m respectivement. Ces deux cultivars sont statistiquement plus grands que les 3230 (1,99m) et 915508 (1,94m), eux-mêmes statistiquement plus grands

que le 4813 (1,62m). Le portrait est semblable en ce qui a trait aux diamètres (Figure 15). À surveiller, le 3729 a produit la plus faible croissance moyenne cette année (0,35m).

À proximité d'andains, le portrait change pour le cultivar 915311. Alors que sa hauteur, sa croissance et son diamètre sont semblables au 3729 en absence d'andains, sa hauteur moyenne fait un bond de plus d'1m à proximité d'andains (3,87m), passant d'une croissance 0,47m à une croissance de 1,64m (Figure 15). C'est la même chose pour la croissance radiale. À noter, le coefficient de variation de ses résultats est également nettement supérieur, ce qui pourrait exprimer la variation dans la disponibilité de l'ensemble des éléments nutritifs due notamment à la présence d'andains. Le 3729 semble donc beaucoup moins sensible à la disponibilité en éléments nutritifs que le 915311.

Tableau 26- Distribution des plants du dispositif de Brigham selon trois classes de rectitude de tige, allant de la cote 1 (très droit) à la cote 3 (déviation).

	% Cote 1	% Cote 2	% Cote 3
4813	36.54	46.15	17.31
3230	44.07	44.07	11.86
915311	27.37	37.89	34.74
915508	50.00	44.83	5.17
3729	48.05	48.05	3.90

Au niveau architectural, le 3729 présente les tiges les plus droites et les moins déviées (Tableau 26). Vient ensuite le 915508, qui malgré des productivités moins importantes, produit le plus de tiges de qualité. À noter, le 915311 produit une proportion anormalement élevée de tiges déviées. Cela vient contrebalancer sa productivité fulgurante à proximité d'andains, qui se fait au détriment de la qualité de forme de la tige. Il serait souhaitable d'examiner les interventions de taille qui pourraient atténuer ces défauts de développement de la tige.

b. Compétition herbacée

Sur le dispositif Brigham, de nombreuses corrélations se sont révélées significatives comme pour le dispositif Ste-Christine (Tableau 27). La croissance terminale du 915508 n'est pas corrélée significativement à une espèce en particulier mais plutôt au couvert herbacée total (Tau=0,44; $p<0.1$) ainsi qu'à la hauteur herbacée (Tau=0,41; $p<0.1$), deux facteurs qui peuvent indiquer la qualité nutritionnelle du microsite. Les lieux occupés par plus d'herbacées représenteraient des microsites plus favorables à la croissance. La croissance terminale du 915311 en 2006 est fortement corrélée à de nombreux paramètres : le couvert herbacé total (Tau=0,48; $p<0.05$), la présence de verge d'or canadienne (Tau=0,47; $p<0.05$), l'absence de verge d'or graminifoliée (Tau=-0,44; $p<0.05$) ainsi que la hauteur herbacée (Tau=0,59; $p<0.01$). Le 3729 montre également une très forte corrélation avec la hauteur herbacée (Tau=0,77; $p<0.01$), ainsi qu'avec la présence d'Impatiente du Cap (*Impatiens capensis*) (Tau=0,55; $p<0.05$), l'absence d'Érable à épis (*Acer spicatum*) (Tau=-0,42; $p<0.1$) et le couvert herbacée total

(Tau=0,56; p<0.05). Enfin, le 3230 n'est corrélé qu'à la présence de framboisier (Tau=0,52; p<0.05).

Tableau 27- Corrélations de Kendall (Tau) entre la croissance terminale en 2006 et la strate herbacée sur le dispositif Brigham. Seules les corrélations significatives sont présentées.

	915508	915311	3729	3230
Acer spicatum	-	-	-0.42*	-
Couvert herbacé total	0.44*	0.48**	0.56**	-
Rubus idaeus	-	-	-	0.52**
Solidago canadensis	-	0.47**	-	-
Solidago graminifolia	-	-0.44**	-	-
Hauteur herbacée	0.41*	0.59***	0.77***	-
Impatiens capensis	-	-	0.55**	-

*Prob>|Tau b| < 0.1; ** Prob>|Tau b| < 0.05; ***Prob>|Tau b| < 0.01;

Les très fortes corrélations du 915311 et du 3729, les deux cultivars les plus performants, avec la hauteur et le couvert herbacé, suggèrent une forte qualité nutritionnelle des sols associée à ces microsites. Par opposition, le diagramme de corrélation pour un des cultivars les moins performants, le 915508 (Figure 16), montre une opposition entre la croissance terminale et la présence d'espèces humides comme l'Eupatoire perfoliée et le roseau commun (*Phragmites communis*).

