Institut de recherche en biologie végétale

IRBV

JARDIN BOTANIQUE DE MONTRÉAL

Université de Montréal

Conditions de croissance et réponses des feuillus selon différentes stratégies de régénération par la plantation

Rapport final préparé par
Alain Cogliastro, Loïc d'Orangeville,
André-Jean Lalanne, Stéphane Daigle

Présenté au
Ministère des Ressources naturelles du Québec
Programme de Mise en valeur
des Ressources du milieu forestier - Volet II

Projet
2-05-63-41

Juillet 2006

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.

Équipe de travail

ALAIN COGLIASTRO	IRBV, Jardin Botanique de Montréal
Ph.D. Écologie forestière	Université de Montréal, Département des Sciences biologiques
LOÏC D'ORANGEVILLE	Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
candidat M.Sc. Écologie	Université de Montréal, Département des Sciences biologiques
ANDRÉ-JEAN LALANNE,	Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
Technicien	
STÉPHANE DAIGLE,	Institut de recherche en biologie végétale (IRBV)
Statisticien	

Collaboration de Alain Paquette[1], André Ménard[1], Christian Messier[2] et Alain Cogliastro[1] pour la section :
Modélisation des conditions lumineuses en fonction des clones de peupliers, des espacements, et du temps
1 Institut de recherche en biologie végétale (IRBV); 2 Université du Québec à Montréal

Pour fin de citation :
Cogliastro, A., L. D'Orangeville, A.J. Lalanne, S. Daigle. 2006. **Conditions de croissance et réponses des feuillus selon différentes stratégies de régénération par la plantation.** Rapport de projet au Programme de Mise en Valeur des Ressources du Milieu Forestier- Volet II, Montérégie. Institut de recherche en biologie végétale, Montréal. 110 pages.

Conditions de croissance et réponses des feuillus selon différentes stratégies de régénération par la plantation

Rapport final préparé par
Alain Cogliastro, Loïc d'Orangeville,
André-Jean Lalanne, Stéphane Daigle

Présenté au :
Ministère des Ressources naturelles du Québec
Programme de Mise en valeur du milieu forestier - Volet II

Projet

2-05-63-41

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

Table des matières

ÉQUIPE DE TRAVAIL **2**

TABLE DES MATIÈRES **4**

INTRODUCTION **6**

LES DISPOSITIFS EXPÉRIMENTAUX À L'ÉTUDE 7
Les friches arbustives *7*
Les peuplements de feuillus intolérants *8*
Les champs abandonnés *8*

LES FRICHES ARBUSTIVES **10**

DÉBROUSSAILLEMENT ET HERBICIDE EN FRICHES ARBUSTIVES 10
BILAN DE LA PREMIÈRE PHASE DU PROJET 10
MÉTHODOLOGIE *11*
RÉSULTATS *14*
Recouvrement de la strate herbacée à la périphérie de l'arbre 14
Paramètres de croissance des arbres 15
Proximité des compétiteurs à la cime 18
Lumière parvenant à la cime des arbres 20
DÉBROUSSAILLEMENT PAR BANDES EN FRICHES ARBUSTIVES ET DIFFÉRENTES MODALITÉS D'INSTALLATION ET D'ENTRETIEN DES PLANTS 23
MÉTHODOLOGIE *23*
RÉSULTATS *28*
Croissance des arbres 28
Lumière disponible 31

LES CHAMPS ABANDONNÉS **34**

ACCOMPAGNEMENT PAR DES ARBUSTES PLANTÉS 34
Introduction générale *34*
MÉTHODOLOGIE *35*
Mesure de croissance des feuillus et espèces gainantes 36
Mesure de croissance des espèces créant l'abri latéral 36
Mesure de lumière sur les feuillus nobles 36
RÉSULTATS *37*
Croissance des abris de proximité 38
Croissance des abris latéraux 39
PLANTATION DE FRÊNE ROUGE ET CHÊNE ROUGE INSTALLÉE EN 1989 : BILAN DE 17 ANS 40
LA POPULICULTURE EN PRODUCTION DOUBLE AVEC DES FEUILLUS NOBLES 41
SITE VERTENEUIL 2000-2005 (6 ANS) 45
Méthodologie *45*
Résultats *49*
Analyses de sols 49
Croissance et survie 50
SITE CAILLÉ LATREILLE 2002-2005 (4 ANS) 55
Méthodologie *55*
Résultats *58*
Analyses des sols 58
Croissance et survie 59
SITE THIBODEAU 2003-2005 (3 ANS) 63
Méthodologie *63*
Résultats *64*
Analyses de sols 64
Croissance et survie 65
SITE LEBLANC MCCORMICK 2003-2005 (3 ANS) 68
Méthodologie *68*

Résultats ... *71*
Analyses des sols ... 71
Croissance et survie ... 74
DISCUSSION ... 76
Âge des sites ... *77*
Classe texturale des sols ... *77*
Espacement ... *78*
Cultures intercalaires ... *79*
Génétique et productivité des cultivars ... *79*
CONCLUSION ... 81
Bibliographie ... 83
MODÉLISATION DES CONDITIONS LUMINEUSES EN FONCTION DES CLONES DE PEUPLIERS, DES ESPACEMENTS, ET DU TEMPS ... 86
MODÉLISATION DES CONDITIONS LUMINEUSES EN FONCTION DES CLONES DE PEUPLIERS, DES ESPACEMENTS, ET DU TEMPS ... 86
Méthodologie ... *86*
Résultats ... *87*
Paramètres des cultivars et relations allométriques ... 87
Climat lumineux en fonction des espacements et du cultivar: ... 90
a) Mesures directes ... 90
b) Validation du modèle et de scénarios sylvicoles dans le temps ... 91
Remerciements ... *93*
BIOMASSE DES PEUPLIERS HYBRIDES ... 94

LES PEUPLEMENTS DE FEUILLUS INTOLÉRANTS ... 95

DISPOSITIF ÉTABLI EN 1998 ... 96
MÉTHODOLOGIE ... *96*
RÉSULTATS ... *98*
Recouvrement de la strate herbacé et semis d'arbres ... 98
DISPOSITIF ÉTABLI EN 2005 ... 103
Méthodologie ... *103*
Description des sites ... 103
Dispositif expérimental ... 106
Résultats préliminaires ... *107*

ANNEXE LOCALISATION DES SITES ÉTUDIÉS ... 109

Introduction

À l'échelle mondiale et avec la hausse continuelle de la population, on assiste à une augmentation de la demande globale en produits forestiers. La ressource servant à la fabrication de ces produits est par ailleurs **récoltée** sur une superficie de forêts qui va en diminuant, de sorte qu'une rupture dans les stocks de matière ligneuse pourrait éventuellement survenir (FAO, 2001). Parmi les éléments de solution envisagés pour répondre à la problématique de l'approvisionnement dans le milieu forestier figure l'établissement de plantations. En 1995, la FAO (2001) estimait à 123,7 **millions d'hectares** la superficie totale des plantations, soit près de 3,5% de la superficie forestière mondiale. En 2001, entre 27% et 35% de l'approvisionnement en bois ronds sur l'ensemble du globe fut assuré par des opérations de récolte en plantations (FAO, 2001). D'ici 2050, la FAO (2001) estime qu'une **augmentation minimale annuelle** de 1% de la superficie des plantations serait nécessaire pour répondre à la consommation mondiale de l'industrie forestière.

Au Québec, durant l'exercice de mise à jour du régime forestier, le gouvernement provincial s'est engagé à proposer une politique de rendement accru touchant le territoire à vocation forestière (Québec, 2001). Le rendement accru comprend tous les travaux sylvicoles visant à améliorer la production actuelle d'un site et à augmenter, à long terme, la possibilité annuelle de récolte à rendement soutenu (Québec, 2000a). Basée sur une intensification de l'aménagement forestier, la politique de rendement accru devrait permettre à la fois de pallier aux éventuelles ruptures de stocks de matière ligneuse et de consolider le réseau d'aires protégées à l'échelle de la province (Québec, 2000a).

Si le Québec doit finalement s'engager dans une telle démarche afin de rencontrer les besoins d'approvisionnement de son industrie forestière, il demeure essentiel d'inscrire cette stratégie dans une approche répondant aux critères du développement durable, notamment en ce qui a trait à l'acceptabilité sociale des pratiques forestières. En effet, le type de sylviculture pratiqué reflète autant la philosophie locale et l'agenda gouvernemental que les différences de productivité entre les stations (Sedjo, 2001).

En vertu de ses conditions climatiques tempérées, un grand nombre de degrés jours et par ses sols fertiles, le territoire méridional du Québec représente une région à fort potentiel pour l'intensification des activités sylvicoles (Bouchard et Domon, 1997). Essentiellement privée, la forêt ne peut y être aménagée qu'en conformité avec les attentes de ses propriétaires. L'abandon des terres agricoles sur le territoire de la Municipalité régionale de comté (MRC) du Haut-Saint-Laurent, une région couvrant l'extrême sud-ouest du Québec, entraîne l'établissement de nouvelles communautés végétales parmi lesquelles on retrouve les arbustaies. La MRC présente aujourd'hui un paysage anthropisé, fragmenté par les activités agricoles, mais constitue également un milieu propice pour la réintroduction d'essences feuillues dans un contexte ou l'essentiel du potentiel forestier est à reconstruire (Bouchard and Domon, 1997). Des activités de reboisement feuillu pourraient être entreprises sur le territoire de la MRC du Haut-Saint-Laurent dans le but de redonner aux sites improductifs une vocation forestière, par le biais d'un aménagement intensif.

Les facteurs environnementaux et les processus historiques sont importants dans la compréhension des patrons de végétation actuelle des zones périurbaines du sud du Québec (Pan *et al.* 1999; de Blois *et al.* 2001). L'étude de la région du Haut-Saint-Laurent révèle que la végétation actuelle s'éloigne passablement du climax classique des forêts précoloniales par un grand nombre d'espèces d'arbres intolérantes à l'ombre ainsi que la présence de nombreux sites ouverts (Bergeron *et al.* 1988; Brisson *et al.* 1988; Bouchard *et al.* 1989). En effet, le remplacement d'un système naturel par un autre contrôlé par les perturbations anthropiques a fortement influencé la composition et la productivité forestière de l'ensemble des forêts de cette région (Bouchard *et al.* 1989; Simard et Bouchard, 1996). C'est ce processus qui aurait favorisé des espèces de début de succession au détriment d'espèces de fin de succession (Meilleur *et al.* 1992; Stover et Marks, 1998). De plus, ce changement a créé des communautés d'arbustes et d'arbres normalement absentes ou du moins très restreintes lorsque les processus écologiques naturels prévalaient (Bouchard et Domon, 1997). Notamment par leur potentiel élevé d'inhibition de la succession vers la forêt (Meilleur *et al.* 1994), certains arbustes tels le frêne épineux (*Zanthoxyllum americanum*), l'aubépine (*Cratægus spp.*) et le vinaigrier (*Rhus typhina*) sont capables d'occuper à long terme la strate dominante dans le sud du Québec. L'abandon progressif, au cours du 20ème siècle, de certaines pratiques agricoles sur les dépôts glaciaires, dont le pâturage, a accentué l'apparition des arbustaies. Ces terres abandonnées par l'agriculture, présentent néanmoins une opportunité d'enrichissement en espèces d'arbres feuillus sur un territoire où le paysage forestier est à refaire (Bouchard et Domon, 1997).

La sylviculture intensive consiste en l'ensemble des intervention sylvicoles pratiquées dans les peuplements (naturels ou artificiels) afin d'en améliorer la valeur et le rendement (Service canadien des forêts, 2003). L'intensification des activités de reboisement à l'aide d'essences feuillues de qualité fait en outre partie des priorités québécoises en matière d'aménagement forestier (Québec, 1994). Cette volonté politique se reflète également dans les attentes des représentants locaux de la Montérégie en ce qui a trait à la mise en valeur de leur territoire (Agence forestière de la Montérégie, 2001). Ainsi, la définition de scénarios sylvicoles intensifs diversifiés, destinés à l'enrichissement du potentiel de production en feuillus nobles représente un impératif pour le développement de cette région ainsi que pour l'approvisionnement en bois à l'industrie.

Les dispositifs expérimentaux à l'étude

Les friches arbustives

Plutôt que de détruire ces milieux et planter en milieux ouverts sur des surfaces préparées, nos dispositifs valident les possibilités d'introduire le feuillus en maintenant une partie de la végétation en place. Nos deux dispositifs (5 sites : Madison, Misonne, Guillon, Caza, Trépanier) *i)* comparent notamment différentes positions des plants de feuillus par rapport à la végétation arbustive présente (centre de bandes ou en position Nord et Sud), *ii)* analyse la nécessité de façonner des bandes plutôt que des trouées et *iii)* soumettent plusieurs espèces à ces différents régimes.

Les peuplements de feuillus intolérants

Les deux dispositifs à analyser (5 sites : Bourdeau, Laplante, McNair, Grenier1, Grenier2) sont à différents stades de développement. Le premier (1998) a été extrêmement riche d'enseignement jusqu'ici quant à la nécessité d'un dégagement à la troisième année (2000), qui s'est avéré très profitable au chêne rouge mais qui aurait du être plus important pour favoriser tout autant le cerisier tardif. Les effets de nouveaux travaux de dégagement (février-avril 2005) sur la croissance et la lumière disponible pourront être relevés. Des plants dégagés en 2000 et 2005 et des plants uniquement dégagés en 2005 sont comparés.

Un second dispositif d'enrichissement dans ce type de peuplement sera établi au printemps 2005 (3 sites) dans des peuplements qui ont été étudiés préalablement (en 2004). Nous comptons alors analyser la réponse des plants en fonction des conditions variées de lumière. Il est nécessaire d'augmenter le nombre de parcelles expérimentales pour valider l'efficacité de l'enrichissement de ces peuplements; l'Agence, les conseillers, les propriétaires considèrent que la technique est d'un grand intérêt, mais les données scientifiquement validées sont encore assez restreintes. Ce volet reçoit déjà un financement FQRNT pour soutenir un(e) étudiant(e) à la maîtrise et la présente demande permettrait de contribuer à l'assistance et aux déplacements.

Les champs abandonnés

Les champs sont représentés par deux familles de dispositifs, *i)* où les feuillus nobles constituent la seule production et *ii)* où ils sont combinés à une production de peupliers hybrides.

i) Dans le premier cas, deux dispositifs intéressants installés en 1989 (Maufette) et 1999 (Péladeau) méritent d'être analysés. Celui de 1989 permettrait de vérifier les effets d'une éclaircie précoce. À 12 ans (en 2000), à près de 10m de hauteur, des chênes rouges et frênes rouges ont été éclaircis de 2500 tiges/ha à 800t/ha. Le dispositif permet de comparer des groupes de 49 arbres non éclaircis (espacement 2m X 2m) à des groupes de 49 éclaircis à 16 arbres. Le second dispositif établi en 1999 est construit de manière à vérifier l'effet de l'accompagnement latéral créé par des bandes de pins blancs ou de saules et l'accompagnement de proximité créé par des arbustes plantés sur le rang à 1 m de part et d'autre du plant. Ce dispositif possède la maturité pour y prélever des mesures de lumière disponible et de croissance des arbres afin d'amorcer la conclusion sur une telle pratique.

ii) Les milieux ouverts disponibles (champs) sont évidemment un milieu propice à la culture des peupliers. Nous cherchons à documenter davantage cette option sylvicole. Elle est pratiquée de façon rentable dans de nombreux pays, notamment européens où l'approche en est une de production de bois de déroulage de haute valeur. C'est dans cette optique que nous comptons analyser l'option. Plusieurs types de peupliers hybrides sont maintenant disponibles au Québec, testés pour leur rusticité et tolérance aux chancres. En les combinant sur un même site aux feuillus nobles, nous croyons pouvoir tirer plusieurs avantages qui ne sont pas détaillés dans le présent document. Cependant, pour conduire à bien la réussite de la populiculture, la multiplication des essais et expérimentations viendra préciser les voies du succès. Nous présentons un réseau de plantations expérimentales de PEH X feuillus nobles établis depuis 2000 qui est unique et qui se développe très bien (6 sites : Verteneuil, Caillé, Latreille,

McvCormick, Leblanc, Thibodeau). Nous cherchons à obtenir un excellent niveau de connaissance sur la croissance des différents clones en fonction des facteurs du sol (eau, éléments nutritifs).

Les friches arbustives

Débroussaillement et herbicide en friches arbustives

Les avantages liés à l'utilisation d'herbicide en plantation feuillue sont généralement reconnus (Davies, 1985, Von Althen, 1985, Cogliastro *et al.,* 1990, Nambiar and Sands, 1993, Lambert *et al.,* 1994, Cogliastro *et al.,* 1997). Cependant, la grande majorité des études portant sur la gestion de la compétition sont réalisées suite à une préparation mécanique du terrain qui réprime complètement la végétation en place. Or, certaines études démontrent que la compétition ligneuse induit des effets moins sévères que la végétation herbacée sur la croissance des arbres plantés (Cain, 1999, Bell *et al.,* 2000). En effet, l'ombre créée par les espèces arbustives et ligneuses pourrait représenter un stress suffisamment important pour limiter la croissance de la compétition basse et favoriser le développement des semis (Kolb *et al*., 1990).

En vertu de leur structure particulière comprenant un profil vertical bien développé, les friches arbustives pourraient se prêter à différents modes de gestion de la végétation. Ainsi, une certaine proportion des ligneux pourrait être conservée afin de réduire la quantité de lumière parvenant au niveau du sol et de la strate herbacée. Une séquence d'interventions sylvicoles ciblées, combinant à la fois des méthodes de répression mécanique et chimique de la végétation des arbustaies, pourrait donc être envisagée pour aménager les plantations feuillues établies dans ce type d'environnement.

Notre étude compare divers scénarios de maîtrise de la végétation arbustive en vue de favoriser la croissance de quatre espèces commerciales d'arbres feuillus plantés sur d'anciens pâturages de la MRC du Haut-Saint-Laurent. Les arbustes conservés au moment de la préparation du terrain pourraient contribuer à créer une ambiance propice pour la croissance des arbres valorisés : réduction des risques de bris par le vent, la glace et la neige ; diminution de la susceptibilité au broutage par le chevreuil; augmentation du taux de croissance en hauteur en réponse à un effet de gainage sur les plants. De plus, les traitements envisagés pourraient entraîner des modifications dans le régime lumineux au niveau du sol. Privées de lumière, les herbacées verraient ainsi leur développement restreint, sans qu'un recours à l'herbicide ne soit absolument requis.

Bilan de la première phase du projet

La première phase du projet, réalisée entre 1998 et 2000, a permis de démontrer le succès d'établissement des quatre espèces plantées dans les quatre traitements à l'essai (Benjamin, 2000 et Benjamin et al 2006). Les taux de survie enregistrés au terme de cette période dépassaient généralement 85%. Ces valeurs se comparent à celles obtenues dans le cadre d'études similaires (Hix *et al.,* 1994, Adams, 1997, Cogliastro *et al.,* 1997, McCormick and Bowersox, 1997). Parmi les espèces plantées, le frêne s'est distingué par une croissance supérieure sur deux des trois sites analysés et par une performance particulièrement bonne dans le débroussaillement le moins intensif.

Toujours durant la phase initiale de la plantation, les traitements ont eu un effet sur la disponibilité de la lumière à la hauteur de la cime des plants. Très significatives en 1998, les différences s'estompent en 1999 pour réapparaître en 2000, suite à une seconde application d'herbicide.