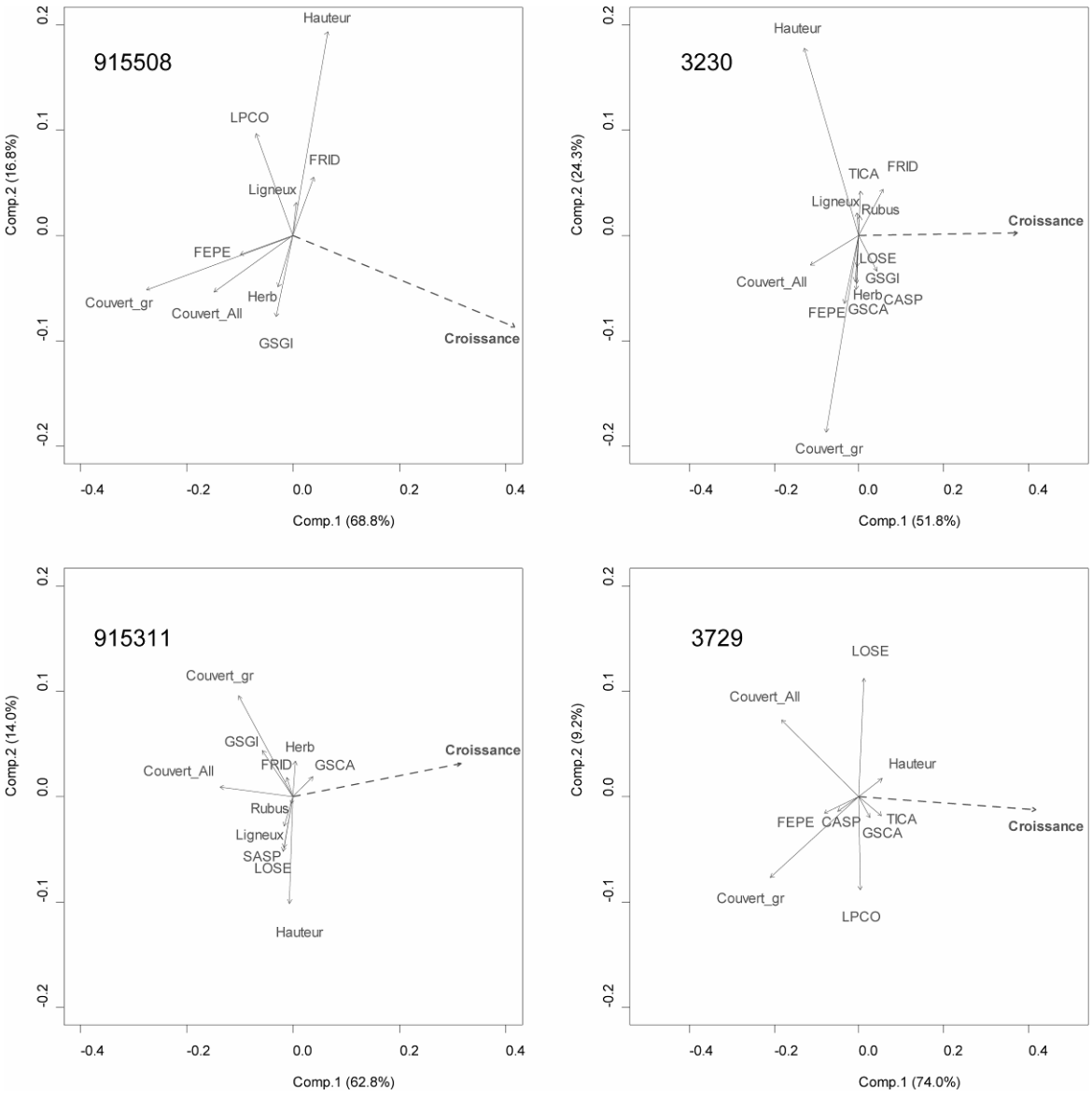


Figure 16- Diagramme d'analyse en composantes principales (ACP) de la **croissance** terminale des peupliers hybrides en 2006 en fonction de la compétition herbacée sur le dispositif Brigham. Les pourcentages mis entre parenthèses représentent la fraction de la variance exprimée par chacun des axes (les analyses n'étaient pas possibles pour le clone 4813 étant donné le trop faible effectif). Couvert_all : densité du couvert total. Couvert_gr : densité du couvert du groupe dominant. Herb : densité du couvert herbacé; Rubus : densité du couvert de Rubus sp.; Fougère : densité du couvert de fougères; Ligneux : densité du couvert ligneux; Hauteur : hauteur de la strate herbacée dominante; GSCA : *Solidago canadensis*; GSGI : *Solidago graminifolia*; CASP : *Acer spicatum*; FEPE : *Eupatorium perfoliatum*; FRID : *Rubus idaeus*; LOSE *: Onoclea sensibilis;* TICA *: Impatiens capensis;* LPCO *: Phragmites communis;* SASP *: Salix sp;*

Conclusion

La Montérégie possède le climat le plus propice à la production végétale au Québec. Il est naturel que cette région soit caractérisée par une forte activité agricole, mais, par le fait même, elle a aussi le potentiel d'une très forte productivité forestière (Cogliastro & D'Orangeville, 2007). Nos résultats présentent le potentiel de quatre différentes avenues de production de peuplier hybride pertinents pour un territoire tel que la Montérégie et permettant de diversifier les outils de production aux propriétaires. Il s'agit de l'agroforesterie, la combinaison de peupliers hybrides et de feuillus nobles en plantation, la populiculture sur sol agricole ainsi que la populiculture sur sol forestier.

En général, la production de peuplier hybride sur sol agricole s'est révélée beaucoup plus productive que celle sur sol forestier (voir chapitres III et IV). En effet, les conditions de drainage y sont plus uniformes grâce à une topographie de terrain plus régulière, la pierrosité y est moindre et les sols sont souvent plus riches, ce qui a justifié leur mise en culture passée. Également, les mauvaises performances sur le dispositif Roxton Falls ont souligné l'importance du suivi des jeunes plantations notamment en termes de protection contre la prédation. Les conditions de drainage du sol n'ont pas été suffisamment évaluées dans le processus du choix du site, ce qui aurait conduit à des choix différents d'interventions.

Enfin, l'analyse des relations entre la strate herbacée et les peupliers hybrides sur d'anciens sols forestiers a montré l'absence, à ce stade-ci du développement des plants, d'effets négatifs de la végétation de compétition sur la croissance des peupliers hybrides. D'ailleurs, soit ces sites ont reçu des interventions pour réduire la compétition, soit présentaient de trop faibles abondances de compétiteurs pour requérir une intervention. Dans ce contexte, l'absence d'effets négatifs était prévisible. Sans encore produire un effet de compétition problématique, les niveaux les plus élevés de végétation de compétition rencontrés sur les sites forestiers témoignaient plutôt de la bonne disponibilité des nutriments sur ces points d'échantillonnage. La présence épisodique de ces situations réflète donc la grande variabilité des conditions sur les sols forestiers analysés ici. Il s'agira néanmoins dans les années à venir d'assurer le suivi de cette strate herbacée afin d'établir si, et quand, dans l'évolution des plantations, elle peut interférer avec la croissance des peupliers.