Les analyses de variance réalisées en 1998 et en 2000 ont permis d'identifier un effet significatif de l'application d'herbicide sur l'importance de la végétation de compétition présente en périphérie des arbres plantés. Cependant, aucune différence significative n'a été relevée entre les types de débroussaillement en ce qui concerne cette variable.

Entre 1998 et 2000, le type de débroussaillement a engendré des effets significatifs sur la croissance du frêne blanc et du noyer noir. De manière générale, la croissance du frêne a été favorisée par le débroussaillement partiel, alors que celle du noyer noir fut supérieure dans le débroussaillement total. Le rapport publié par Cogliastro *et al.* (2001) présente une synthèse de conclusions tirées au terme de la première phase du projet.

MÉTHODOLOGIE

La structure des dispositifs a été définie en vue de vérifier l'effet du mode de gestion de la végétation de compétition sur la croissance des plants en fonction des différents traitements. L'intensité du débroussaillement, seule ou en combinaison avec l'application d'herbicide, pourrait induire différents niveaux de compétition par la strate herbacée et les rejets ligneux. Établi sur la base d'un plan à parcelles partagées, chaque dispositif comporte trois blocs et supporte quatre espèces établies selon une séquence aléatoire. Chaque bloc est d'abord divisé en deux sous blocs selon le type de débroussaillement pratiqué : débroussaillement total (Dt) ou débroussaillement partiel par bandes de 2 mètres, laissant intactes des interbandes arbustives larges de 2 mètres (Db). Chacun des sous blocs est à son tour divisé selon le degré de répression exercé sur la végétation concurrente présente à 50 cm de part et d'autre de l'arbre : application d'herbicide glyphosate (DtH ou DbH) ou non (Dt et Db). D'abord réalisé au moment de la mise en place des dispositifs en 1998, le traitement herbicide a été répété une seconde fois à l'été 2000. L'opération consistait en une application localisée de glyphosate, le long des rangs d'arbres plantés. À l'intérieur d'un bloc, une parcelle correspond à un ensemble de 20 arbres d'une même espèce, établis sur deux rangées contiguës et soumis à une même combinaison de traitement. Dans chaque bloc, les arbres ont été plantés en respectant un espacement de 1 mètre sur le rang, le long de rangées équidistantes de 4 mètres (Figure 1).

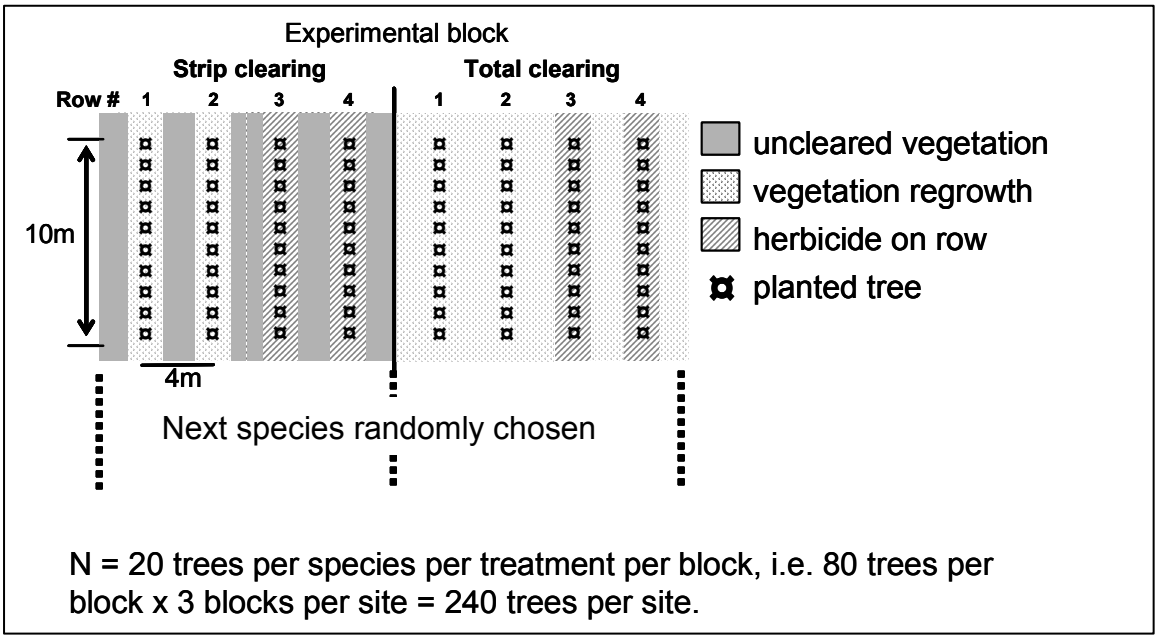


Figure 1: Représentation d'un bloc expérimental.

Les espèces plantées ont été choisies en fonction de leurs exigences et de leur tolérance respectives. Des considérations d'ordre économique, c'est-à-dire leur valeur sur le marché du bois d'œuvre, ont également guidé le choix des essences retenues. Parce qu'ils présentent une grande amplitude écologique, l'érable à sucre (Acer saccharum Marsh.) et le frêne d'Amérique (Fraxinus americana L.) ont été établis sur l'ensemble des sites (Cogliastro et al. 1997). Le noyer noir (Juglans nigra L.) a été planté sur les sites argile et loam puisqu'il se développe bien sur un sol riche et bien drainé (Williams, 1990). Considérant sa tolérance aux différents régimes hydriques et types de sol (Marquis, 1990), le cerisier tardif (Prunus serotina Ehrh.) a été retenu sur les sites loam et sable loameux. Les caractéristiques des sites de plantation sont inscrites dans le tableau 1.

Tableau 1 Caractéristiques générales des sites de plantations.

	Argile (site Guillon)	Loam (site Misonne)	Sable loameux (site Madison)
Drainage	Mauvais	Bon	Rapide
Dépôt	Glaciaire (dolomie)	Glaciaire (dolomie)	Tardi-glaciaire (grès)
Pierrosité (%)	<1	15	40
Argile (%)	48,07	22,2	11,14
Limon (%)	39,09	38,37	7,25
Sable (%)	12,84	39,44	81,61
Humidité du sol (%)	44,93	14,93	33,33
pH tampon	6,49	7,21	6,11
CEC	32,02	22,05	16,51
Ca (kg/ha)	7500	5822	1463
K (kg/ha)	419,8	270,6	147,4
Mg (kg/ha)	1523	1478	164
Mn (ppm)	35,53	234,04	103,02
N (%)	0,648	0,522	0,358
P (kg/ha)	40,83	23,48	68,25
C/N	11,41	11,91	9,41
Mg/Ca	0,339	0,426	0,187
K/Mg	0,089	0,059	0,292
K/Ca	0,0292	0,0245	0,0551
(Ca+Mg)/K	50,98	67,91	25,19
Matière organique (%)	12,68	10,72	5,78
Composition floristique d'origine (espèces dominantes (%))	Rubus idaeus(12,8%) Malus pumila (9,66%) Fragaria virginiana (8,5%)	Malus pumila (8,71%) Aster cordifolius (7,9%) Crateagus spp. (7,14%	Rhus typhina (18,93%) Fragaria virginiana (10,28%) Rubus idaeus (9,28%)
Hauteur moyenne de la communauté d'origine (mètres)	4,4	2,8	2,8
Espèces plantées	Acer saccharum Fraxinus americana Juglans nigra Betula alleghaniensis	Acer saccharum Fraxinus americana Juglans nigra Prunus serotina	Acer saccharum Fraxinus americana Prunus serotina Quercus rubra

Caractéristiques des sols, composition floristique et hauteur moyenne de la communauté : 1998.
Drainage et pierrosité : 1999.
Humidité des sols : moyenne des données de 1998, 1999 et 2000.

Les mesures réalisées à l'été 2005 (8 ans après la mise en terre), ont été concentrées sur un groupe d'arbres qui représente les arbres présélectionnés pour l'avenir, soit 4 dans 80m² = 500/ha (c'est probablement 2,5 fois trop). Ainsi, chaque arbre d'un même rang d'arbres de la même espèce a été examiné, puis deux ont été élus (sur 10) en prenant en considération leur forme, leur hauteur et leur vitalité. Lorsque que plusieurs spécimens répondant aux exigences étaient disponibles dans le même groupe, les arbres choisis n'étaient pas consécutifs. Ces individus ont subi une taille de formation lorsque nécessaire, puis ont été marqué au ruban forestier et numéroté pour faciliter le repérage lors les travaux subséquents. Au total, nous avons élu deux arbres par rang (2), par traitement (4), par espèce (4),et par bloc (3), pour un total de 192 arbres par site (128

pour le site Guyon, qui comprend 3 espèces, les bouleaux jaunes présentant trop peu de potentiel).

Lors d'une deuxième visite, des mesures de la compétition herbacée, arbustives et arborescente ont été exécutées (afin de rendre compte de la compétition basse, davantage associée à la compétition pour les éléments nutritifs du sol). Dans un premier temps, afin d'éviter un trop grand piétinement des plantes herbacées, un quadrat d'un mètre carré était installé au pied de l'arbre étudié, l'arbre servant de centre du quadrat. Le pourcentage de recouvrement de ce quadrat était estimé. Lors de cette estimation, seuls les végétaux ou les branches d'espèces ligneuses ayant une hauteur inférieure à 1,30 mètre étaient considérés. Par la suite, le type prédominant de plantes était identifiée (herbacées, ronces ou ligneux); sa part de recouvrement du quadrat ainsi que sa hauteur moyenne étaient approximées avant d'être notées.

Pour connaître la nature de la compétition exercée sur la cime des arbres plantés, l'espace au dessus de l'arbre a été divisé en quatre quadrants, l'arbre étant le point de rencontre de ces quadrants imaginaires. Dans chacun de ces quadrants, la branche compétitrice la plus proche en ligne droite du centre de l'arbre a été identifiée à l'espèce. Pour être considérée, cette branche devait se trouver plus haut que le sommet de l'arbre. De plus, si deux ou plusieurs branches se trouvaient à la même distance du centre de l'arbre dans un même quadrat, la branche qui se trouvait le plus haut (donc celle qui était susceptible de bloquer plus de lumière à l'arbre) était considérée. La distance entre l'extrémité de la branche et le centre de l'arbre a été mesurée à l'aide d'un mètre métallique. La hauteur de cette même branche a été estimée puis inscrite dans une classe de hauteur (1m à 2m, 2m à 3m, 3m à 4m, etc.).

Un suivi des paramètres de croissance des arbres sélectionnés comprenait, le diamètre au sol, le DHP (sur les arbres de plus de 1,30 de hauteur) et la hauteur totale de l'arbre, mesurée du pied de l'arbre au bout du bourgeon terminal. La hauteur à laquelle les branches débutent, c'est-à-dire la hauteur de la cime a été mesurée; les branches esseulées et erratiques à la base de l'arbre n'ont pas été prises en considération.

Pour effectuer les prises de données de lumière sur les arbres élus, nous avons utilisé la sonde Sunshine Sensor type BF2 (Delta-T™) et mesuré aux niveaux 1,30m, 2m et au sommet de la cime de l'arbre au début du mois d'août lors d'une seconde visite.

RÉSULTATS

Recouvrement de la strate herbacée à la périphérie de l'arbre

Sur le site sable loameux, le type de débroussaillement (total ou partiel) présente un effet sur le pourcentage de recouvrement de la strate herbacée périphérique ($p=0.0493$). La compétition herbacée est plus importante dans les parcelles qui ont été totalement débroussaillées, sauf dans les placettes de cerisiers tardifs où le recouvrement est plus important dans les bandes (interaction entre l'espèce et le type de débroussaillement

p=0.0335). Cependant, la différence de recouvrement entre les types de débroussaillement n'est pas toujours confirmée par un test de comparaison multiple des moyennes soulignant qu'il s'agit d'une tendance, sauf dans le cas des placettes de frênes où le recouvrement supérieur d'herbacées dans le débroussaillement total persiste encore avec une plus grande évidence. L'effet du type de débroussaillement sur la strate herbacée est donc assez variable après huit ans sur ce site. De son côté, l'effet du traitement herbicide, 6 ans après la dernière application (2000), est encore perceptible par la réduction de la hauteur du recouvrement de la compétition herbacée (p=0.0424).

Sur le site loameux, tout comme sur le site argileux, le type de débroussaillement, ainsi que l'application d'un traitement herbicide n'a plus d'effet notable sur les paramètres caractérisant la compétition périhérique basse, ce qui peut être associé à la plus grande richesse de ces sites offrant une possibilité de reprise vigoureuse de la compétition après traitement.

Paramètres de croissance des arbres

La survie des arbres n'a pas fait l'objet d'une analyse particulière ayant été évaluée en 2002 où elle s'était montrée supérieure à 70%.

Sur le site **sable-loameux**, la croissance des arbres n'est plus significativement différenciée en fonction des traitements de débroussaillement ou d'herbicide. Nous notons des différences de hauteur (p=0.0171) et de diamètre au sol (p=0.0065) entre les espèces de feuillus nobles : le frêne, le plus haut, le chêne le plus petit, les deux autres espèces présentent des dimensions intermédiaires aux premières (Figure 2). Les espèces de feuillus nobles diffèrent également entre elles en hauteur (p=0.0014) et en diamètre (p=0.0215) sur le site **loameux** (Figures 2). L'érable à sucre et le frêne présentent des moyennes supérieures de hauteur et de diamètre, alors que le noyer et le cerisier présentent les plus basses (Figure2). Sur ce site, le traitement herbicide, 6 ans après son application, montre un effet durable puisque la hauteur des arbres (p=0.0445) et le diamètre (p=0.0215) sont généralement améliorés par son usage (figure 2). Sur le site **argileux**, la hauteur des arbres plantés varie également entre les espèces (p=0.0021), le frêne étant le plus haut (figure 2). Le frêne et le noyer présentent des croissances supérieures par l'utilisation de l'herbicide lorsqu'il a été appliqué dans les parcelles de débroussaillement total (interaction entre les niveaux de traitement p=0,0147) (figure 2). Les effets des traitements sur le diamètre sont peu marqués.

Les espèces qui ont cru le plus rapidement en hauteur et en diamètre sont l'érable à sucre et le frêne d'Amérique; le noyer noir a aussi montré un bon potentiel sur un des sites (figure 2). Le cerisier tardif et le chêne rouge ont été plus lents. Pour le frêne d'Amérique et l'érable à sucre, le débroussaillement par bande donne des résultats de croissance très comparable au débroussaillement total de la surface (figure 2). Pour le site où le noyer noir a produit les résultats de hauteur supérieurs (Argile), le débroussaillement total avec herbicide a produit le plus de succès; notez également que le débroussaillement par bande avec herbicide a également produit des résultats intéressants sur ce site (figure 2). La croissance du cerisier tardif a été la meilleure sur un site avec le plus intense des

aménagements, débroussaillement total avec herbicide. Nous croyons que dans le contexte d'arbustaies aménagées, le lent démarrage d'un plant nécessite le maintien de l'ouverture du milieu pour une plus longue période, ce que le débroussaillement total avec herbicide peut le mieux apporter. Dans le cas d'une croissance initiale en hauteur forte, donc d'un démarrage rapide, comme celui réalisé ici par l'érable et le frêne, le traitement par bande avec ou sans herbicide permet de bons résultats de croissance. La qualité du démarrage peut-être fonction de plusieurs facteurs. Dans le présent dispositif, les années d'installation 1998 et 1999 avaient été qualifiées des deux printemps québécois les plus secs des cinquante dernières années. Nous avions également fait le choix d'arbres de faibles dimensions (1+0) pour assurer de standardiser les dimensions de départ, (les (2+0) n'étant pas disponibles pour toutes les essences. Des arbres de plus fortes dimensions auraient pu produire davantage et changer le profil des différences entre les espèces et entre les traitements, probablement en accentuant les avantages du débroussaillement par bande sur celui pratiqué sur toute la surface.

À ce stade-ci, retenons que le débroussaillement par bande, moins coûteux à pratiquer et qui modifie moins le paysage, produit des résultats satisfaisants. L'herbicide apparaît apporter encore un certain avantage. Son utilisation a ici été modérée (appliqué à l'an 1 et 3 seulement) et son application plus régulière à chacune des trois premières années (possiblement deux fois à la première année) pourrait accélérer le démarrage et la croissance en hauteur.

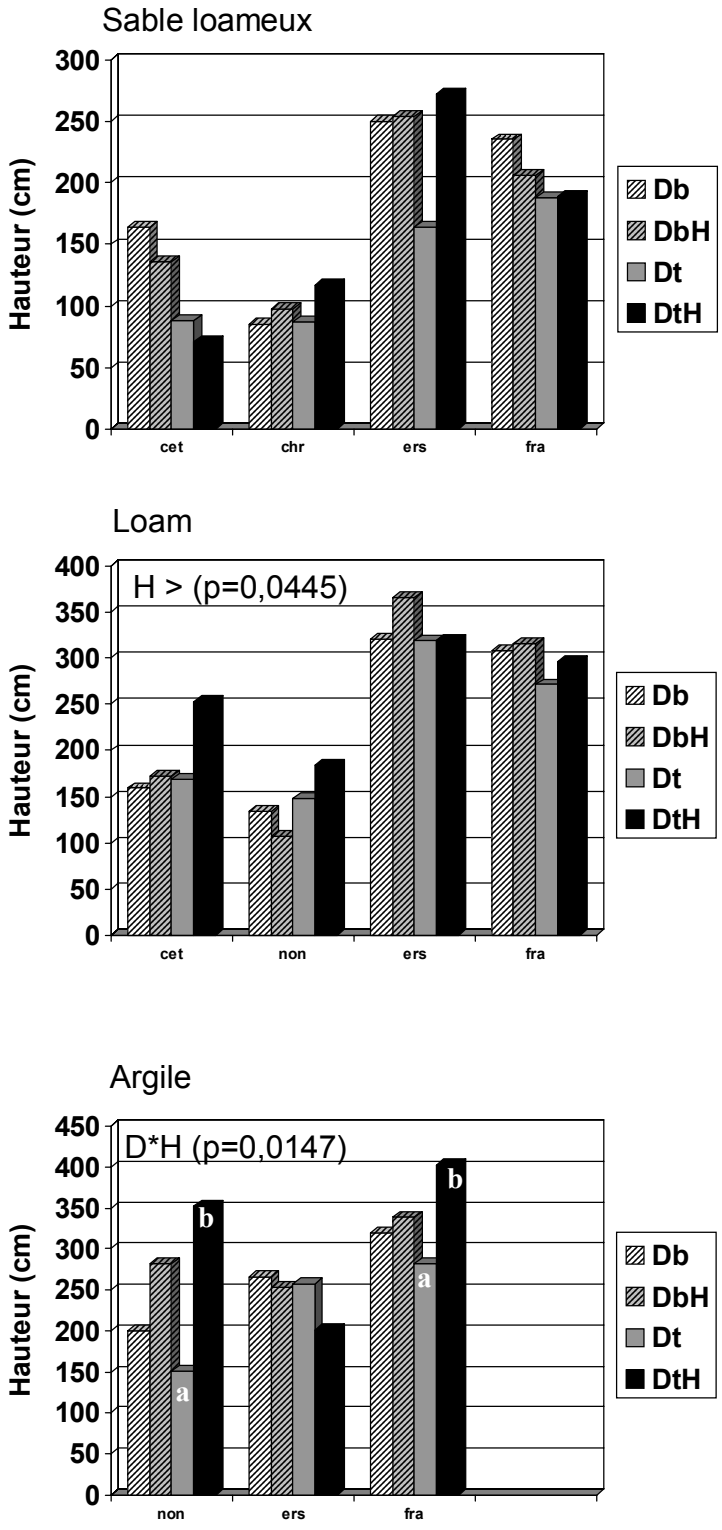


Figure 2 Croissance des espèces en fonction du type de débroussaillement et de l'utilisation de l'herbicide

Proximité des compétiteurs à la cime

En sol sable-loameux, la cime des arbres plantés est aujourd'hui entourée d'une végétation ligneuse dont l'intensité ne diffère pas statistiquement selon les traitements (figure 3). Les cimes de frêne d'Amérique et de chêne rouge sont cependant en moyenne à plus grande distance des compétiteurs par le débroussaillement total.