La culture de peupliers hybrides à des fins de production de bois à haute valeur ajoutée doit rencontrer un certain nombre de conditions pour atteindre le succès et la rentabilité. Nous croyons que le choix d'une station de qualité, la sélection du clone adapté et des interventions humaines précises (compétition, taille) doivent conduire à une grande régularité de croissance des tiges au cours du temps et à une productivité qui serait également régulière dans tout l'espace de la plantation. Cette régularité de la production est extrêmement importante. Même si certains arbres nous enthousiasment par leur vigueur exceptionnelle, nos efforts doivent conduire à rendre exploitables, tous au même moment, 150 à 200 tiges de peupliers par hectare de haute qualité. C'est l'atteinte de cet objectif qui rend la populiculture actuellement rentable en Europe. Nous hésitons encore

entre une sylviculture de peuplement et une sylviculture d'arbres-objectif alors que c'est selon la seconde avenue que la populiculture peut réaliser la production du maximum de bois de déroulage. Cette avenue commande également de très bonnes conditions de fertilité du sol sur l'ensemble de la parcelle avec un minimum de variation de ces conditions, minimisant la variabilité de la croissance. Les sols qui présentent de bons potentiels agricoles sont propices à la culture des peupliers. Quant aux sols forestiers, ils doivent être examinés en fonction du niveau de variabilité des conditions qu'ils comportent. Le présent rapport met en évidence d'importants écarts de productivité des peupliers selon différents sols et nous souhaitons que les efforts se poursuivent pour identifier adéquatement les sites à grand potentiel populicole en Montérégie. Des modèles d'agroforesterie sont particulièrement prometteurs alors qu'ils permettraient d'offrir de bonnes conditions de croissance aux peupliers sur des sols agricoles tout en apportant des solutions à l'impact de la concentration et de la spécialisation de l'agriculture intensive. Des formes modernes d'association entre les arbres (peupliers) et des cultures annuelles permettraient d'ajouter un ensemble de biens et services environnementaux à un système productif intégrant des peupliers hybrides.

Bibliographie

Ball, R.A., McNew, R.W., Vories, E.D., Keisling, T.C. et Purcell, L.C. 2001. Path analyses of population density effects on short-season soybean yield. Agronomy Journal 93: 187-195.

Berthelot, A., Ranger, J. et Gelhaye, D. 2000. Nutrient uptake and immobilization in a short-rotation coppice stand of hybrid poplars in north-west France. Forest Ecology and Management 128: 167-179.

Callaway RM, Walker LR. 1997. Competition and facilitation: a synthetic approach to interactions in plant communities. Ecology 78: 1958-1965.

Cogliastro A, D'Orangeville L, 2007. Organiser la cohabitation agriculture-forêt en Montérégie. Mémoire présenté à la commission sur l'avenir de l'agriculture et de l'agroalimentaire québécois (CAAAQ). Institut de recherche en biologie végétale (IRBV) & Jardin Botanique de Montréal, p. 14.

Davis MA, Wrage KJ, Reich PB. 1998. Competition between tree seedlings and herbaceous vegetation: support for a theory of resource supply and demand. Journal of Ecology 86: 652-661.

Dupraz, C., Burgess, P.J., Gavaland, A., Graves, A.R., Herzog, F., Incoll, L.D., Jackson, N., Keesman, K., Lawson, G., Lecomte, I., Liagre, F., Mantzanas, K., Mayus, M., Moreno, G., Palma, J., Papanastasis, V., Paris, P., Pilbeam, D., Reisner, Y., van Noordwijk, M. Vincent, G. et van der Werf, W. 2005. Synthesis of the SAFE (Silvoarable Agroforestry for Europe) project. INRA-UMR System Editions, Montpellier, 254 p.

Dhyani, S.K. et Tripathi, R.S. 1999. Tree growth and crop yield under agrisilvicultural practices in north-east India. Agroforestry Systems 44: 1-12.

Egli, D.B. et Yu, Z.W. 1991. Crop growth rate and seeds per unit area in soybean. Crop Science 31: 439-442.

Eriksen, F.I. et Whitney, A.S. 1984. Effects of solar radiation regimes on growth and N_2 fixation of soybean, Cowpea, and Bushbean. Agronomy Journal 76: 529-535.

Frazer, G.W., Canham, C.D. et Lertzman, K.P. 1999. Gap Light Analyser (GLA): Imaging software to extract canopy structure and gap light transmission indices from true-colour fisheye photographs, users manual and program documentation. Simon Fraser University, Burnaby, BC and the Institute Ecosystem Studies, Millbrook, NY, 36 p.

Gordon, A.M. et Newman, S.M. 1997. Temperate agroforestry systems. CAB International, Wallingford, UK, 267 p.

Graves, A.R., Burgess, P.J., Palma, J.H.N., Herzog, F., Moreno, G., Bertomeu, M., Dupraz, C., Liagre, F., Keesman, K., van der Werf, W., Koeffeman de Nooy, A. 2007. Development and application of bio-economic modelling to compare silvoarable, arable, and forestry systems in three European countries. Ecological Engineering 29: 434-449.

Jose, S., Gillespie, A.R. et Pallardy, S.G. 2004. Interspecific interactions in temperate agroforestry. Agroforestry Systems 61 : 237-255.