Sur le site loameux, la distance moyenne des compétiteurs ne diffère pas selon les traitements mais uniquement selon l'espèce d'arbre planté ($p=0.0347$). La distance moyenne des compétiteurs est plus élevée avec les frênes et les érables, alors que les cimes des cerisiers et des noyers sont, en moyenne, à plus grande proximité des compétiteurs (figure 3). Les frênes et les érables sont les espèces les plus hautes sur ce site, ce qui leur permet de dominer davantage la compétition périphérique.

Sur le site argileux, le débroussaillement total aura permis de produire des cimes d'arbre qui sont aujourd'hui davantage libre de croître ($p=0.0144$) (figure 3). Le frêne a un houppier davantage libre que les deux autres espèces en raison de sa forte hauteur, et ce notamment sous le traitement de débroussaillement total accompagné d'herbicide (Total * H) où le noyer noir performe également bien.

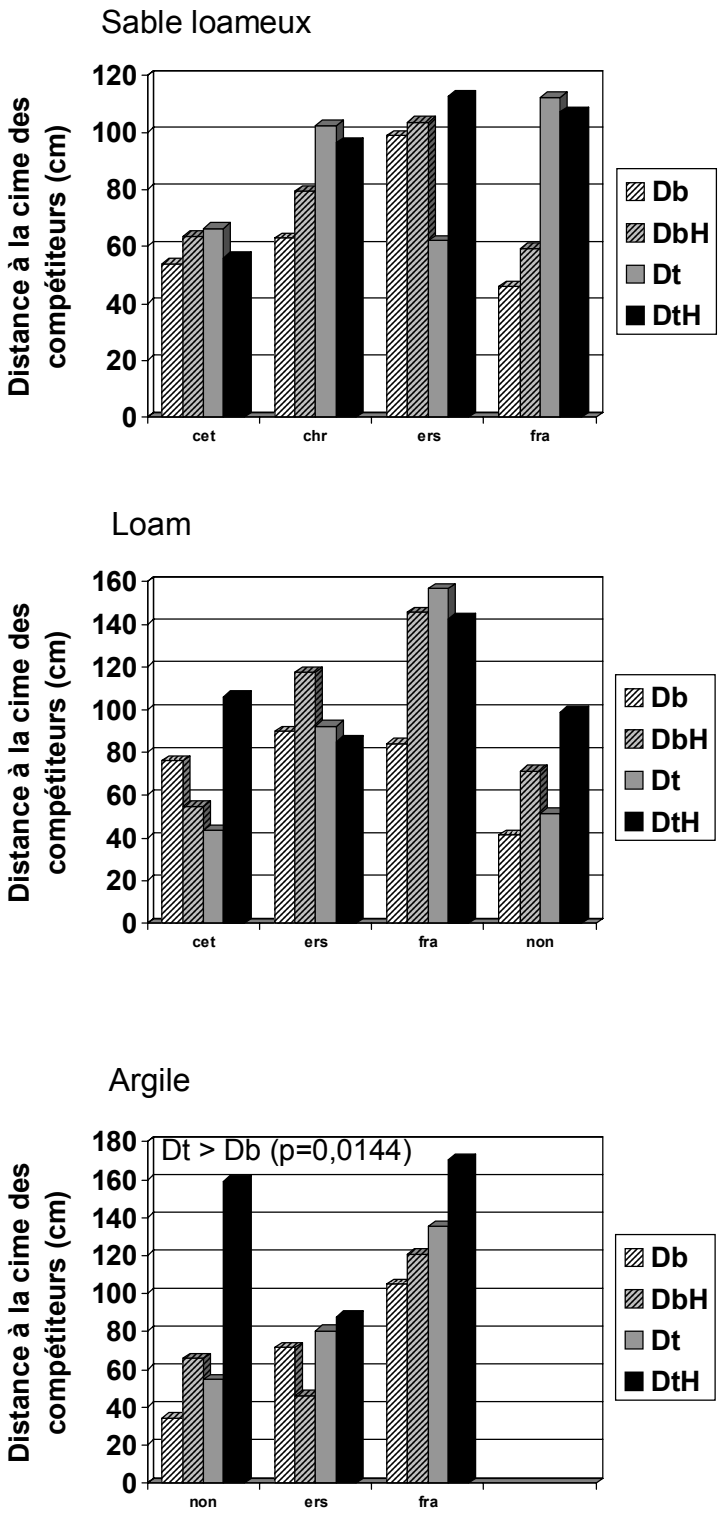


Figure 3 Proximité des compétiteurs à la cime des espèces plantées

Lumière parvenant à la cime des arbres

Sur le site sable-loameux, l'effet des traitements de débroussaillage et d'application d'herbicide sur la quantité de lumière reçue à la cime n'est plus statistiquement perceptible (Figure 4) mais de façon générale, le débroussaillement total montre une nette tendance, après 8 ans d'application, de permettre encore une plus grande disponibilité de la lumière ; c'est également le cas au site loameux (Figure 4) La cime des cerisiers tardifs du site sable loameux est en situation de faible disponibilité de lumière (<30%), sa faible croissance ne lui ayant pas permis d'atteindre une position favorable (Figure 4). Sur ce site, les chênes rouges et frênes d'Amérique installés dans les bandes débroussaillées sont également en situation de lumière inférieure à 30% en 2005: le traitement de débroussaillement total aura été plus favorable à ces espèces (Figure 4).

Au site argileux, les arbres du traitement débroussaillement total sont en meilleure position de réception de la lumière (p=0.0242). L'espèce (p=0.0035) semble un facteur plus déterminant pour la quantité de lumière reçue è la cime. En effet, les frênes reçoivent près de 50% plus de lumière que les érables et les noyers. Cela est dû au fait que les frênes mesurent en moyenne près d'un mètre de plus que les autres espèces et dépassent donc un plus grand nombre de compétiteurs. Le frêne à donc vu son exposition à la lumière s'accroître fortement de 1998 à 2005, peu importe le traitement et malgré la fermeture du milieu arbustif (Figure 4). L'érable à sucre sur ce site montre également une bonne progression de son exposition à la lumière, ce qui est également le cas du noyer noir, sauf dans le débroussaillement par bande sans application d'herbicide (Figure 4).

Sur l'ensemble des sites, la hauteur et le diamètre des arbres plantés en 1998 sont corrélés à la lumière parvenant à la cime en 2005 (tableau 2).

Tableau 2 Corrélation entre la lumière parvenant à la cime (2005) et la hauteur ou le diamètre des arbres plantés sur chaque site

		Corrélation	
		hauteur-lumière	diamètre-lumière
Loam-sableux	R	0,50	0,58
	prob	0,0001	0,0001
Loam	R	0,38	0,43
	prob	0,0001	0,0001
Argile	R	0,54	0,62
	prob	0,0001	0,0001

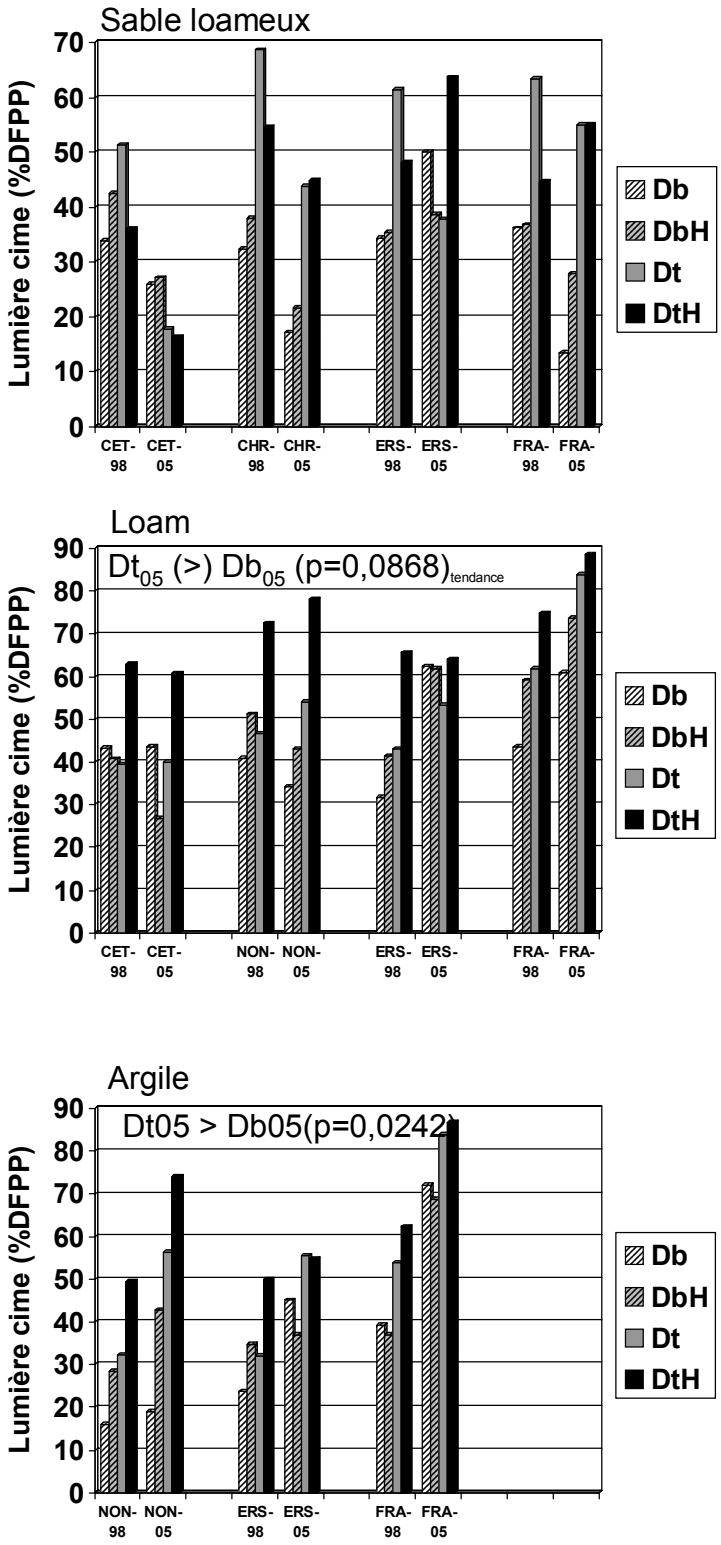


Figure 4 Proportion de lumière (%DFPP) parvenant à la cime en fonction des traitements

Lors du recensement de la compétition arborescente, la branche compétitrice la plus proche en ligne droite du centre de l'arbre avait été identifiée à l'espèce. Le tableau ci-dessous présente les quatre espèces dominantes sur chaque site et selon les traitements de débroussaillement et d'herbicide, qui environnent les arbres plantés.

Le site sable-loameux est dominé par le vinaigrier et recèle une bonne régénération naturelle d'érables à sucre et de chênes rouges récemment installée (tableau 3). Le site loameux représente également une arbustaie de vinaigrier (et de pommier nain) et où l'orme d'Amérique perce. Le site argileux est dominé par le pommier nain, le nerprun et la viorne et est aussi occupé par l'orme d'Amérique (Tableau 3). Le site loameux est le site qui a la plus grande diversité et ou les écarts d'importance entre les espèces sont les moins grands.

Tableau 3 Espèces compétitrices dominantes sur chaque site, en fonction du traitement.

	Site sable loameux	**Site loameux**	**Site argileux**
Compétition floristique dominante débrous-saillement par bandes (% de fréquence dans le traitement)	Sumac vinaigrier (30.9) Érable à sucre (22.7) Chêne rouge (8.7) Aubépine (6.8)	Orme d'Amérique (21.6) Sumac vinaigrier (17.2) Pommier (16.9) Aubépine (15.0)	Pommier (48.0) Orme d'Amérique (14.2) Nerprun cathartique (10.2) Viorne lentago (9.8)
Compétition floristique dominante débrous-saillement total (% de fréquence dans le traitement)	Sumac vinaigrier (40.6) Chêne rouge (17.6) Cerisier tardif (10.4) Érable à sucre (7.5)	Sumac vinaigrier (27.2) Orme d'Amérique (13.1) Pommier (11.0) Peuplier faux-tremble (9.2)	Pommier (36.4) Nerprun cathartique (15.5) Viorne lentago (12.3) Orme d'Amérique (8.6)
Compétition floristique dominante sans traitement herbicide (% de fréquence dans le traitement)	Sumac vinaigrier (34.1) Érable à sucre (16.5) Chêne rouge (14.5) Érable rouge (7.5)	Sumac vinaigrier (27.8) Pommier (14.5) Orme d'Amérique (14.5) Aubépine (12.0)	Pommier (41.7) Viorne lentago (14.0) Orme d'Amérique (11.1) Nerprun cathartique (10.6)
Compétition floristique dominante avec traitement herbicide (% de fréquence dans le traitement)	Sumac vinaigrier (36.7) Érable à sucre (14.8) Chêne rouge (11.2) Cerisier tardif (10.7)	Orme d'Amérique (21.0) Sumac vinaigrier (15.4) Pommier (11.9) Aubépine (8.7)	Pommier (44.4) Nerprun cathartique (14.6) Orme d'Amérique (12.6) Viorne lentago (7.1)

Débroussaillement par bandes en friches arbustives et différentes modalités d'installation et d'entretien des plants

Nous croyons nécessaire d'évaluer plus à fond le potentiel de reboisement en espèces d'arbres feuillus des milieux de transition. En effet, la plantation en friche arbustive au Québec est peu développée et a été peu étudiée. L'analyse comparée des effets d'un débroussaillement total et d'un débroussaillement par bande sur la croissance a démontré l'efficacité de la technique alternative (débroussaillement par bande) pour le dégagement des arbres feuillus en plantation en arbustaies. Le débroussaillement par bande peut cependant être réalisée selon différents degrés de proximité entre la végétation résiduelle et les arbres plantés. Peu d'études à ce jour se sont intéressées aux effets de la distribution de la végétation ligneuse laissée en place relativement à la position de la régénération artificielle dans une communauté arbustive aménagée par bandes Il devient donc intéressant de développer un projet de recherche visant une meilleure connaissance des effets de l'aménagement de ces milieux afin de comprendre comment la végétation voisine des plants affecte leur croissance.

L'ambiance forestière créée par le maintien d'une végétation d'accompagnement pourrait modifier la quantité et la qualité de la lumière parvenant aux jeunes plants (Cannell et Grace, 1993; Schmitt et Wulff, 1993; Messier *et al.* 1998), les conditions climatologiques diurnes (Man et Lieffers, 1999), l'humidité de l'air (Collet et Frochot, 1992), la forme des arbres (Hubert, 1987; Beaudet et Messier, 1998; Schütz, 2001; Pommerening et Murphy, 2004), la compétition périphérique (Goldberg et Landa, 1991; Putz et Canham, 1992; Truax *et al.* 2000; Carnevale et Montagnini, 2002; Agestam *et al.* 2003) la teneur en eau du sol (Childs et Flint, 1987), les différents nutriments du sol (Binkley, 1984; Prescott, 1997), la prédation (Morgan, 1991; Truax *et al*. 2000) et les dommages associés au gel (Langvall et Orlander, 2001; 2002). De plus, des avantages économiques associés à la réduction de l'application d'herbicide et à des coûts moins élevés de débroussaillement pourraient découler d'une approche de plantation, avec accompagnement de la végétation en place, dans les arbustaies.

Ainsi, à partir de communautés arbustives aménagées par bandes, les objectifs spécifiques de recherche poursuivis sont d'analyser sur deux sites les effets de trois traitements qui induisent différents degrés d'influence de la végétation d'accompagnement sur les plants d'arbres feuillus de quatre espèces.

MÉTHODOLOGIE

Le dispositif expérimental, installé au printemps de 2002, a été défini en vue d'analyser l'ambiance engendrée par la végétation en place et de comprendre ses effets sur la croissance et le développement de plants de feuillus établis au sein des traitements appliqués de façon identique sur deux sites. Au sein de friches arbustives à couvert continu, des ouvertures par bande ont été pratiquées par débroussaillement mécanisé.

La structure du dispositif comprend un plan d'expérience en trois blocs aléatoires complets. Trois différents types de traitements de débroussaillement par bande ont été désignés aléatoirement dans chaque bloc. Ainsi, trois blocs expérimentaux composent chacun des sites où se succèdent aléatoirement les trois différents traitements. Les neuf bandes créées sont orientées est-ouest de manière à obtenir un ensoleillement constant selon l'axe du soleil dans la journée (Lamprecht, 1989; Adjers et al. 1995). La coupe par bande fut effectuée, au mois de mai 2002, de manière mécanique à l'aide d'un tracteur forestier muni de marteaux déchiqueteurs rotatifs (Fecon Bullhog®).

Deux des trois traitements procèdent par l'ouverture de bandes d'une largeur de 5m (avec interbande de 5m) alors que le troisième traitement est représenté par une largeur d'ouverture de bande de 3m (avec interbande de 7m). À partir de cette succession de bandes de végétation résiduelles et de bandes de végétation coupée caractérisant le nouveau milieu, deux approches ont été mises en place afin de conserver une végétation dans le voisinage des plants. Une première concerne le cas des bandes ouvertes à 3m de largeur où les plants sont installés à l'intérieur de trouées de 1,5 mètre de diamètre pratiquées dans la marge des bandes résiduelles; ce traitement est nommé « trouée » (Tableau 4). La seconde approche propose de reboiser les plants au centre de la bande débroussaillée. Avec l'objectif d'accentuer les effets de la végétation d'accompagnement en périphérie du plant, cette seconde approche fait l'objet de deux types de dégagement des plants. Un dégagement ciblé, où seule la cime du plant est maintenue libre de croître par l'ouverture d'un puits de lumière de 60cm de rayon (traitement nommé « accompagné »), s'oppose à l'approche classique qui consiste à éliminer complètement la végétation concurrente présente dans l'environnement immédiat du plant sur 60cm de rayon (traitement nommé « dégagé ») (Figure 5).

Tableau 4 Principales caractéristiques des traitements à l'étude

Type de traitement	Caractéristiques et interventions associées à chacun des traitements				
	Largeur de l'interbande	Largeur de la bande dégagée	Disposition des plants	Espacement des plants sur le(s) rangs	Interventions 2003
« trouée »	7 mètres	3 mètres	Dans des trouées situées à 1 mètre de la bande dégagée au sein de l'interbande du coté nord et sud	2 rangs de chaque côté de la bande dégagée, espacement de 3 mètres entre les plants	Dégagement total en périphérie immédiate du plant (1,50 mètre de diamètre)
« accompagné »	5 mètres	5 mètres	Au centre de la bande dégagée sur deux rangs espacés de 1 mètre	Espacement de 3 mètres entre les plants, les deux rangs disposés en quinconce.	Dégagement de la cime des plants en périphérie immédiate (1,50 mètre de diamètre)
« dégagé »	5 mètres	5 mètres	Au centre de la bande dégagée sur deux rangs espacés de 1 mètre	Espacement de 3 mètres entre les plants, les deux rangs disposés en quinconce.	Dégagement total en périphérie immédiate du plant (1,50 mètre de diamètre)

Dans ces deux traitements (acco et dega), les plants sont situés au centre de la bande ouverte, en quinconce, selon deux rangs distants de 1m et où l'espacement sur le rang est de 3m.

Le traitement « trouée » consiste à installer le plant dans une mini trouée circulaire de 1,5m de largeur pratiquée dans la bordure de la végétation des interbandes; les plants occupent donc le nord et le sud de la bande ouverte et sont donc soumis à différentes ambiances lumineuses (Figure 5). Ce traitement a été considéré comme induisant deux traitements distincts nommés trouée nord (trnd) et trouée sud (trsd) (Figure 5). Sur chacun des rangs nord et sud de ce traitement, les plants sont espacés de 3m.

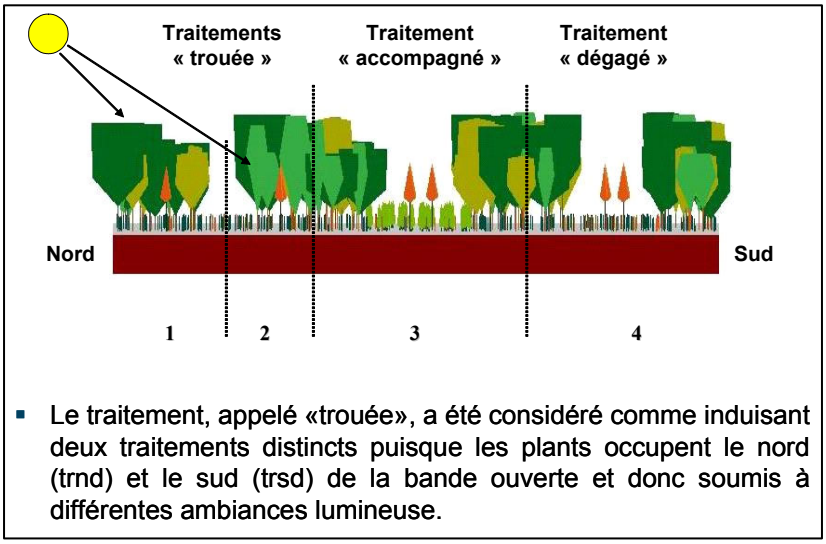


Figure 5 Représentation graphique des 4 différents types de traitements

La mise en terre des plants a été réalisée les 24 et 27 mai 2002 sur les sites Trépanier et Caza, respectivement. Les plants sont disposés sur les traitements par parcelle de 4 à 6 plants consécutifs selon une séquence aléatoire permettant une représentativité minimale d'une parcelle par espèce par rang . La densité reboisée est d'environ 650 tiges/ha pour chacun des traitements.

Au début de chaque saison de croissance, l'ouverture de corridors (sentier d'une largueur de 1m) par débroussaillage manuel, respectant l'interbande, a été réalisée directement au sud des bandes dégagées dans le cas des traitements « accompagné » et « dégagé » afin d'accéder facilement aux plants et de favoriser la pénétration de la lumière.

La plantation fut réalisée manuellement sur les deux sites à partir de plants d'arbres provenant de la pépinière de Berthier. L'érable à sucre, le noyer noir, le chêne à gros fruits et le cerisier tardif sont à l'étude de façon à analyser plusieurs espèces de haute valeur. Le choix de ces espèces est en accord avec leurs exigences écologiques. Ainsi, l'érable à sucre fut privilégié compte tenu de sa grande amplitude écologique (Godman et al. 1990; Cogliastro et al. 1997). Le noyer noir et le cerisier tardif, performants sur un sol riche présentant de bonnes conditions de drainage, furent également sélectionnés pour la plantation (Marquis, 1990; Williams, 1990). Finalement, le choix du chêne à gros fruits s'explique par son amplitude écologique modéré allant des sols argileux jusqu'aux loams sablonneux. Par contre, aux latitudes élevées, le chêne à gros fruits est toutefois limité aux dépôts à drainage modéré et aux sols contenant une proportion d'argile appréciable (Johnson, 1990). Les caractéristiques des sites de plantation sont inscrites dans le tableau 5. Retenons que le site Caza, plus pierreux et relativement plus ouvert (plus jeune), présente des conditions de sol plus sèches que le site Trépanier.

Tableau 5 Caractéristiques générales des sites du dispositif expérimental

Caractéristiques	Site Caza	Site Trépanier
Drainage	Bon à rapide	Bon à moyen
Dépôt	Glaciaire (dolomie)	Glaciaire (dolomie)
Pierrosité (%)	11-15	6-10
Forme et grosseur des fragments	Graveleux à caillouteux	Graveleux à pierreux
Classe texturale dominante	Loam / Loam sableux	Loam argileux
Argile (%)	16,0	25,2
Limon (%)	41,5	43,7
Sable (%)	42,5	31,1
pH	7,29	7,19
CEC	15,3	14,5
K (kg/ha)	140	163
Mg (kg/ha)	1172	1040
Ca (kg/ha)	4501	4166
P (kg/ha)	8	<5
Al (ppm)	694	686
Composition floristique d'origine (3 espèces dominantes (% de recouvrement du couvert))	*Zanthoxyllum americanum* (31,1) *Rhamnus catharticus* (16,8) *Cornus obliqua* (9,8)	*Zanthoxylum americanum* (58,4) *Rhamnus catharticus* (14,2) *Crategus sp*. (5,4)
Hauteur moyenne de la communauté d'origine (m)	4-6	6-9
Age moyen de la communauté d'origine	25-29 ans	34-38 ans

Pour assurer le maintien de l'effet des traitements, un rafraîchissement de ces derniers a été exécuté à la fin du mois de juin 2005 (comme en 2002, 2003 et 2004). Ainsi, la végétation compétitrice autour des arbres se trouvant dans le traitement «déga» a été rabattue au sol dans un rayon de 60cm; la végétation en compétition avec les arbres se trouvant dans le traitement «acco» a été rabattue juste au dessous de la cime de l'arbre. Les corridors ont également été débroussaillés à nouveau pour faciliter l'accès aux arbres.

À la fin de septembre 2005, la croissance des feuillus sur les sites Caza et Trépanier a fait l'objet d'un suivi. Ainsi, tous les feuillus nobles ont vu leur le diamètre au sol mesuré à l'aide d'un vernier électronique. Cette mesure était toujours exécutée dans le sens du rang, sens qui avait été établi comme référence. La hauteur totale de l'arbre était mesurée, avec un mètre métallique, perpendiculairement au sol, du pied de l'arbre au bout du bourgeon terminal. Comme la mesure désirée était la hauteur de l'arbre et non pas sa longueur, les troncs n'étaient pas redressés.

Pour effectuer les prises de données de lumière, lors de la dernière semaine de juillet, nous avons utilisé la sonde Sunshine Sensor type BF2 (Delta-T™), composée de sept quantum sensor (400-700nm ($\mu Em^{-2}s^{-1}$) – cosine-corrected) et d'un dôme hémisphérique sur lequel est imprimé un masque de telle façon qu'à tout moment, peu importe l'orientation de la sonde et l'heure du jour, au moins l'un des quantum sensor se trouve en lumière diffuse et un autre en lumière directe. La sonde BF2 rencontre les normes établies pour la mesure de la lumière sur station météorologique (Wood et al. 2003). La

sonde est reliée à un ordinateur portable (PSION Workabout™) et donne trois signaux ; la quantité de lumière diffuse, la quantité de lumière totale, et un signal binaire indiquant la présence de lumière directe (calculé à partir d'un seuil pré-établi). Seul le signal de lumière diffuse nous intéresse ici. En effet, même en milieu ouvert, la sonde permet toujours la mesure de la lumière diffuse disponible. Une deuxième sonde quantum est placée en référence le plus haut possible à proximité dans un champ ouvert pour le calcul du %PAR (%PAR = PAR in situ / PAR référence). Ces mesures de lumière ont été prises sur certains sujets seulement, la liste étant établie à partir d'un choix restreint, mais systématique. Ainsi, quatre données ont été prises par arbre : 50cm, 150cm, 200cm et au sommet de sa cime. Une règle était utilisée pour s'assurer que la sonde soit bien aux hauteurs désirées, les branches qui se trouvaient très près de la sonde étaient retirées avec la main pour ne pas créer un «mur» d'ombre sur cette dernière. Une seule mesure par point d'échantillonnage était réalisée et elle était synchronisée avec celle obtenue à l'extérieur du site, en milieu ouvert, par un lien radio entre les deux opérateurs. Cette opération est à recommencer pour chaque hauteur.

RÉSULTATS

Croissance des arbres

Tant sur le site Caza que chez Trépanier, les différences de croissance entre les traitements ne sont pas significatives, sauf dans le cas du chêne à gros fruits ($p=0.0406$) chez Caza. Ainsi, sur ce site, les chênes sont plus hauts dans les traitements « trouées sud » et « maîtrise ». Il y a donc une grande variabilité de croissance qui n'est pas associée aux traitements. Nous commenterons donc en fonction des moyennes observées sur les graphiques.

Sur le site Caza, malgré une descente de cime entre 2002 et 2003 dans le traitement « maîtrise », le noyer noir progresse de façon équivalente dans les différents traitements (figure 6). Quant à l'érable à sucre, les moyennes des hauteurs de 2005 se situent sous les valeurs lors de l'implantation du dispositif, en 2002 (figure 6), à cause des descentes de cime constatées dans tous les traitements. La hauteur du cerisier tardif a tendance à être favorisée par les traitements « trouée nord et maîtrise » et celle du chêne à gros fruits est significativement favorisée par les traitements «trouées sud» et «maîtrise»; des descentes de cime sont notables pour cette espèce dans les autres traitements (figure 6). Le site Caza, plus sec, aura engendré davantage de réduction de croissance que le site Trépanier.

La figure 6 montre une bonne progression en hauteur de toutes les espèces sur le site Trépanier. La progression la plus constante, et ce, dans tous les traitements, est celle du noyer noir; elle est ce pendant légèrement réduite dans la « trouée sud ». La « trouée nord » est par ailleurs la plus défavorable chez le cerisier et le chêne à gros fruits. L'érable tend à s'accroître davantage dans les « trouées sud ». Les traitements «accompagnement » et maîtrise sont particulièrement favorables à l'accroissement en hauteur des cerisier, chêne à gros fruits et noyer noir (figure 6).

Le taux de survie général des arbres quatre ans après la plantation est très satisfaisant sur les deux sites et ne dépend pas des traitements. En effet, il varie entre 85 % et 100% chez Trépanier et entre 88% et 100% chez Caza selon l'espèce et le traitement (tableau 6). L'érable à sucre est l'espèce qui a le taux de survie inférieur sur chacun des sites (jusqu'à 72% dans les trouées sud de Trépanier). Étrangement, bien qu'il produise le plus bas taux de survie de l'érable chez Trépanier, ce traitement permet une survie de 100% aux autres espèces, et ce, sur les deux sites. Par ailleurs, le chêne a un taux de survie de 100% chez Trépanier et le cerisier a une survie de 97.87% chez Caza.

Les résultats de croissance obtenus de l'approche adaptée aux arbustaie qui est proposée ici, ne permettent, pas à ce stade-ci, de statuer avec précision sur le traitement le plus efficace pour optimiser la croissance des plants. L'ensemble des traitements permet cependant de bons résultats et peuvent être préconisés. Le suivi à plus long terme demeure essentiel pour éventuellement départager l'efficacité des traitements. Le cas des traitements «troués» est particulièrement intéressant à suivre puisque nous préconisons pour ce traitement une ouverture par le haut à la cinquième année (2006), la réaction à l'ouverture est à suivre. Nous soulignerons que le site le plus sec (Caza) présente plus de contraintes à la croissance. Dans ces conditions plus sèches, le traitement limitant le moins la compétition pour l'eau devrait conduire aux meilleurs résultats. Sur le site Caza, nous avons constaté que la strate herbacée était relativement abondante (site plus jeune) comparativement au site Trépanier. Une maîtrise de cette végétation (paillis, herbicide) aurait probablement rehaussé les résultats sur ce site, en induisant une plus grande disponibilité de l'eau.

Les conditions de lumière sont ici présentées et leur intérêt réside dans le suivi de leur évolution au cours du temps et de la relation à la croissance.

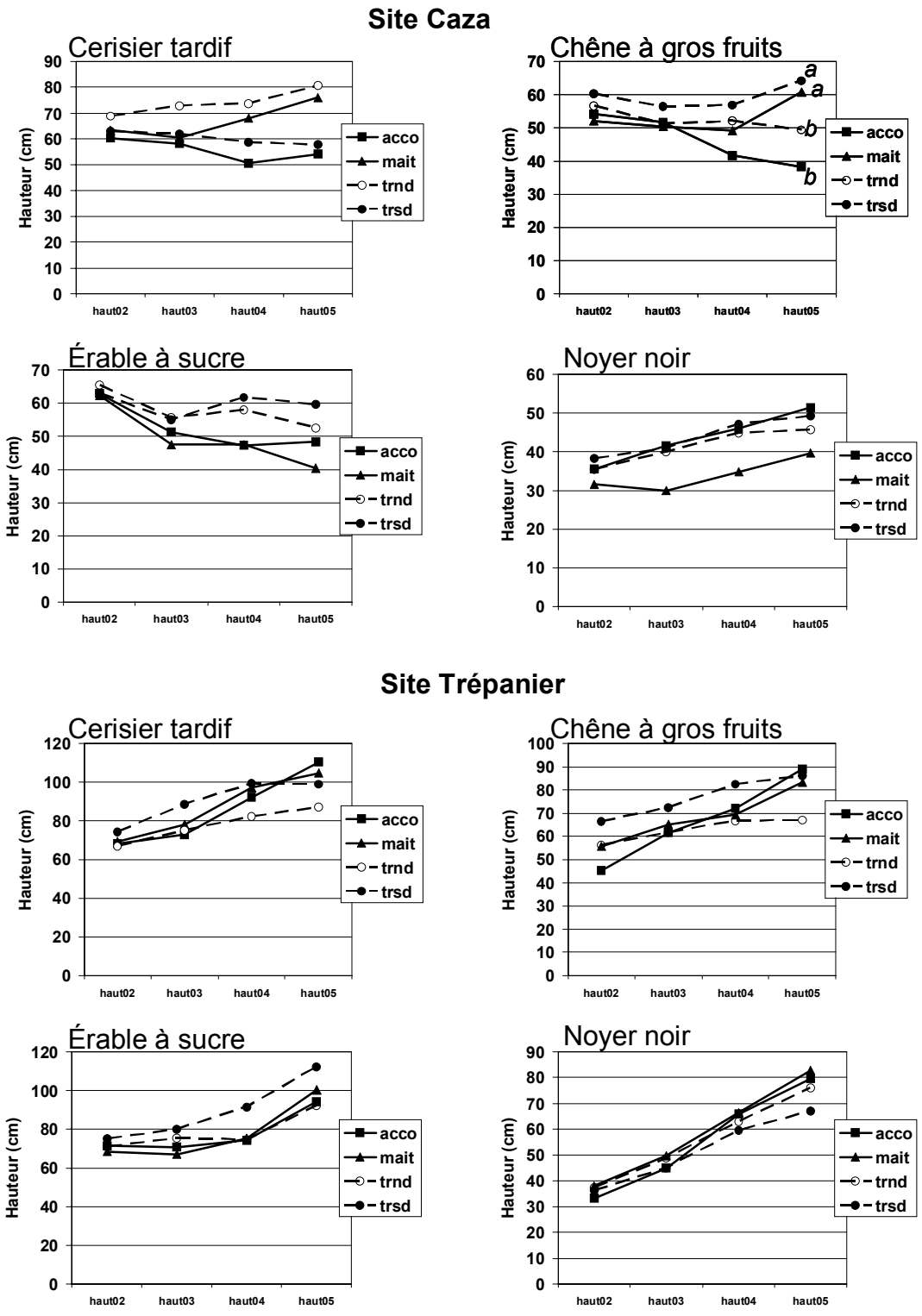


Figure 6 Évolution des hauteurs moyennes des espèces plantées sur le site Caza et Trépanier selon les différents traitements.

Tableau 6 Taux de survie des différentes espèces, selon les traitements, chez Caza et Trépanier

Espèces	CET		CHG		ERS		NON	
traitement	Caza	Trépanier	Caza	Trépanier	Caza	Trépanier	Caza	Trépanier
acco	100.00	97.87	100.00	100.00	92.59	85.00	95.24	96.00
mait	93.33	100.00	88.89	100.00	93.33	94.74	96.30	96.00
trnd	100.00	86.67	100.00	100.00	100.00	85.71	90.00	98.15
trsd	100.00	100.00	100.00	100.00	100.00	72.00	100.00	100.00
Total	97.87	97.54	95.24	100.00	95.24	86.71	95.52	97.06

Lumière disponible

Sur le site Caza, les traitements ont un effet significatif sur la lumière disponible pour toutes les espèces, sauf dans le cas du noyer à 150cm et du cerisier à 200cm. À une hauteur de 50cm, la lumière est plus importante dans le traitement maîtrise appliqué aux érables (p=0.0082) et aux noyers (p=0.0026), suivi de près par le traitement accompagnement, et des trouées sud et nord.

À 150cm, l'ordre des traitements permettant la plus grande pénétration de la lumière ne change pas selon les espèces avec lesquelles elles sont significatives (érable p=0.0016; cerisier p=0.0060; chêne p=0.0019) : le traitement maîtrise laisse passer plus de lumière, suivi de l'accompagnement et des trouées nord et sud.

La figure 7 montre bien que chez Caza, les trouées laissent passer moins de lumière à 50cm et à la cime que les deux autres traitements. Mises à part trois exceptions (cerisier-accompagnement, érable-accompagnement et cerisier-maittrîse), la quantité de lumière reçue à la cime diminue entre 2004 et 2005 (Figure 7). Le même phénomène s'observe quant à la quantité de lumière disponible à 50cm (les exceptions sont les mêmes que celles mentionnées ci haut).

Les relations significatives sont moins nombreuses sur le site Trépanier. Le type de traitement n'induit pas de différence de la quantité de lumière disponible à la cime et à 200cm dans les parcelles cerisiers, ni à 150cm dans les parcelles érables (figure 8). Cependant, la lumière disponible à 50cm diffère toujours selon les traitements, les trouées permettant moins de lumière transmise que les traitements accompagnement et maîtrise (figure 8). Les traitements se classent également de la même façon pour la lumière disponible à la cime des érables (p=0.0118) et des chênes (p=0.0186). Dans 75% des cas, le taux de lumière disponible en 2005 est plus bas qu'en 2002, témoignant de la fermeture du milieu (figure 8).

La figure 9 intègre l'ensemble des mesures de lumière réalisées en 2005. Les traitements trouées produisent des conditions de faible luminosité. Les corrélations montrent cependant que la croissance en hauteur des espèces est négativement corrélée à la lumière mesurée à 150 cm (tableau 7), ce qui souligne que l'adaptation des espèces peut permettre le maintien d'une partie de la végétation arbustive périphérique. Il faut ce

pendant optimiser cet accompagnement. Le suivi à plus long terme permettra des conclusions plus précises à cet effet.