Jurik, T.W. et Van, K. 2004. Microenvironment of a corn – soybean – oat strip intercrop system. Field Crops Research 90: 335-349.

Palma, J.H.N., Graves, A.R., Bunce, R.G.H., Burgess, P.J., de Filippi, R., Keesman, K.J., van Keulen, H., Liagre, F., Mayus, M., Moreno, G., Reisner, Y. et Herzog, F. 2007. Modeling environmental benefits of silvoarable agroforestry in Europe. Agriculture, Ecosystems and Environment 119: 320-334.

Puri, S.L., Swamy, A.K. et Jaiswal, A.K. 2002. Evaluation of *Populus deltoides* clones under nursery, field and agrisilviculture system in subhumid tropics of Central India. New Forest 23: 45-61.

Reynolds, P.E., Simpson, J.A., Thevathasan, N.V. et Gordon, A.M. 2007. Effects of tree competition on corn and soybean photosynthesis, growth, and yield in a temperate tree-based agroforestry intercropping system in southern Ontario, Canada. Ecological Engineering 29: 362-371.

Shanker, A.R, Newaj, R., Rai, P., Solanki, K.R., Kareemulla, K., Tiwari, R. et Ajit. 2005. Microclimate modifications, growth and yield of intercrops under *Hardwickia binata* Roxb. based agroforestry system. Archives of Agronomy and Soil Science 51: 281–290.

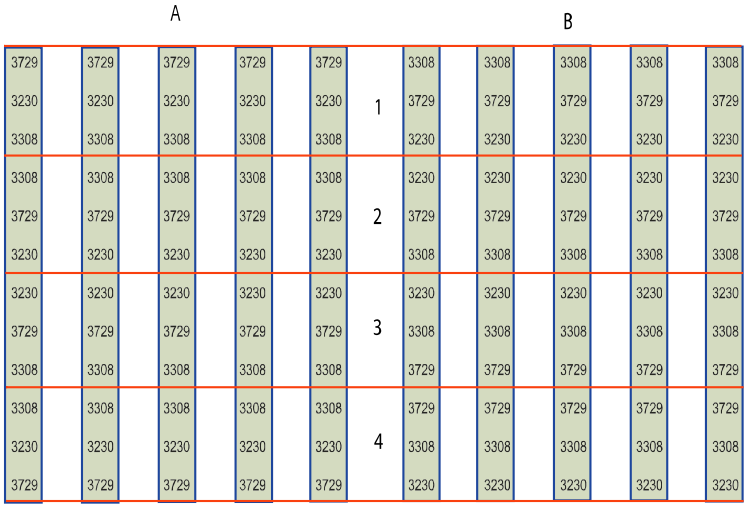
Thevathasan, N.V. et Gordon, A.M. 2004. Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: experiences from southern Ontario, Canada. Agroforestry Systems 61: 257-268.

Thevathasan, N.V., Gordon, A.M., Simpson, J.A., Reynolds, P.E., Price, G.W. et Zhang, P. 2004. Biophysical and ecological interactions in a temperate tree-based intercropping system. Journal of Crop Improvement 12: 339-363.

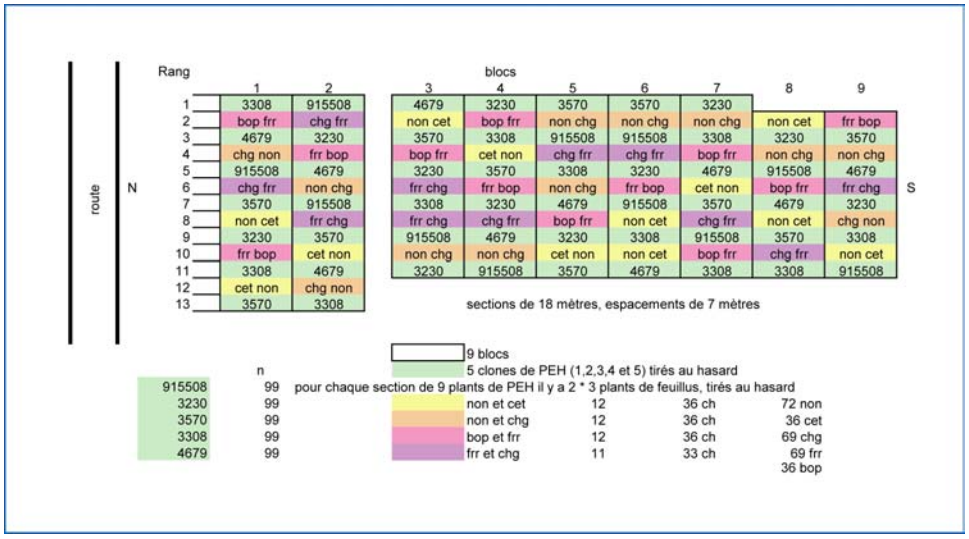
Wahua, T.A.T. et Miller, D.A. 1978. Effects of shading on the N_2-fixation, yield, and plant composition of field-grown soybean. Agronomy Journal 70: 387-39.

Wu, Y.Y. et Zhu, Z.H. 1997. Temperate agroforestry in China. *Dans* Temperate agroforestry systems. Publié par A.M. Gordon et S.M Newman. CAB International, Wallingford, UK. p. 149-179.