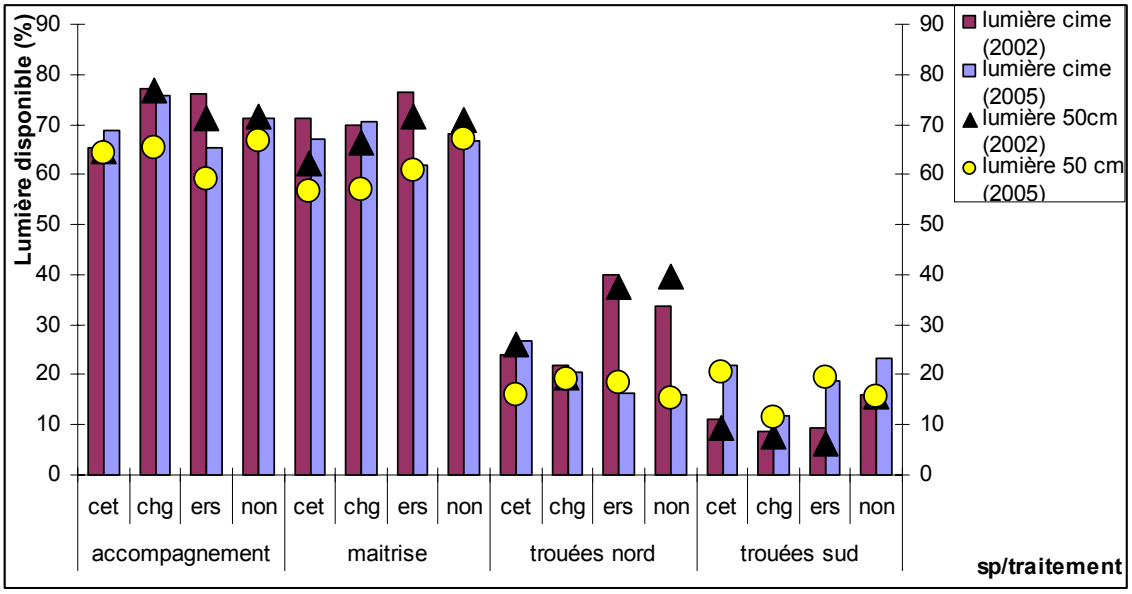


Figure 7 Évolution de la lumière moyenne disponible chez Caza à 50cm et à la cime.

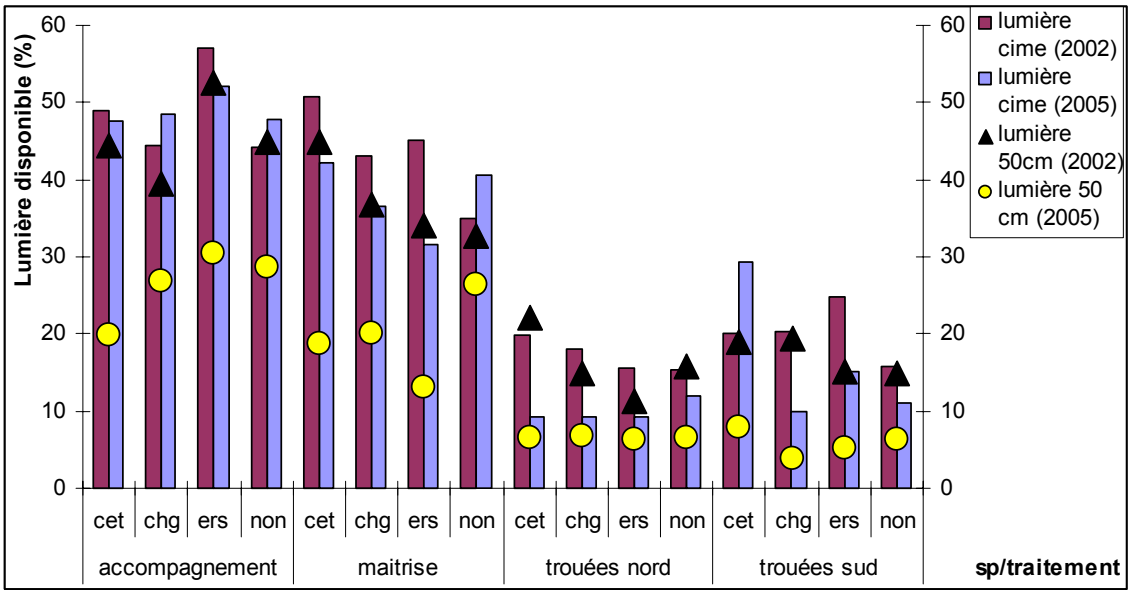


Figure 8 Évolution de la lumière moyenne disponible chez Trépanier à 50cm et à la cime.

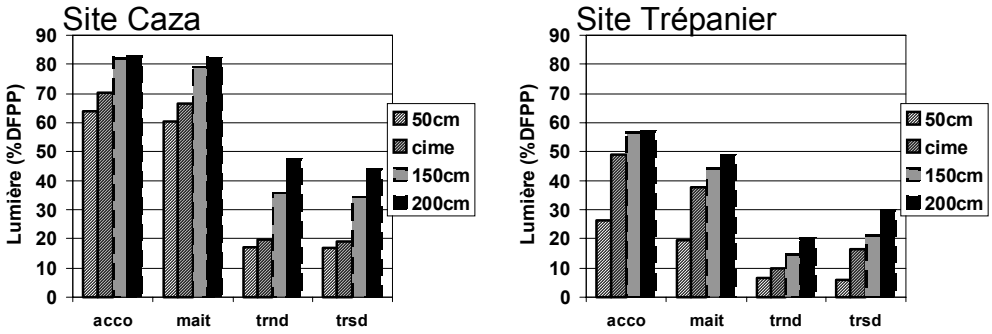


Figure 9 Synthèse de la variation des conditions de lumière en 2005 à différentes hauteurs selon les traitements sur chaque site

Tableau 7 Corrélations entre la hauteur des espèces et la lumière mesurée à 150cm

		Corrélation Hauteur-Lumière	
		Caza	Trépanier
Érable à sucre	R	**-0,43**	**-0,48**
	prob	**0,0099**	**0,0014**
Noyer noir	R	**-0,54**	**-0,33**
	prob	**0,0049**	**0,0005**
Chêne à gros fruits	R	**-0,599**	-0,23
	prob	**0,0016**	0,18
Cerisier tardif	R	**-0,44**	**-0,32**
	prob	**0,0107**	**0,0337**

Les champs abandonnés

ACCOMPAGNEMENT PAR DES ARBUSTES PLANTÉS

Sylviculture des feuillus nobles en accompagnement : suivi des dispositifs

Introduction générale

Le présent projet initie l'essai de méthodes d'installation de feuillus (noyer noir, chêne rouge et frêne d'Amérique) en accompagnement avec des arbustes plantés à proximité des arbres d'avenir et visant à créer artificiellement et rapidement une ambiance forestière sur des champs agricoles abandonnées.

La plantation d'arbres feuillus en milieux ouverts (champs) pose un certain nombre d'exigences particulières pour le propriétaire, présente une faible diversité en espèces et peut paraître déficient sur le plan de la qualité paysagère. Les jeunes plants d'arbres isolés deviennent également des cibles visibles pour les brouteurs tel que le chevreuil. Le peu de diversité structurale (arbres de même dimension et à espacement régulier) n'avantage pas la diversité faunique. La plantation traditionnelle ne comprend pas non plus une succession végétale prévisible car en finalité, tous les arbres devraient être récoltés au même moment. Les concepts d'accompagnement présentés ici permettent, par l'intégration de d'autres espèces, d'augmenter les qualités structurales de la plantation. Des arbustes et des espèces d'arbres dont la croissance est différenciée par rapport aux feuillus nobles apportent cette diversité structurale (avec un possible avantage économique). Ces espèces compagnes agiront également sur le développement des feuillus plantés (qualités fonctionnelles). Leur impact sur la lumière disponible permet d'envisager une réduction des tailles de formation et d'élagage sous l'effet de l'ambiance forestière créée par l'accompagnement cultural dont l'effet de protection pourrait également permettre d'accélérer la croissance des espèces et réduire les impacts du frottis du chevreuil.

Ce dispositif, sur un site (Péladeau), comprend l'installation d'abri latéraux (pins blancs, saules) et/ou d'espèces arbustives en accompagnement rapproché (argousiers, chalefs, saules), afin de «tirer» les arbres vers la lumière et de limiter le développement de branches latérales. La sylviculture des noyers en particulier profitera de telles structures de plantation.

Sur le strict plan sylvicole, on justifie principalement l'accompagnement (on emploi aussi le terme «bourrage») parce qu'il permet de «tirer» l'arbre vers la lumière et favorise donc une dominance apicale. On lui accorde également la capacité de diminuer l'importance des branches et d'induire une plus grande rectitude du tronc (tronc moins flexueux). Ces qualités seraient obtenues par l'effet de «gainage» produit par la végétation installée à proximité (1-2m) et par l'effet «d'abri latéral» procuré par des arbustes plus éloignés (3-

6m). Les espèces pouvant être installées à proximité des plants de l'essence principale, «pour les envelopper ou les gainer» rapidement, doivent avoir un rythme de croissance sensiblement voisin de ceux-ci sur la station. Les espèces destinées à constituer un abri latéral doivent avoir un démarrage très rapide et une croissance juvénile d'autant plus forte qu'elles sont installées plus loin des plants qu'elles doivent «abriter». Le principe utilisé s'inspire du modèle «brise-vent» (Beckey, 1997).

La présente étude vise à créer artificiellement, sur les sols les plus prometteurs, l'ambiance forestière favorable à l'éducation des jeunes arbres. Cette ambiance devrait être plus régulière que celle produite «naturellement» produisant possiblement une plus grande régularité des résultats de croissance des arbres.

MÉTHODOLOGIE

Sur le site de plantation de 1 ha dans la MRC du Haut-Saint-Laurent choisi, les sols ont été préparés à l'automne 1998 (glyphosate, labour, hersage). Le noyer noir et le chêne rouge ont été plantés à raison de 550 plants d'arbre à l'hectare (275 de chaque espèce). L'accompagnement est produit soit par une espèce « gainante », dite accompagnement de proximité, plantée sur le rang à 1m du plant (*Elaeagnus commutata, E. angustifolia*, *Hippophea rhamnoides ou Salix viminalis*), soit par un abri latéral créé par un rang de plants d'espèces compagnes (*Salix viminalis* ou *Pinus strobus*) en alternance avec un rang de plants (rangs espacés de 3m) et finalement les deux types d'accompagnement peuvent être combinés. Un traitement sans accompagnement en guise de témoin est inclus. Le dispositif (site) comprend donc au total 275 noyers, 275 chênes, 225 *Elaeagnus sp.*, 1850 boutures de *Salix sp.* et 350 *Pinus strobus* (essence résineuse commerciale). L'architecture des arbustes ou arbrisseaux de chalefs (*Elaeagnus sp.*) permet d'envisager un bon gainage des plants. *Elaeagnus umbellata* a été fréquemment utilisé en accompagnement dans des plantations de noyers (Friedrich & Dawson, 1984; vonAlthen, 1989). Cette espèce est cependant à la limite de son aire de répartition. *E.angustifolia* et *E. commutata* ont démontré une bonne capacité d'établissement dans le sud du Québec (Richer-Leclerc *et al*., 1995).

Le site Péladeau a profité de l'installation mécanisée d'un paillis de plastique de 4 pieds (1,22 mètre) de type agricole de 0,07mm d'épaisseur pour en assurer la durabilité. Pour la première année nous avons considéré utile de réaliser le passage de la herse entre les rangs de paillis à deux reprises au cours de la saison. Le fauchage a été pratiqué aux années subséquentes.

La saison 1999 fut la seconde plus sèche des 50 dernières années et l'établissement des plants d'arbres en a souffert. Aussi, d'importants problèmes sanitaires sur les noyers noirs, chêne rouges et pins blancs ont été diagnostiqués par le Ministère. Bien que nous ayons remplacé plusieurs de ces plants, le site présentait encore en 2000 des problèmes sanitaires pour les plants regarnis (encore diagnostiqués par le Ministère). Un regarni a été répété.

Le site est scindé en 3 blocs, chacun comprenant toutes les modalités possibles pour les plants de noyer noir ou de chêne rouge:

- sans accompagnement
- accompagné d'un abri latéral
- accompagné d'un abri de proximité
- accompagné des deux types d'abri

Le paillis de plastique en bande (avec collerette) assure la protection contre les herbacées. Des spirales contre les rongeurs ont été installées sur chaque plant. Il est cependant à noter que les rongeurs ont atteints plusieurs plants au dessus des protecteurs au cours de l'hiver 2000-2001. Du répressif à chevreuil (Deer Away ®) a été appliqué au printemps et à l'automne de chaque année sur chaque plant jusqu'en 2002.

Mesure de croissance des feuillus et espèces gainantes

Au cours de l'automne 2005, la croissance des feuillus sur le site Péladeau a fait l'objet d'un suivi. Ainsi, tous les feuillus nobles ont vu leur le diamètre au sol mesuré à l'aide d'un vernier électronique. Cette mesure était toujours exécutée dans le sens du rang. De plus, lorsque la taille de l'arbre le permettait, le DHP était aussi mesuré selon cette même méthode. La hauteur totale de l'arbre était mesurée, soit avec un mètre métallique, soit avec une perche de 10m, perpendiculairement au sol, du pied de l'arbre au bout du bourgeon terminal. Comme il s'agit de la hauteur de l'arbre et non pas de la longueur, les tiges n'étaient pas redressées. Des notes sur la vitalité des arbres ont été prises, à savoir si les arbres présentaient des marques d'herbivore (chevreuil, lièvres, rongeurs), une présence d'insectes ou de champignons. Par ailleurs, les chênes et les noyers de 6 rangs de feuillus sur 10 (à chaque bloc) sont accompagnés d'espèces arbustives (en abri latéral ou de proximité). La hauteur des individus de ces espèces a été mesurée suivant la même méthodologie. De plus, pour mesurer le gainage sur les feuillus nobles, la distance entre le centre de l'individu de l'espèce gainante et l'extrémité de sa branche s'avançant le plus près de la cime du feuillu accompagné était mesurée. De cette façon, les branches basses et très longues, mais qui n'étaient pas à la hauteur de cime n'étaient pas considérées.

Mesure de croissance des espèces créant l'abri latéral

Sur les rangs constituant l'abri latéral, tous les pins ont été mesurés en hauteur, toujours avec la méthode mentionnée plus haut. Pour ce qui est des saules, vu la très grande densité sur le rang de ces individus et la régularité de dimensions, la hauteur de un individu sur quinze était mesuré (4 par section de 60).

Mesure de lumière sur les feuillus nobles

La prise de données de lumière a été effectuée en utilisant une sonde linéaire appelée /Line Quantum Sensor/ (/LICOR, Li-191SA, Lincoln, NE, USA/). Cet instrument permet l'intégration, sur une distance fixe de 1 mètre, de la radiation photosynthétiquement

active (RPA) transmise sous couvert qui pénètre jusqu'aux plants. Ainsi, cet appareil est l'un des plus appropriés pour rendre compte de la grande variabilité des conditions de lumière existantes sous couvert partiel (Ter-Mikaelian et al., 1999). L'acquisition des données fut effectuée durant la deuxième moitié du mois d'août 2005. Suite à des difficultés techniques sur le terrain et des conditions météorologiques peu favorables, les données de lumière des arbres du bloc 3 ont été mesurées par temps couvert, alors que les données des deux autres blocs l'ont été lors d'une journée ensoleillée. Une sonde unique (/LICOR, Li-190SA //Lincoln, NE, USA/), disposée dans un endroit dénudé de couvert végétal et à proximité du lieu l'échantillonnage a servi de valeur de référence dans le calcul du ratio de densité du flux de photons photosynthétiques disponibles pour les plants d'arbres (%DFPP) soit, en pourcentage:

$$\frac{\text{DFPP mesuré près des arbres}}{\text{DFPP de référence au champ}} \text{ X } 100$$

La sonde de lecture fut orientée perpendiculairement au sens du rang d'arbre, soit dans l'axe est-ouest, directement dans les branches qui se trouvaient à 50cm du centre de l'arbre. La sonde de lecture devait être maintenue au niveau grâce au repère de niveau installé sur l'appareil. La prise de données fut effectuée à deux différentes hauteurs (1m et 2m) centrées sur l'axe principal des plants. La quantité de lumière à chaque hauteur a été mesurée au nord et au sud de chaque arbre. Une seule mesure par point d'échantillonnage était réalisée et elle était synchronisée avec celle obtenue en milieu ouvert, par un lien radio entre les deux opérateurs.

RÉSULTATS

Les analyses de variance de ce site ont été faites en deux tranches, car une espèce n'est pas présente sur tout le site. En effet, *Hippophea rhamnoides* (Hr) n'est présent que dans les blocs 1 et 2. Ainsi, les tests ont été effectués sur l'ensemble du dispositif en excluant le bloc 3 d'une part, et de l'autre part, sur l'ensemble du dispositif excluant *Hippophea rhamnoides*.

Le modèle d'analyse de variance appliqué n'a pas fait ressortir d'effet des abris latéraux (saules osiers et pins blancs) sur la croissance des chênes et des noyers. La présence de ces abris a un effet de réduction de la quantité de lumière reçue par les feuillus nobles ($p=0.0353$), peu importe l'espèce composant l'abri latéral (60% sans abri *vs* 47% avec).

La hauteur des feuillus nobles mesurée en 2005 varie en fonction de l'espèce gainante ($p=0.0067$), tout comme l'accroissement des feuillus réalisées entre 2001 et 2005 ($p=0.0172$) et la quantité de lumière reçue ($p=0.0004$). *Hippophea rhamnoides* et *Elaeagnus angustifolia* (Ea) interceptent plus de lumière que *Elaeagnus commutata* (Ec) (l'amplitude de leurs branches pourrait expliquer en bonne partie cette situation), mais dans le même ordre de grandeur statistique que *salix viminalis* (Sv) (figure 10A). *Hippophea rhamnoides* est l'espèce gainante qui amène les feuillus nobles à une plus grande hauteur (avec moins de lumière), alors que *S. viminalis* offre le moins grand

rendement de ce côté. De plus, *Hippophea rhamnoides* et *Elaeagnus angustifolia* sont les végétaux gainants les plus performants pour amener les arbres à une hauteur et à une croissance plus élevée (Figure 10B). Comme il s'agit des deux types d'arbustes les plus performants du point de vue hauteur, ils pourraient donc «tirer» les feuillus nobles vers le haut.

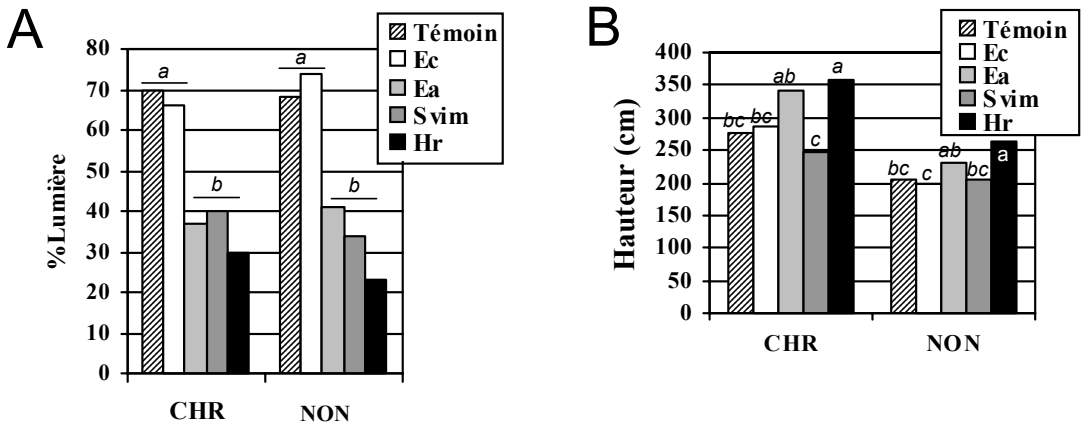


Figure 10 Pourcentage moyen de lumière reçu par les feuillus nobles selon l'espèce gainante; B Hauteur moyenne des feuillus nobles en fonction de l'espèce gainante.