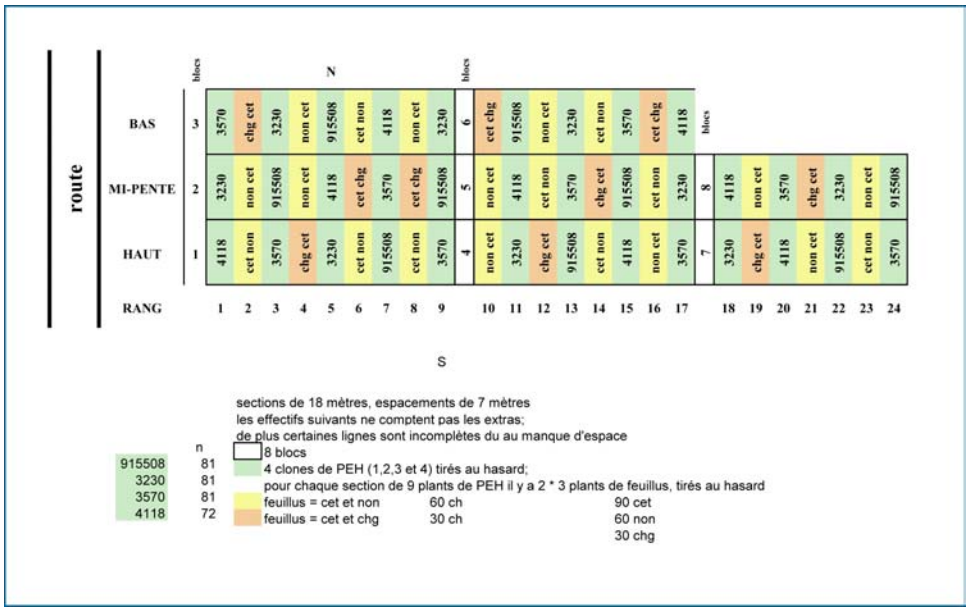
Annexes



Annexe 1- Site Verteneuil - schéma du dispositif expérimental; les feuillus occupent les bandes blanches entre les peupliers; les numéros identifient les blocs.



Annexe 2- Site Caillé - plan du site sur dépôt glaciaire (1.7 ha)



Annexe 3- Site Latreille - plan du site sur dépôt littoral (1.0 ha)

Annexe 4- Site Thibodeau - parcelle expérimentale comprise dans un bloc. Le cultivar 3570 (p5) est ici représenté, ainsi que le frêne rouge (fr), le frêne d'Amérique (fb) et le chêne à gros fruits (cg). Chaque bloc est composé de 5 de ces parcelles, une par clone. Espacement de 3,5m sur le rang et de 7m entre les rangs