Croissance des abris de proximité

La figure 11A illustre l'évolution au fils des ans de la projection des branches les plus imposantes des espèces gainantes vers la cime des espèces nobles. Nous pouvons remarquer que *Salix viminalis* s'est fortement développé pendant les quatre dernières années (Figure 11A), ce qui probablement trop tardif pour bien gainer le plant dès le départ. La moyenne des largeurs de cime d'*Elaeagnus angustifoli*a et *Hippophea rhamnoides* atteind maintenant la cime de l'arbre gainé. E. *commutata* s'est peu développé latéralement et en hauteur (Figure 11A-B). Les noyers ont doublé leur hauteur moyenne alors que les chênes l'ont triplé entre 2001 et 2005 (Figure 11B).

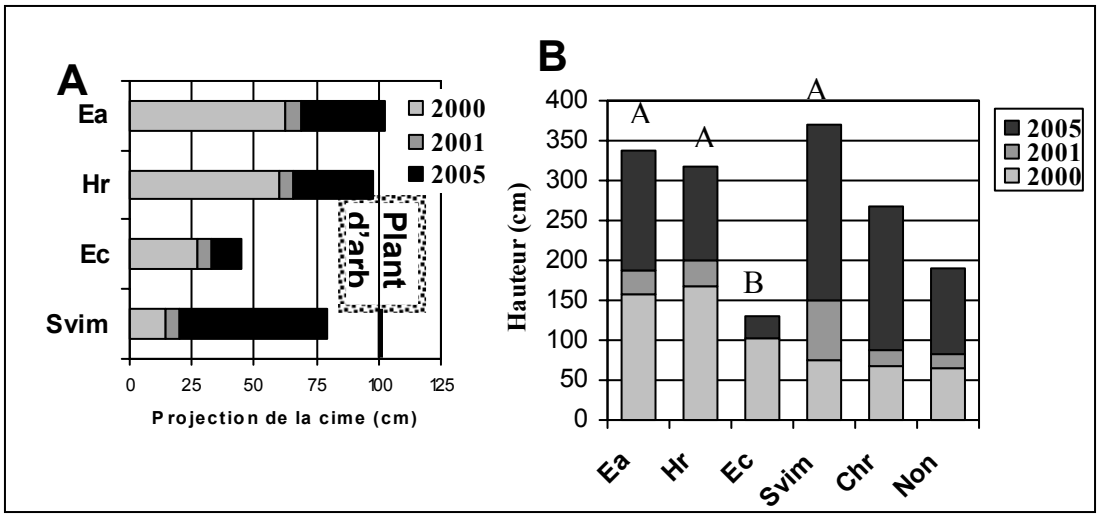


Figure 11 Visualisation de la projection moyenne de la cime des espèces compagnes vers le plant d'arbre (Non & Chr); B Hauteur moyenne, tous traitements confondus, des espèces compagnes et des feuillus nobles.

Croissance des abris latéraux

Tout comme en 2001, la hauteur moyenne des abris latéraux supplante celle des chênes et des noyers. La progression en hauteur des abris latéraux est très appréciable, même si une différence statistiquement se manifeste entre *Salix viminalis* (Svim) et *Pinus strobus*. La croissance relative des pins blancs (Pib), essence résineuse commerciale, peut facilement se comparer à celle des feuillus nobles (accroissement du triple en 4 ans; Figure 12).

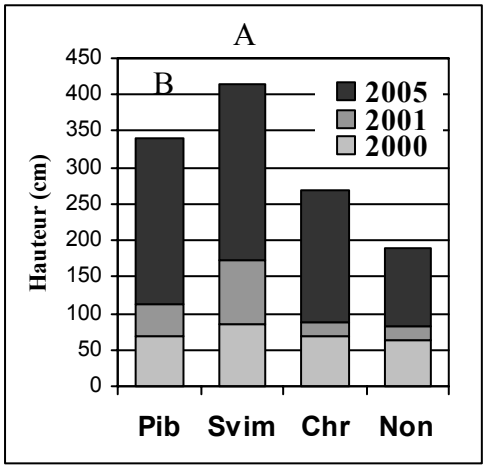
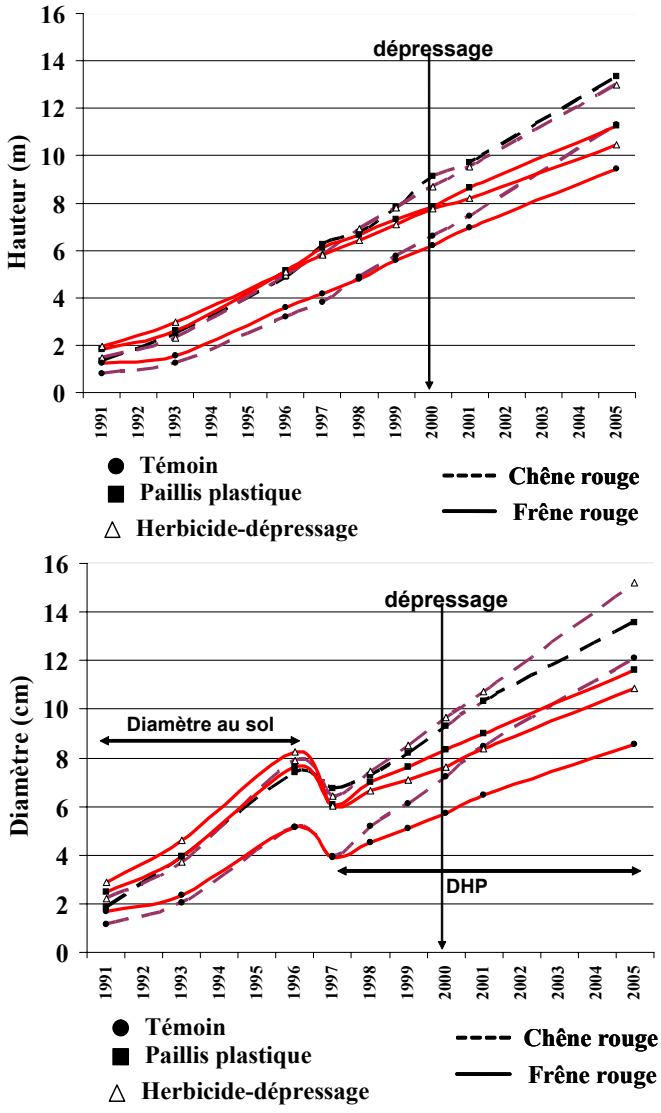


Figure 12 Hauteurs moyennes des espèces en abri latéral et des feuillus nobles.

Plantation de frêne rouge et chêne rouge installée en 1989 : bilan de 17 ans

Une plantation de chêne rouge et de frêne rouge plantée à des espacements de 2m x 2m a reçu une intervention de dépressage en 2000, soit à la douzième année en plantation. Trois traitements étaient à l'origine de ce dispositif, Paillis plastique (1m²), herbicide (sur 1m²) appliqué aux années 1-2-3-5 et un témoin sans intervention. En 2000, les arbres paillis et herbicide étaient de mêmes dimensions (statistiquement validé), tous deux supérieurs au témoin. Nous avons choisi de pratiquer un dépressage (retrait de 2 arbres sur trois dans les parcelles de 49 arbres) sur les parcelles herbicide afin de les comparer au non dépressage des parcelles paillis. Les parcelles paillis ont tout de même fait l'objet d'un marquage des arbres (1/3) qu'on aurait retenu si un dépressage avait été réalisé. Nous avons décelé en 2005 un effet du dépressage (p=0.0014) sur le diamètre des deux espèces. L'accroissement du diamètre entre le moment du dépressage (2000) et 2005 serait plus important dans les placettes ayant subit le dépressage. L'effet est plus évident sur le chêne rouge. Aucun effet sur la hauteur (figure 13).



Le dépressage relativement précoce permettrait de libérer le houppier en faveur d'un accroissement en diamètre.

Figure 13 Croissance en hauteur des chênes rouges et frênes rouges en fonction des traitements

La populiculture en production double avec des feuillus nobles

Nous présentons ici les résultats de croissance de plusieurs plantations expérimentales initiées en 2000 et établies dans la M.R.C. du Haut-Saint-Laurent, en Montérégie, comprenant des peupliers hybrides et des feuillus nobles en combinaison sur un même site (double rotation). Nos dispositifs expérimentaux permettent de comparer une gamme de plusieurs hybrides interaméricains, eurasiens, euraméricains et certaines combinaisons multiples, que nous avons mis à l'essai dans plusieurs conditions de sols qui reflètent les réalités du sud-ouest québécois. Les expérimentations comprennent des comparaisons d'espacement entre les peupliers et les feuillus nobles, de manière à optimiser leur combinaison, et intègrent également l'analyse de la production intercalaire de peupliers et de plantes d'intérêt agronomique. L'ensemble des dispositifs initie l'évaluation de la sylviculture des clones de peupliers disponibles pour le sud du Québec.

Le clone DNxM 915508 s'est montré le mieux adapté aux diverses conditions de sol testées dans nos dispositifs, produisant bien autant sur des loams que sur des sols argileux, mais voit sa productivité réduite sur sol plus acide (pH 5,7). Le TxD 3230 montre d'excellentes productivités sur des textures de sols moyennes à grossières, mais, contrairement au 915508, est plus intolérant aux sols argileux moins bien drainés ainsi qu'aux pH plus alcalins (pH 7,5). Le NxM 3729 a de son côté montré une bonne adaptation aux loams autant acides qu'alcalins (pH= 5,7 à 7,5), ainsi qu'une bonne survie et croissance sur les drainages imparfaits. À l'opposé, le MxB 915311 a mal réagi aux conditions de croissance associées aux loams sableux et il semble être davantage adapté aux sols de texture fine. Le DxN 3308, considéré comme tous les DxN moins bien adapté aux milieux dits hors-vallée que les hybrides interaméricains (Souleres 1992), se montre beaucoup plus productif sur un loam riche et fertile (comme le site Verteneuil de la présente étude) que sur un loam plus pauvre (site Caillé) ou moins bien drainé (site Thibodeau). Un autre DxN, le 3570, présente de bons résultats sur loams francs, en plus de très bien réagir aux sols plus lourds ou aux sols plus sableux.

Les essais d'espacements comparés pour optimiser la combinaison peupliers-feuillus nobles sont encore trop jeunes pour discuter des différences obtenues. La culture de soya, une plante fixatrice d'azote, entre les bandes de peupliers, a pour conséquence d'accroître leur croissance radiale en comparaison à l'entretien par hersage. Outre l'effet du soya, cela peut être dû à l'application de fertilisants qui accompagne l'ensemencement du soya, ou à l'effet de l'herbicide appliqué qui limite, davantage que par le hersage, la compétition en bordure des paillis de plastique, soit à proximité des peupliers.

Comme le soulignait la Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise dans son rapport remis en décembre 2004, il y a aujourd'hui dans la forêt feuillue québécoise une surabondance de bois de faible qualité et un écrémage des essences nobles – un fait connu depuis plus de 20 ans (Coulombe *et al.* 2004). En 2004, les communautés forestières occupaient 28.11% des superficies de la Montérégie, une région du sud-ouest québécois (Belvisi 2005). Deux phénomènes parallèles peuvent être

constatés aujourd'hui. D'un côté, les basses terres très riches et désormais cultivables grâce aux nouvelles techniques de drainage voient leur territoire forestier rétrécir comme peau de chagrin au profit de l'industrie agricole. En effet, la Montérégie perdait globalement, entre 1999 et 2004, près de 3% de sa superficie forestière, soit plus de 9000 hectares de forêts (Belvisi 2005), nous rappelant ainsi l'urgence d'agir afin de protéger les forêts résiduelles, voire en augmenter les territoires. D'un autre côté, les nouvelles réalités agricoles obligent des producteurs à abandonner des surfaces pierreuses ou de taille réduite quoique productives (Pan *et al.* 1999). Ces sites représentent d'excellentes opportunités en regard d'une des principales recommandations de la Commission Coulombe, soit :

> «*Que le Ministère mette en oeuvre une stratégie de sylviculture intensive visant l'accroissement des rendements ligneux, par le biais de projets particuliers sur des sites à fort potentiel, tant en forêts publiques que privées*. » (Coulombe *et al.* 2004)

La Montérégie peut, avec la qualité de son climat, de ses sols ainsi que sa main d'œuvre en place, participer à l'intensification de la production de bois de qualité tout en cherchant à préserver des unités forestières fonctionnelles. Les forêts feuillues résiduelles du sud du Québec sont de plus en plus utilisées de manière polyvalente, notamment en ce qui concerne les aspects fauniques et récréatifs qui gagnent en importance. Une grande attention est actuellement portée sur le potentiel des peupliers hybrides (PEH) pour répondre aux besoins d'accroissement des rendements ligneux et d'approvisionnement des industries de transformation du bois du sud du Québec. Depuis 2001, le Réseau Ligniculture Québec[1] a été mis en place afin de coordonner les activités de recherche sur la culture intensive de PEH. Il existe actuellement pour les producteurs québécois une information de base sur les différents clones (ou cultivars) de PEH, notamment concernant leur résistance aux maladies ou leur rusticité (Périnet *et al.* 2001). Pour exploiter de façon optimale le potentiel des PEH, nous croyons essentiel de poursuivre l'analyse pour préciser leurs caractéristiques écologiques particulières. Les différents cultivars présentent une grande spécificité quant à leurs exigences stationnelles (Dickman *et al.* 2002), et dans certains autres pays, des fiches techniques élaborées pour chaque clone guident les choix des producteurs. Nous proposons ici de faire le point sur un réseau de plantations expérimentales que nous avons initié au printemps 2000, auquel s'est ajouté des plantations en 2002 et 2003, et comportant deux objectifs généraux: acquérir une meilleure connaissance des PEH tout en cherchant à optimiser en parallèle la culture de feuillus nobles de grande qualité.

Le résultat de différentes occasions d'échanges avec des intervenants forestiers du sud du Québec (dont l'allocution de E. Gagné, directeur RESAM, Acfas2002; les Priorités de la Table régionale de concertation et de recherche de la Montérégie, 2002; colloque

[1] Issus du Programme Valorisation Recherche Québec (VRQ) – Le réseau a l'objectif de mettre en valeur les résultats de la recherche dans le domaine de la production intensive à des fins de production de biomasse (pâtes et papier), à des fins de production de bois de qualité et selon un objectif de conservation d'une partie des écosystèmes naturels. Une main d'œuvre est financée non pas pour réaliser des activités de recherche mais pour les coordonner et les mettre en valeur.

Dynamiser sylviculture des feuillus, Cogliastro et Hallé, 2000), est manifestement en faveur d'une sylviculture de PEH qui conduit à un produit de haute valeur ajoutée (déroulage plutôt que pâte). Au cours de ces échanges, on a souligné avec insistance que l'intensification de la production dans le sud du Québec doit aussi inclure le développement de la sylviculture des feuillus nobles. Dans ce contexte, nous croyons qu'un système de plantations intensives comprenant les PEH et les feuillus nobles en combinaison sur un même site (double rotation), représente une avenue sylvicole prometteuse. La vitesse de croissance des PEH permettrait de créer rapidement des conditions de protection favorables au bon développement des feuillus précieux. Une littérature européenne à caractère technique souligne l'importance de l'accompagnement pour la culture de ces feuillus précieux (Becquey 1997; Becquey 1997) et un guide récent de boisement des terres agricoles propose l'alternance de rangs de feuillus nobles et de PEH (Balleux & van Lerberghe 2001). Aussi, la sylviculture des peupliers comporte des interventions similaires à celles des feuillus nobles mais qui sont réalisées selon un cycle plus court. Cette concentration des interventions pour former une bille de peuplier de qualité implique une formation hâtive des intervenants qui sauront par la suite éduquer les feuillus nobles. Enfin, ce système à double rotation comprend une succession végétale qui s'inspire de la dynamique naturelle de l'écosystème forestier.

Les différents dispositifs expérimentaux abordés ici constituent des parcelles de référence de populiculture conduite selon une sylviculture à large espacement pour des fins de production de bois de sciage et de déroulage. Ils partagent l'objectif de préciser les limites et tolérance aux conditions de sol des différents cultivars tout en intégrant le concept de double production de peupliers et de feuillus à bois nobles sur le même site. Chacun des dispositifs comporte cependant des objectifs spécifiques et le nombre de sites compris dans un dispositif peut varier. Ils sont ici présentés plus en détail (la localisation des dispositifs est présentée en Annexe).

Verteneuil 2000 – Un premier dispositif de plantation visant une double production a été réalisé au printemps 2000 sur un site à haut potentiel (anciennement utilisé pour le maïs et le soya) pour étudier le développement des trois différents clones de peupliers qui sont actuellement parmi les plus performants pour le sud du Québec (Périnet *et al.* 2001) et tester les conséquences des espacements entre les rangs de peupliers sur la productivité globale du système. Ces clones sont combinés au noyer noir (*Juglans nigra*) et au frêne blanc (*Fraxinus americana*) disposés entre les rangs de peupliers de 12m ou 16m.

En 2004, une nouvelle dimension de recherche a été ajoutée au projet : la culture intercalaire. Bien qu'elles soient encore inexistantes au Québec, les cultures intercalaires pourraient à moyen terme permettre de stimuler la mise en place de plantations de peupliers hybrides autant que des feuillus nobles en maximisant leur rentabilité sur les territoires privés, en particulier les terres à haut rendement agricole. Dans plusieurs régions tempérées du monde, l'intégration d'arbres en territoire agricole a présenté un fort potentiel pour l'adoption de pratiques culturales durables (Thevathasan & Gordon 2004). Les recherches produites par l'Université de Guelph, en Ontario, durant les 15 dernières années ont démontré les bénéfices évidents des cultures intercalaires, entre autres pour la qualité de l'eau, la séquestration du carbone et la biodiversité (Thevathasan

& Gordon 2004). Nous avons sélectionné le soya comme culture agricole, son emploi étant largement répandu en Montérégie et totalisant en 2002 une production de 195 000 tonnes, soit plus de 60% de toute la production québécoise (Institut de la statistique du Québec). Présentement, les effets des cultures intercalaires de soya, en comparaison avec des monocultures d'arbres, sont peu connus. Cependant, il a été observé que la combinaison de semis d'arbres avec des légumineuses herbacées augmentait leur vitesse de croissance (Haines *et al.* 1978; Van Sambeek *et al.* 1986; Dupraz *et al.* 1999).