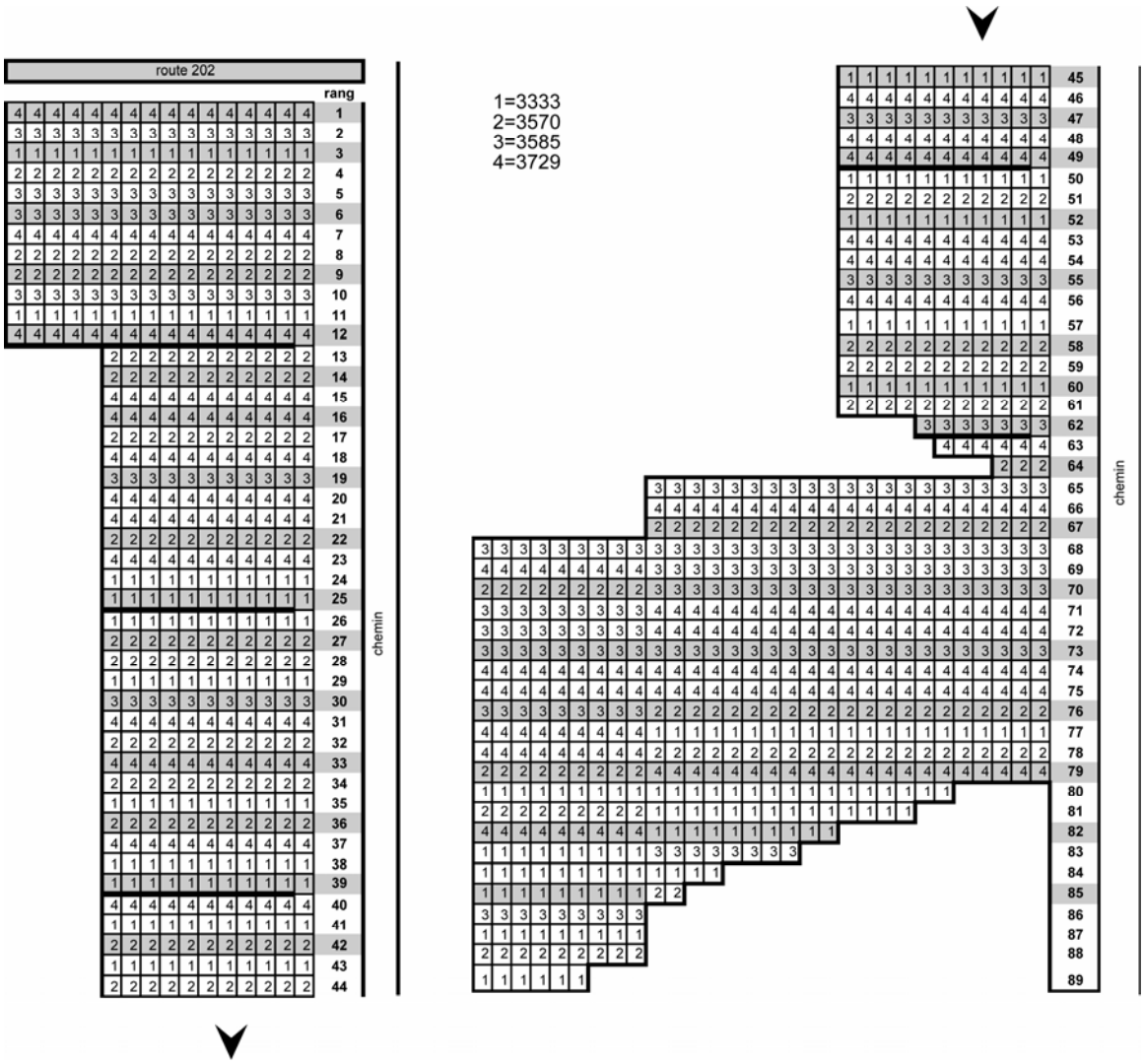
BLOC 1

				1		2		3		4		5				
PEH	F	PEH	F	PEH	F	PEH	F	PEH	F	PEH	F	PEH	F	PEH	F	PEH
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
	n		f		f		f		n		f		f		n	
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
	n		f		f		f		n		f		f		n	
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
p2	n	p5	f	p4	f	p5	f	p1	n	p2	f	p3	f	p1	n	p4
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
	mj		mj		f		f		mj		f		f		mj	
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
	mj		mj		f		f		mj		f		f		mj	
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
p2	mj	p5	mj	p4	f	p5	f	p1	mj	p2	f	p3	f	p1	mj	p4
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
	f		n		n		n		f		c		n		f	
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
	f		n		n		n		f		c		n		f	
p2		p5		p4		p5		p1		p2		p3		p1		p4
p2	f	p5	n	p4	n	p5	n	p1	f	p2	c	p3	n	p1	f	p4

Annexe 5- Sites Leblanc et McCormick - parcelle expérimentale comprise dans le bloc 1. Les rangées marginales ne sont pas mesurées mais servent à border les rangées expérimentales 1 à 5. Les cultivars 915508 (p1), 915311 (p2), 3729 (p3), 3230 (p4) et 3570 (p5) sont ici représentés, ainsi que le frêne d'Amérique (f), le chêne rouge (c), le noyer noir (n) et le noyer hybride (mj). Trois blocs par dispositif (Leblanc et McCormick. 5 rangs étudiés par bloc (3)=15. Espacement de 1,5 m sur le rang et de 6 m entre les rangs.

rangs	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12
67	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
66	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
65	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
64	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
63	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
62	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
61	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
60	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
59	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
58	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
57	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
56	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
55	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
54	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
53	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1	1
52	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
51	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
50	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
49	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
48	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
47	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
46	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1
45	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
44	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
43	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
42	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
41	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
40	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
39	2	2	2	2	2	2	2	2	2	2	1	1
38	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	2	4
37	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	3
36	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	3
35	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	3
34	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	3
33	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	3
32	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
31	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
30	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
29	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	4
28	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	4
27	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	3	4
26	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
25	2	2	2	3	3	3	3	4	4	4	4	4
24	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
23	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
22	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
21	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
20	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
19	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
18	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
17	4	4	4	3	3	3	3	4	4	4	4	3
16	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3
15	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3
14	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3
13	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	4	3
12	4	4	4	4	4	4	4	4	4	4	3	3
11	4	4	3	3	3	3	3	4	4	4	3	3
10	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
9	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
8	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
7	4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
6	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
5	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
4	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
3	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
2	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
1	4	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3	3
extras						4	3	3	4	3	3	
extras						4	3	3	3	3	3	
extras						4	4	4	4	4	4	
extras							4	4				
Route												

Annexe 6- St-Dominique – schéma du dispositif expérimental 1=915311; 2=3729; 3=915508; 4=3587.



Annexe 7- Site Havelock- Site Verteneuil - schéma du dispositif expérimental. La partie de droite est le prolongement sud de la partie de gauche.

↑

Nord

	rang	
BLOC1	1	915508,3230,4813
	2	915508 et 3729
	3	915508
	4	915508
	5	4813
	6	4813
	7	3230
	8	3230
	9	915311
	10	915311
BLOC2	11	915508
	12	915508
	13	915508
	14	3230
	15	3230
	16	3230
	17	3729
	18	3729
	19	3729
	20	4813
	21	4813
	22	4813
	23	915311
	24	915311
	25	915311
BLOC3	26	915508
	27	915508
	28	915508
	29	3230
	30	3230
	31	3230
	32	3729
	33	3729
	34	3729
	35	4813
	36	4813
	37	4813
	38	915311
	39	915311
	40	915311
	41	915508
	42	915508
	43	915508
	44	915311
	45	915311
	46	915311 et 4813
	47	915311 et 4813