Caillé-Latreille 2002 – Dans le sud du Québec (Montérégie, Estrie, Outaouais, Laurentides, Lanaudière, Mauricie…), en territoire privée, les principales opportunités actuelles pour pratiquer une foresterie intensive demeurent en situations marginales pour l'agriculture: soit sur des dépôts glaciaires ou tardiglaciaires, soit sur des dépôts propices à l'agriculture mais limités dans leur superficie. Les situations glaciaires et tardiglaciaires sont caractérisées par une grande diversité de conditions trophiques. Une bonne connaissance de l'écologie de différents cultivars de PEH est nécessaire pour réaliser l'adéquation entre la diversité des conditions et le choix des cultivars de PEH. Cette connaissance de l'écologie des différents cultivars de PEH couplée à une sylviculture adaptée au produit ligneux visé, forme deux éléments importants du cadre de réussite et d'acceptabilité des plantations intégrant des PEH. Nous présentons ici les résultats de 4 saisons de croissance sur deux plantations contrastées par la texture de leur sol : bien que les deux sites soient formés de till calcaire d'origine glaciaire, un des deux sites a été remodelé pour constituer aujourd'hui un dépôt littoral tardiglaciaire. Il en résulte un sol plus lourd et limoneux que le premier, bien que tous deux soient caractérisés par une forte pierrosité typique des bourrelets morainiques.

Thibodeau 2003 - Nous croyons également nécessaire de préciser la tolérance des cultivars de peupliers hybrides aux sols lourds argileux et à plus mauvais drainage (situation extrême pour l'agriculture), situation qui peut-être attrayante pour une telle production, mais qui peut présenter des contraintes de croissance que seule une bonne connaissance des cultivars de PEH permettrait de préciser. Nous avons développé un dispositif expérimental sur dépôt marin lourd, encore recouvert d'un horizon organique de 50cm qui témoigne des mauvaises conditions de drainage du passé. Le site est aujourd'hui entouré de fossés et la matière organique est en voie de décomposition. Les conditions associées aux dépôts marins pourraient engendrer selon certains des croissances très dynamiques (Zhang *et al.* 2003).

Leblanc-McCormick 2003 - La Montérégie comprend une mosaïque de dépôts (Bariteau 1988) et de nombreuses situations hors vallée. Ainsi, le territoire comprend des sols à pH élevé (pH 7-8), notamment dans les dépôts glaciaires dérivés d'un substrat de nature dolomitique, et des sols de nature plus acide (pH5,5-6,5) là où le substrat est gréseux. Dans le cadre d'expériences antérieures, des différences significatives de croissance chez plusieurs espèces de feuillus nobles ont été enregistrées sur ces deux types de substrats (Cogliastro *et al.* 1997). Ces connaissances permettent aujourd'hui de mieux guider le choix des feuillus nobles. Au même titre, nous croyons que l'analyse de la réponse des PEH aux tills dérivés de ces deux ensembles géologiques, correspondant à deux groupes de pH contrastés dans la gamme variant entre pH 5.5 à 8, est essentielle pour démarrer

une pratique populicole dans le sud du Québec. Certains informent qu'il est risqué de planter des PEH sur des sols dont le pH est plus grand que 6 (Camiré & Brazeau 1998). Pourtant plusieurs clones euraméricains (dont le I45/51 utilisé en Amérique et le I214 en Europe) sont proposés par d'autres sur des sols à pH supérieur à 7 (Paillassa 2002). L'analyse à court terme (3 ans), sous deux conditions de pH distinctes, de la croissance de différents clones est présentée et permettra à terme de préciser les limites et tolérances des différents clones.

Tout guide sylvicole qui se respecte souligne l'importance d'harmoniser les variétés de peupliers plantées avec les caractères spécifiques des sols, afin de soutenir une meilleure productivité. Dans un récent ouvrage du conseil de recherche du Canada (Dickman *et al.* 2002), on souligne l'importance de considérer la spécificité des clones aux conditions de sol, sans toutefois apporter de précisions à ce sujet. Nous avons également constaté un manque de connaissances concernant la réponse des clones proposés au Québec et les différentes conditions de sol abordées. Dans le présent dispositif, les statuts nutritifs des peupliers seront analysés et mis en relation avec les résultats de productivité des clones sur deux différentes conditions de sol contrastées sur le plan du pH.

Site Verteneuil 2000-2005 (6 ans)

Méthodologie

Un dispositif de 3 ha a été établi en 2000 avec un total de 300 noyers noirs, 300 frênes blancs, 1080 boutures de 3 clones d'hybrides de peupliers (365 chacun) (voir Tableau 8). Les rangs alternent entre un rang de peuplier et un rang de feuillus. Le dispositif est scindé de manière à comparer les effets de l'espacement de 6 m et de 8 m entre les rangs. Tous ces plants sont suivis et mesurés.

Tableau 8 Liste des clones utilisés

N° clone*	Type d'hybride	Cultivar et pays d'origine
3230	*P. trichocarpa x deltoides*	*cv. 'Boelare'; Belgique*
3308	*P. deltoides x nigra*	*cv. 'Regenerata Bâtard d'Hauterive'; France*
3729	*P. nigra x maximowiczii*	*cv. 'NM6'; Allemagne*

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

Le site choisi est situé dans la municipalité de St-Rémi dans une zone où les sols sont exploités par l'agriculture (maïs, soja, maraîcher). Du soja y était cultivé l'année précédent la mise en place du dispositif, et du maïs les années antérieures. Le sol est un loam sablo-argileux au pH neutre. Il est facilement accessible et utilisé régulièrement comme site de démonstration. Ce site n'est pas en situation marginale pour l'agriculture mais sert plutôt à des fins expérimentales, étant d'une qualité qui permet de fournir des données en conditions relativement optimales, nécessaires à la planification des activités ultérieures. Le propriétaire réalise également son choix de procéder à une activité forestière plutôt qu'agricole. Les travaux de mise en place ont débuté au printemps 2000:

il a d'abord fallu effectuer quelques petits travaux de drainage de surface pour permettre le drainage des dépressions naturelles ou laissées par le tracteur l'automne précédent. Dès que le sol à pu supporter le passage du tracteur, au début de mai, un léger travail du sol en surface a été effectué à l'aide d'une herse étroite (1,2m) seulement sur les rangs (en évitant donc le brassage du sol et des graines dans les inter-bandes). Un paillis de plastique par bande de 150cm (5 pieds) de largeur a été mis en place par la suite à l'aide d'une dérouleuse posée sur le tracteur (15 mai). Les boutures de peuplier (longueur de 20 cm) et les arbres ont ensuite été plantés (entre le 15 et le 22 mai), et des collerettes ont été posées au pied des plants de feuillus; les boutures quant à elles ont été dégagées en étirant le paillis pour éviter qu'elles ne soient annelées. Le fauchage annuel a été pratiqué de 2000 à 2003.

En 2004, le dispositif a permis d'initier des essais de culture intercalaire; du soya a été ensemencé entre les rangs sur une partie du dispositif alors qu'une autre partie était hersée à deux reprises au cours de l'été. En 2005, les rangs de soya ont été fertilisés au taux de 300 kg/ha de 5-27-24, ce qui représente, par hectare, 15 unités d'azote, 81 unités de phosphore et 72 unités de potassium.

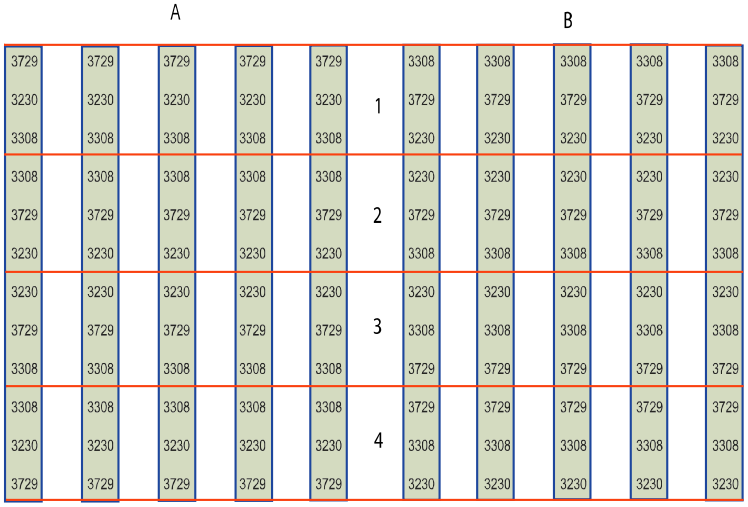


Figure 14- Schéma du dispositif expérimental; les feuillus occupent les bandes blanches entre les peupliers; les numéros identifient les blocs.

Le dispositif est composé de deux pièces, A et B qui diffèrent selon l'espacement entre les rangs de feuillus nobles et de peupliers (figure 14). Mesurant environ 220 mètres de long, ces deux champs parallèles sont séparés par un fossé de drainage. Ils sont aussi bordés sur les deux côtés par d'autres fossés, et un quatrième complète le drainage au bas des pièces (sud); au nord les pièces sont bordées par une érablière mature. Chacune des pièces est divisée en quatre blocs aléatoires complets (figure 14), comprenant cinq rangs de peupliers hybrides et quatre de feuillus nobles, de façon à ce que tous les rangs de feuillus soient accompagnés des deux côtés par un rang de peupliers. Les peupliers sont plantés à tous les deux mètres sur le rang, à raison de 9 plants par clone (l'ordre des clones est tiré au hasard) par rang pour un bloc (rangs de 27 plants). Les feuillus nobles sont disposés entre les rangs de peupliers, par groupes de 6 plants (un groupe de 3 individus par espèce, l'ordre des espèces tiré au hasard) pour chaque clone, et sont donc plantés aux 3 mètres. La densité des peupliers sera réduite avant le début de la saison de croissance 2006. Nous allons viser un espacement de 6m entre les plants de peupliers sur le rang (retrait de 2 arbres sur 3 en 2006), une densité comparable à la populiculture européenne à large espacement à des fins de production de

bois de sciage et de déroulage. Les caractéristiques édaphiques des blocs sont présentées au Tableau 9.

Tableau 9 - 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

Le seul traitement qui ne soit pas répété à l'intérieur des pièces est l'espacement entre les rangs parce qu'il aurait été techniquement difficile à faire de façon aléatoire sur le terrain. La récolte future aurait également été plus complexe à réaliser. La pièce A (60m x 216m ; 1.3 ha) teste donc un espacement de 6 mètres entre les rangs feuillus et peupliers, et la pièce B (67m x 216m ; 1.73 ha) 8 mètres. Comme nous ne pouvons prétendre à un dispositif aléatoire complet en ce qui concerne les espacements, les deux pièces seront traitées séparément du point de vue statistique. Les trois clones retenus pour ces travaux font partie de la liste des clones recommandés pour les zones 1 et 2 du ministère des Ressources naturelles du Québec (MRN) (voir tableau 8). Les boutures avaient 20 cm de longueur et ont été plantées légèrement en diagonale de façon à dégager un seul bourgeon bien orienté vers le haut ; elles nous ont été fournies gracieusement par M. Pierre Périnet de la direction de la recherche forestière du MRN. Les feuillus nobles plantés sont le noyer noir (*Juglans nigra*) et le frêne d'Amérique (*Fraxinus americana*). Ils étaient tous des plants de 1 an (1+0) du MRN (pépinière de Berthier), à racines nues dans le cas des noyers, en récipent de 340 mL pour les frênes.

Les frênes sont issus de la première génération à être produite à partir du verger à graines du MRN. Tous les arbres sont numérotés individuellement. Les noyers noirs ayant connus quelques difficultés dès le premier été, nous avons procédé à un regarni au printemps 2001 pour s'assurer de la présence d'au moins un noyer par groupe de trois. À l'occasion, des noyers morts ont été remplacés par des chênes à gros fruits (tout en respectant la règle précédente) dans les secteurs jugés plus difficiles pour les noyers (drainage moins bon) ; tous ces remplaçants, noyers ou chênes, sont exclus des présentes analyses (ne sont inclus que les arbres présents depuis l'origine). En 2000 et en 2001, tous les plants ont été traités à l'aide d'un répulsif (Deer Away ®), au début de l'été et à l'automne pour prévenir le broutage par les chevreuils. Des spirales antirongeurs ont été posées sur tous les arbres (feuillus et peupliers) en septembre 2000. Dès septembre 2000 les plants de peuplier ont été taillés une première fois pour i) dégager le bas pour permettre la pose de l'anti-rongeur et ii) corriger les défauts de forme dus à un mauvais départ à la base (plus d'un axe). Les 27 et 28 juin 2001, la moitié des plants de peuplier ont été taillés ; d'abord élagués sur 1/3 de la hauteur du plant (en préservant 2/3 de cime), suivi au besoin d'une taille de formation (seulement sur les individus élagués) codée selon l'intensité de la taille. Tous les plants ont été mesurés à l'automne 2000 et 2001. Au

printemps 2000 un sous-échantillon de boutures a servi à caractériser les différences de diamètre initial entre les clones (avant de les planter).

Des travaux d'entretien de la plantation ont été effectués à la 3ème année (2002) afin de maintenir le site en bonne condition. À la fin juin un désherbage manuel a été fait sur les rangs à la base des plants feuillus. L'entretien mécanique et manuel (débroussailleuse) des inter-bandes a été effectué au début août afin de i) limiter la compétition herbacées, ii) limiter la prédation des petits rongeurs, et iii) faciliter les travaux de mesure à l'automne. Cet entretien n'est pas à négliger; de nombreuses études ont démontré l'importance de la maîtrise de la compétition par les herbacées pour maintenir la productivité en plantation. Nous avons connu une importante prédation par les chevreuils très tôt au printemps 2002, avant qu'il ne soit possible d'intervenir pour appliquer un répulsif. Seulement les frênes ont été touchés (aucun des noyers noirs), mais de façon très importante (pratiquement 100%). Le répulsif a quand même été appliqué en cette 3ème année pour limiter les dégâts (début juin), de nouveau à la fin juillet, puis à l'automne (début octobre) pour les protéger pour l'hiver. Aucun broutage n'a été observé sur les PEH, aujourd'hui trop grands pour les chevreuils. Aucun répulsif n'a été appliqué sur ces derniers.
Nous avons de nouveau fait une taille de formation (fin juillet) sur les feuillus nobles de cette plantation, entre autre pour récupérer les frênes broutés au printemps (aucune mortalité, mais reculs parfois importants entraînant des problèmes de forme qu'il fallait corriger). Les PEH déjà désignés et élagués l'année dernière ont été élagués à nouveau en 2002 (début août), simplement pour maintenir la proportion de cime à 2/3. Les problèmes de forme avaient déjà été corrigés dès l'été 2000 et aucune nouvelle taille de formation n'a été nécessaire depuis. Grâce à ces entretiens réguliers, les PEH ont terminé avec succès la phase d'établissement et entre désormais en phase d'accumulation; leur avenir nous semble assuré. L'application de répulsif sur les frênes et noyers s'est poursuivie en 2003 et en 2004 (printemps et automne). Le nombre de plants de feuillus qui atteint une hauteur supérieure à ce qui peut être atteint par le chevreuil est maintenant adéquat et l'application de répulsif n'est plus pratiquée. L'élagage a été pratiqué sur près de la moitié des arbres en 2003 (juillet) et seulement sur les arbres désignés en 2005 (novembre).

Résultats

Analyses de sols

Nous avons procédé à une analyse des éléments nutritifs du sol afin de d'établir un portrait détaillé de la qualité du site de plantation et de la disponibilité des nutriments. Les caractéristiques chimiques du site de Verteneuil, présentées au tableau 10, sont très similaires entre les pièces A (espacement de 6m entre les rangées, soit 12m entre les PEH) et B (espacement de 8m entre les rangées, soit 16m entre les PEH). Le pH su sol su site Verteneuil est neutre, oscillant entre 6.9 et 7.1, ce qui offre des conditions idéales de disponibilité des nutriments.

Tableau 10 - **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)	**Référence (Doucet 1992)**
pH solution	7.1	6.9	
pH tampon	7.4	7.2	
Phosphore (P) (kg/ha)	**<9**	**10**	288 – 720
Potassium (K) (kg/ha)	**107.0**	**124.3**	360 – 720
Magnésium (Mg) (kg/ha)	810.0	857.7	> 125
Calcium (Ca) (kg/ha)	6750.0	5930.0	> 2500
Aluminium (Al) (ppm)	645.7	800.1	
Sat. P (% P/AI)	<1.0	<1.0	
Sat. K (% mEq/CEC)	**0.6**	**0.7**	2.5 – 3.5
Sat. Mg (%mEq/CEC)	**15.3**	**16.6**	10 – 12
Sat. Ca (%mEq/CEC)	**76.0**	66.4	60 – 70
Sat. K-Ca-Mg (% mEq/CEC)	91.9	83.7	
C.E.C. (mEq/100g)	19.9	20.5	Fertilité moyenne: 15-20
Azote (N) total (%)	<0.3	<0.2	
Rapport $\frac{Ca}{Mg}$	5.00	4.15	Optimal: 2 – 9
Rapport $\frac{K}{Mg}$	**0.041**	**0.045**	Insuffisant: < 0.05
Rapport $\frac{Ca+Mg}{K}$	**147.62**	**115.42**	Trop fort : > 40

.

Cependant, plusieurs éléments sont à des niveaux inférieurs, ce qui pourrait éventuellement limiter la croissance des arbres. Premièrement, le phosphore (P) atteint le niveau très faible d'environ 3.5% des concentrations minimales requises pour des cultures agricoles selon Doucet (1992), ce qui risque d'engendrer des carences en azote. On sait que les cultures agricoles demandent des concentrations élevées de phosphore qu'il faut renouveler régulièrement par la fertilisation. Les amendements en N, P et K appliqués en 2005 (dans le traitement incluant une culture intercalaire de soya), soit après

la complétion des analyses chimiques des sols, ont dû avoir un effet bénéfique sur les concentrations de phosphore et de potassium, en particulier pour la croissance des arbres. Les analyses présentées n'en tiennent pas compte, ayant été conduites avant la fertilisation. Il est probable que l'historique agricole des sites ait ainsi ponctionné de grandes quantités de phosphore. De plus, il est reconnu qu'à des pH>4.5, l'abondance d'aluminium (variant ici entre 645 et 800 ppm) déclenche la précipitation du P_20_5, réduisant sa disponibilité (Doucet 1992).

Le magnésium (Mg) et le Calcium (Ca), deux cations essentiels, sont en quantité très suffisante (Mg ≈ 830 kg/ha et Ca ≈ 6300 kg/ha). On peut supposer que le caractère en partie dolomitique de la roche-mère peut expliquer ces concentrations élevées en Mg et Ca. Par contre, les teneurs en potassium (K) sont trop faibles, représentant 30 à 35% des concentrations minimales toujours selon Doucet (1992). Les rapports entre ces éléments nutritifs, présentés au tableau 3, se révèlent extrêmement révélateurs pour évaluer la fertilité des sols. En général, il se produit un échange entre ces éléments lors de l'assimilation par les plantes : un niveau de K_2O faible se traduit par une assimilation plus forte du MgO et du CaO par compensation. De plus, dans un sol dont la solution contient beaucoup de Mg et de Ca, l'assimilation du K est entravée.
Le rapport Ca/Mg ne révèle pas de déséquilibre entre ces deux éléments. Par contre, l'introduction du K dans les rapports K/Mg et (Ca+Mg)/K vient déstabiliser les relations entre ces éléments. Le rapport K/Mg insuffisant serait dû à la très forte concentration de Mg conjuguée aux faibles niveaux de K. Finalement, le rapport (Ca+Mg)/K est beaucoup trop fort, encore une fois à cause du déséquilibre entre la faiblesse du K d'un côté et la force du Mg et du Ca de l'autre, illustré par leurs taux de saturation très élevés.

La capacité d'échange cationique est un autre indice de la fertilité des sols. Plus intégrateur que les taux de saturation des éléments, il exprime la capacité maximale de cations qu'un sol est capable de retenir. Verteneuil se révèle un site de fertilité moyenne à élevée, ce qui réduit la pertinence de se pencher sur les taux de saturation des éléments du sol pris individuellement.