Annexe 8- Ste-Christine- schéma du dispositif expérimental

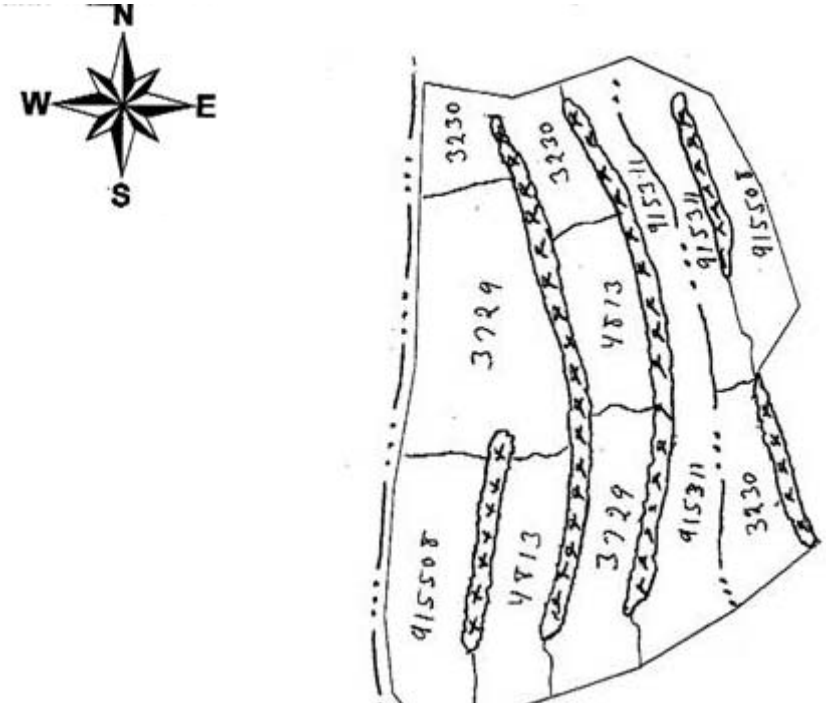
↑

Nord

	rangs	BLOC 3	BLOC 2	BLOC 1
Forêt	28		3	5
	27	2	3	5
	26	2	3	5
	25	2	3	5
	24	2	3	5
	23	2	3	2
	22	2	1	2
	21	4	1	2
	20	4	1	2
	19	4	1	2
	18	4	1	1
	17	4	1	1
	16	3-4	5	4
	15	3	5	4
	14	3	5	4
	13	3	5	4
	12	3	5	3
	11	3	2	3
	10	1	2	3
	9	1	2	3
	8	1	2	3
	7	1	2	1
	6	1	4	1
	5	5	4	1
	4	5	4	1
	3	5	4	1
	2	5	4	1
	1	5	1	
	route			

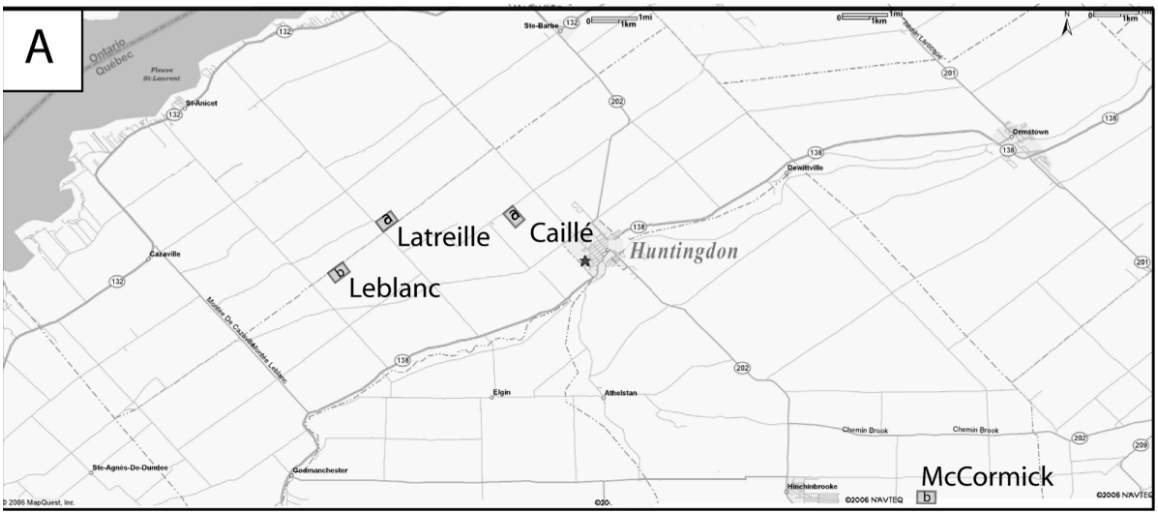
1=915311
2=3729
3=915508
4=3230
5=4813

Annexe 9- Roxton Falls- - schéma du dispositif expérimental

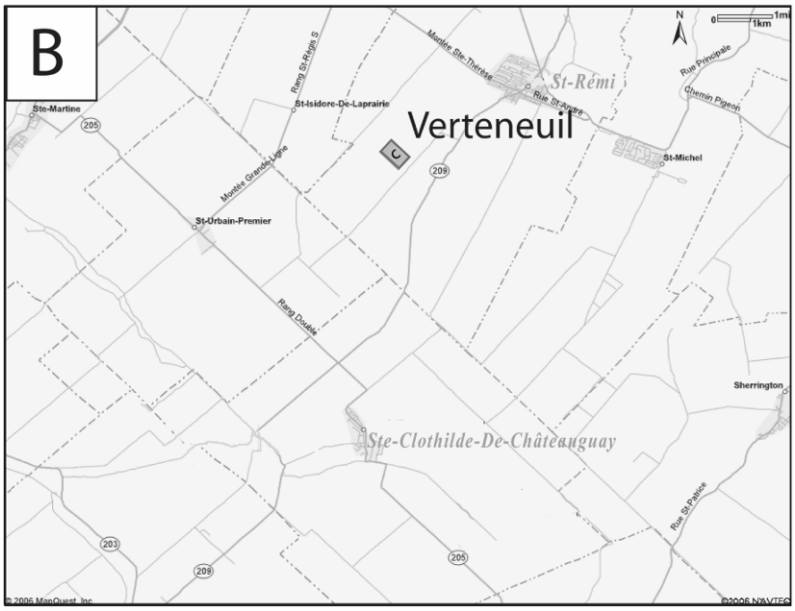


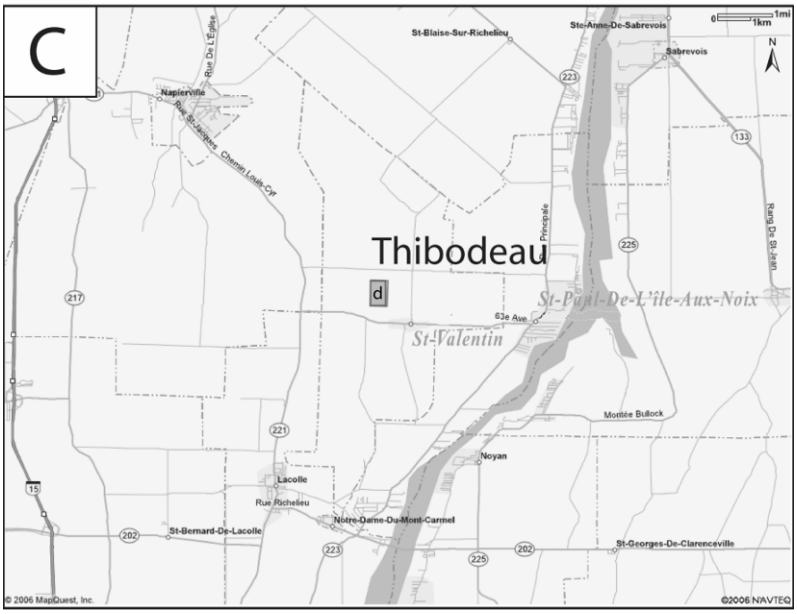
Annexe 10- Brigham- - schéma du dispositif expérimental. Les andains sont représentés par les « x ».

Annexe 11- Localisation des dispositifs expérimentaux de plantation.

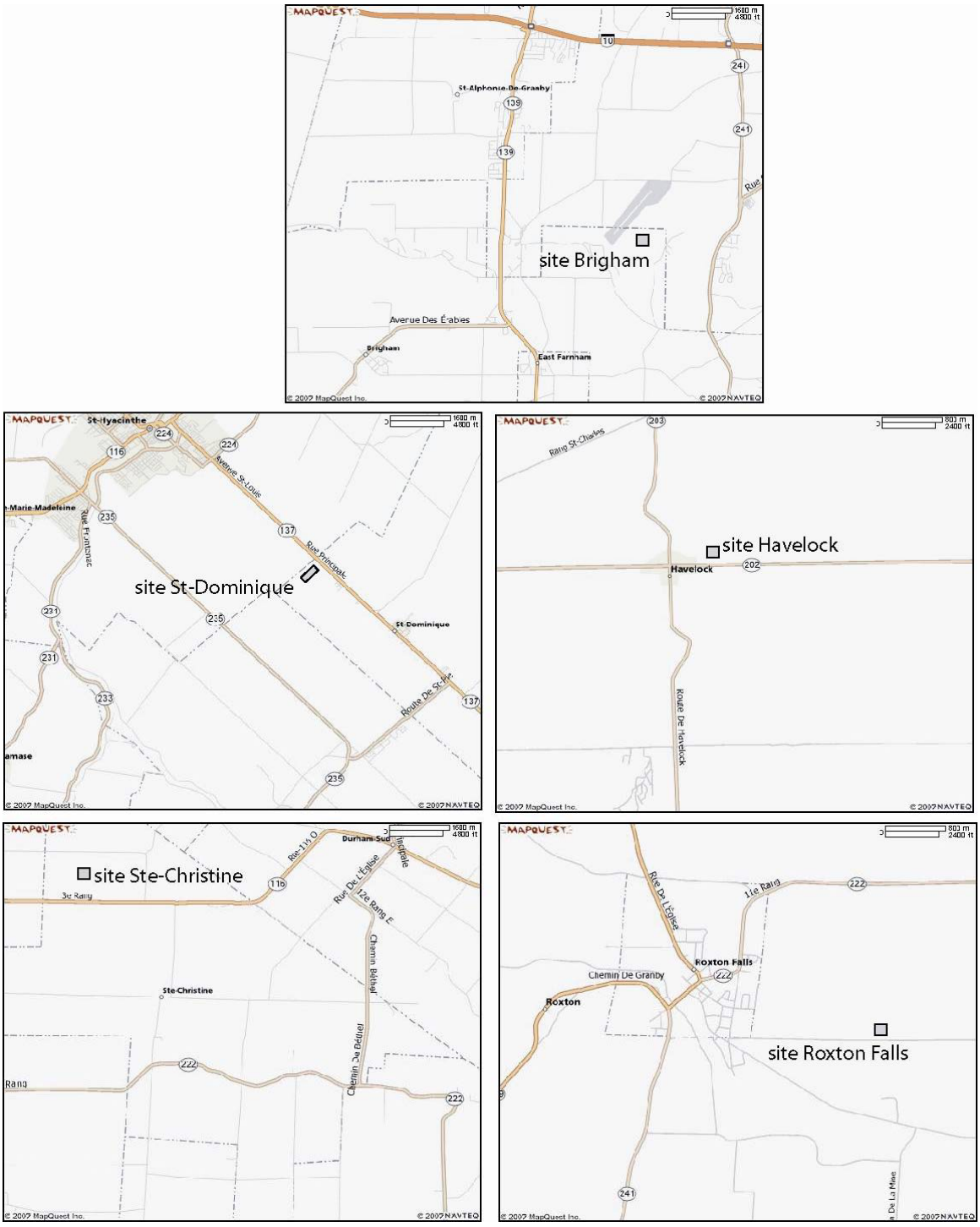


A (Caillé-Latreille) – plantations de peh combinés à des feuillus initiées en 2002 (voir chapitre II du présent rapport).
B (Leblanc-McCormick) – plantations de peh combinés à des feuillus initiées en 2003 (voir chapitre II du présent rapport).





C (Verteneuil) – plantations de peh combinés à des feuillus initiées en 2000 (voir chapitre I du présent rapport).
D (Thibodeau) – plantation de peh combinés à des feuillus initiée en 2003 (voir chapitre II du présent rapport).



Sites Havelock et St-Dominique - plantations de peh sur friche agricole initiées en 2005 (voir chapitre III du présent rapport).

Sites Roxton Falls, Brigham et Ste-Christine - plantations de peh après coupe forestière initiées en 2005 (voir chapitre IV du présent rapport).