Une analyse des sols amendés est projetée afin d'établir les concentrations réelles en potassium et phosphore. Cependant, les carences en P et K des sols, retrouvées également sur plusieurs plantations correspondant à d'anciens sites agricoles et décrits dans ce rapport (Caillé, Latreille, Leblanc, McCormick), peuvent représenter des caractères spécifiques qui exige de pouvoir combiner la sélection de cultivars de peupliers les mieux adaptés à ces conditions de carence et d'explorer différents modes d'amendement des sols.

Croissance et survie

La survie des peupliers a été quasi-parfaite, variant de 97.8% à 100%, après 6 années de croissance (voir 11).

Tableau 11 - **Succès d'établissement des arbres à la fin de la saison de croissance 2005, selon l'espacement (6 ou 8 mètres) entre les rangées et l'espèce ou le cultivar à l'étude.**

Pièce A : Espacement 6 m entre les rangs de PEH et de feuillus

	Cultivar			Espèces de feuillus	
	3230	**3308**	**3729**	**Noyer noir**	**Frêne d'Amérique**
survie	98.9 %	99.4 %	99.4 %	78.7 %	99.3 %
effectif	180	180	180	122	144

Pièce B : Espacement 8 m entre les rangs de PEH et de feuillus

	Cultivar			Espèces de feuillus	
	3230	**3308**	**3729**	**Noyer noir**	**Frêne d'Amérique**
survie	97.8 %	100 %	98.3 %	81.5 %	79.3 %
effectif	180	180	180	130	140

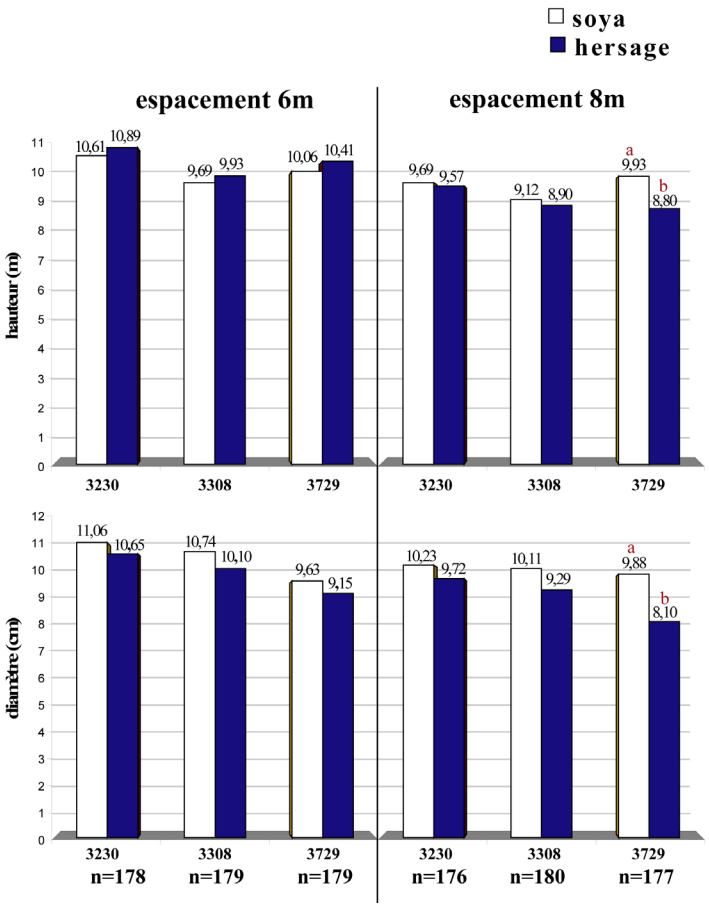


Figure 15– Hauteurs et diamètres des cultivars de peupliers 3230, 3308 et 3729 selon l'espacement entre les rangées de culture (6m et 8m) et le type de traitement au sol associé : culture de soya ou hersage, en 2005 après 6 saisons de croissance. Les traitements ont un effet sur la croissance des peupliers (hauteur et diamètre) lorsque l'espacement est de 8m ($p<0.05$). 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.

La croissance en hauteur comme en diamètre des peupliers, pour tous les clones mesurés, s'est révélée systématiquement supérieure à l'intérieur du dispositif espacé de 6 m (voir Figure 15 et Tableau 12). Quel que soit l'espacement, les clones ne présentent pas de différence de hauteur significative entre eux, bien qu'on puisse détecter une tendance ($p= 0.082$) à densité plus élevée (6m). D'un autre côté, le rapport hauteur/diamètre entre les clones s'est révélé très instructif pour comprendre les nuances de stratégie de croissance entre les clones. Bien que l'interaméricain 3230 présente la meilleure productivité, le clone 3729 présente un rapport hauteur/diamètre supérieur, marquant une élongation

verticale. Il découle de cette caractéristique un volume du tronc moins important que pour les 3308 et 3230 (Figure 16).

Tableau 12 - **Valeurs moyennes des paramètres de croissance des différents cultivars plantés au printemps 2000 selon un espacement de 6 ou 8m entre les rangées en date de septembre 2005, soit après 6 années de croissance. Les volumes présentés n'incluent pas les branches des individus.**

Pièce A : Espacement 6 m entre les rangs de PEH et de feuillus

clone	Hauteur(m) F=3.01 p=0.082	Diamètre(cm) F=6.35 p=0.0109	Haut/diam. F=39.67 p<0.0001	Vol. (m³)* F=4.09 p=0.0399	Vol./ha (m³)**
3230	10.72	10.9 a	99.9 a	0.048 a	6.67
3308	9.79	10.5 a	95.4 b	0.042 a b	5.84
3729	10.20	9.4 b	109.6 c	0.035 b	4.87

Pièce B : Espacement 8 m entre les rangs de PEH et de feuillus

N°clone	Hauteur (m) F=1.30 p=0.3034	Diamètre (cm) F=2.31 p=0.1361	Haut/diam. F=27.99 p<0.0001	Vol. (m³)* F=1.31 p=0.2997	Vol./ha (m³)**
3230	9.64	10.0	97.2 a	0.038	3.95
3308	9.03	9.8	94.1 a	0.035	3.64
3729	9.48	9.2	105.1 b	0.033	3.43

Les valeurs suivies des différentes lettres (a, b ou c) sont significativement différentes à p<0.05 (les résultats d'Anova pour chaque variable selon le facteur « cultivar » sont précisés en haut de chaque colonne). Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

* Selon la formule du cône tronqué.

**Volume à l'hectare calculé selon une stratégie de 138/ha PEH dans pièce A et de 104/ha PEH dans la pièce B (puisque les PEH sont combinés à des feuillus).

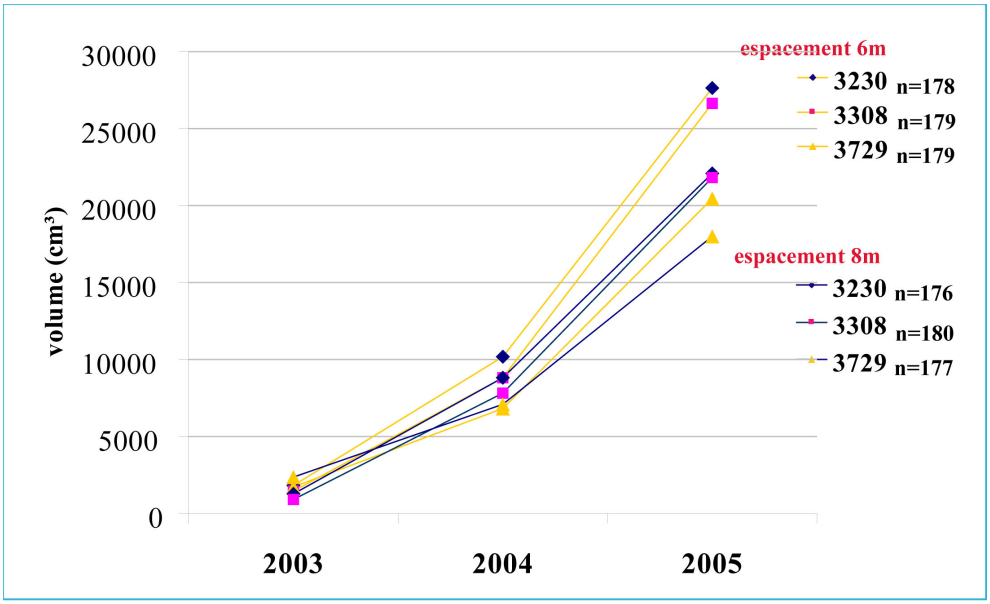


Figure 16 - Accroissement de volume annuel moyen d'un arbre selon chaque cultivar et selon l'espacement de 6m ou 8m. Seules les années 2003 à 2005 sont présentées Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Alors qu'en 2001 il n'y avait pas de différence entre les arbres élagués et non élagués (ils ont été choisis systématiquement à raison d'un arbre sur deux environ), quelques différences significatives commencent à apparaître en 2002. En 2005, après 6 années de croissance, les arbres élagués présentent un diamètre moins important (différence significative pour l'espacement de 8m seulement et tendance similaire à 6m, à p=0.0573; voir Figure 17). L'élagage a ralenti quelque peu la croissance en diamètre de ces arbres (au profit de la qualité de la bille de pied). Il est intéressant de noter que l'effet de l'élagage se poursuit plusieurs années après le traitement (élagage en 2002 ou 2003). Par contre, pour la hauteur, aucune différence significative n'est apparue pour ces deux clones.

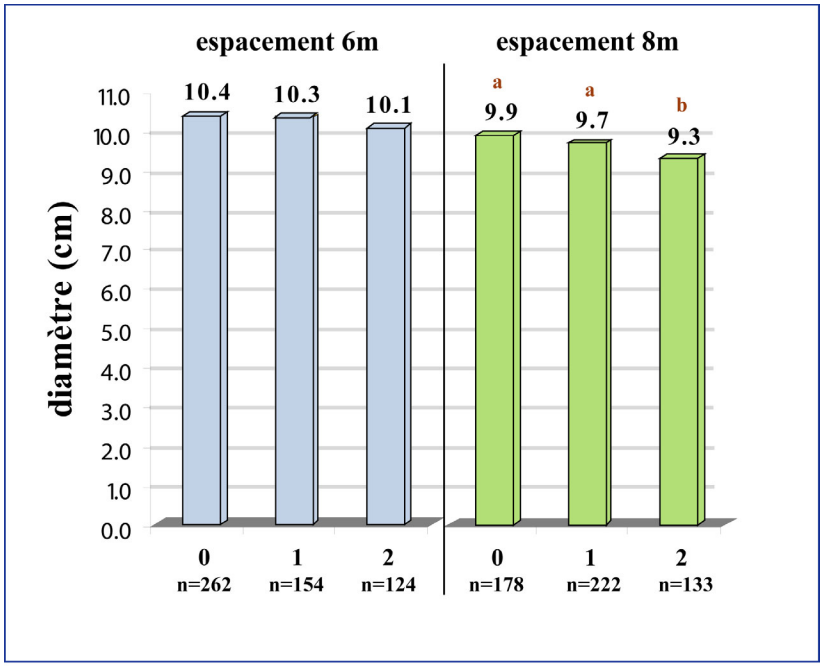


Figure 17– Influence des traitements d'élagage sur le diamètre des cultivars de peupliers hybrides selon l'espacement entre les rangées de culture (6m et 8m); en abscisse, 0 comprend les individus qui n'ont jamais été élagués, 1 ceux qui ont été élagués une fois et 2 ceux élagués deux fois, à un an d'intervalle. Anova à 6m pour l'effet élagage : F=3.53 et p=0.0573; Anova à 8m pour l'effet d'élagage : F=6.78 et p=0.0087. 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.

À partir de 2004, un nouvel objectif de recherche a été ajouté au projet : mesurer l'effet de la culture intercalaire. Présentées à la Figure 15, les croissances des peupliers hybrides différent dans la pièce B selon que les inter-bandes soient hersées ou soient en culture de soya, avec application de fertilisants et d'herbicides (hauteur: p<0,05; diamètre : p<0,01). Seuls la hauteur et le diamètre du 3729, à un espacement de 8m, sont significativement plus grands en présence de soya (hauteur : +113 cm; diamètre : +1,78cm). Le diamètre de tous les clones, à 6m comme à 8m, montre une même tendance, soit un accroissement en présence de soya, de fertilisant et d'herbicide. Il nous est impossible de décortiquer l'effet du soya, du fertilisant et de l'herbicide séparément. Nous pouvons cependant affirmer que le clone 3729 est plus sensible que le 3230 et que le 3308 à l'ensemble des interventions culturales.

Le taux de mortalité des frênes et des noyers a été en moyenne de 20% (voir 11). Plus petits que les noyers à la plantation, les frênes ont rapidement rattrapé (dès l'automne), puis dépassé (dès 2001) ces derniers (Figure 18). Ils ont connu un accroissement constant, tout comme les noyers (figure 18). À l'intérieur de l'espacement 6m, les frênes

présentent une hauteur moyenne de plus de 350 cm, alors que les noyers s'élèvent à 230 cm. Les hauteurs sont inférieurs d'environ 40cm dans la pièce B (8m), avec un ratio hauteur/diamètre inférieur qui révèle que la hauteur est davantage limitée que le diamètre (Tableau 13). Il est possible que l'impact du chevreuil ait été plus important dans cette pièce. Malgré deux premières années difficiles, les noyers noirs ont bien performé à partir de 2002. L'essentiel de l'effectif résiduel (après regarnis en 2001) a survécu. Il semble qu'ils soient désormais bien établis. N'étant pas appréciés des chevreuils, il ne reste qu'à surveiller leur forme dans l'avenir.

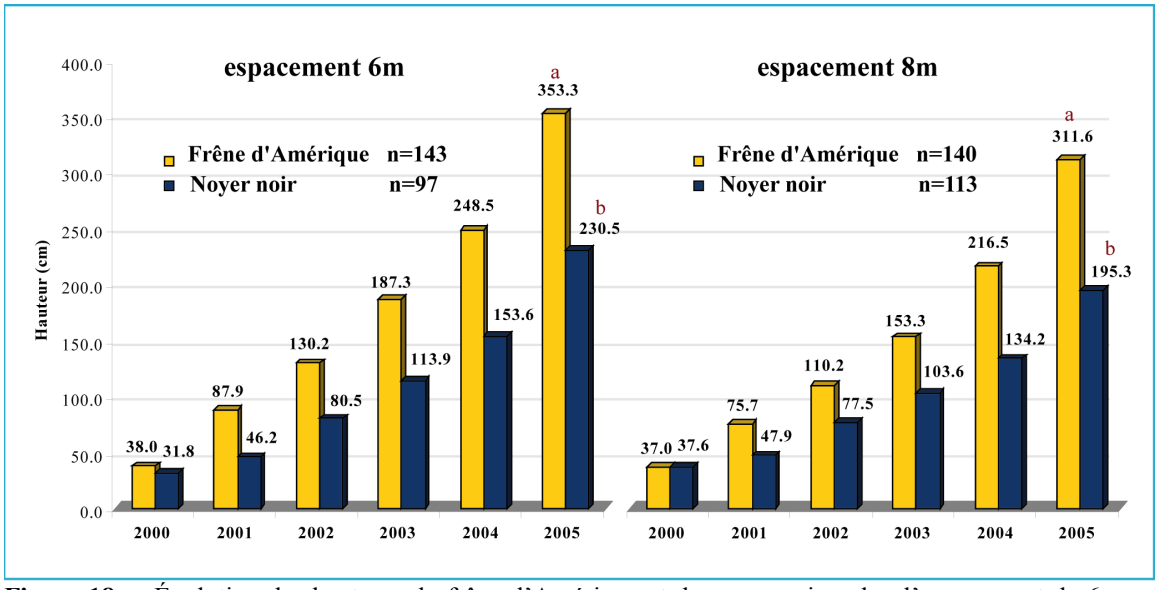


Figure 18 – Évolution des hauteurs du frêne d'Amérique et du noyer noir, selon l'espacement de 6m ou 8m. Les valeurs accompagnées de lettres (a ou b) sont significativement différentes à p<0.05. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Tableau 13- **Valeurs moyennes des paramètres de croissance des feuillus plantés au printemps 2000 selon un espacement de 6 et 8 m entre les rangées en date de septembre 2005, soit après 6 années de croissance; le diamètre est pris à la souche. Les valeurs suivies des différentes lettres (a, b ou c) sont significativement différentes à p<0.05 (les résultats d'Anova pour chaque variable selon le facteur « cultivar » sont précisés en haut de chaque colonne).**

Pièce A : Espacement 6 m entre les rangs de PEH et de feuillus

	Hauteur (cm) F=112.69 p<.0001	**diamètre (mm)** F=20.52 p=0.0027	**Haut./diam.** F=87.46 p=<.0001
Frêne d'Amérique	353.3 a	57.6 a	614 a
Noyer noir	230.5 b	48.4 b	475 b

Pièce B : Espacement 8 m entre les rangs de PEH et de feuillus

	Hauteur (cm) F=33.53 p=0.0007	**diamètre (mm)** F=2.17 p=0.1838	**Haut./diam.** F=497.38 p=<.0001
Frêne d'Amérique	311.6 a	53.2	583.4 a
Noyer noir	195.3 b	48.1	403.8 b

Site Caillé Latreille 2002-2005 (4 ans)

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 (Figure 19) afin de représenter des conditions de sols marginales pour la grande agriculture contemporaine. 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 site glaciaire (Caillé) présente une légère pente nord-sud débutant par une crête affleurante. Quelques dépressions de mauvais drainage sont aussi présentes. Le site littoral (Latreille) est un littoral tardi-glaciaire (pierrosité importante, arrêtes arrondies) au drainage modéré. Il présente une pente sud-nord assez importante (4%) et sur laquelle est collée l'organisation des blocs expérimentaux (bas, milieu et haut de pente). Une caractérisation granulométrique des sols est présentée au Tableau 14. 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 14 - 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

Les deux sites (1 et 1,7ha) situés dans la MRC du Haut-Saint-Laurent (St-Anicet et Godmanchester) ont été préparés à l'automne 2001 (labour). Au printemps les bandes (espacées de 7 mètres, 14 mètres entre les rangs de PEH intercalés de feuillus nobles) ont été épierrées et hersées. Le paillis de plastique a été posé mécaniquement sur les rangs, suivi de la plantation d'hybrides de peupliers disposés en alternance avec des feuillus nobles. Les travaux de préparation du sol, pose du paillis et plantation étaient complétés le 23 mai 2002. Les hybrides de peupliers choisis sont présentés au Tableau 15. 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 mesures de biomasse ligneuse ont été effectuées durant l'hiver 2005 afin de préciser la productivité (biomasse moyenne produite) après 4 années de croissance. L'effectif d'échantillonnage était composé d'un arbre par clone par bloc (6 blocs par site), choisis pour leur similitude avec les moyennes de hauteur par clone (18 au total). Chaque arbre a été abattu au niveau du sol, puis ébranché. L'ensemble des branches a été pesé sur place. Pour chaque individu, une branche sur quatre parmi toutes les branches disposées en ordre croissant de taille a été sélectionnée pour en extraire un sous-échantillon de 14cm de longueur du milieu de la branche que nous avons pesé et séché (pour l'estimation de la biomasse sèche des branches). Le tronc de l'arbre a été divisé en trois parts égales. Chaque tiers a été pesé individuellement, puis les 14 cm du centre de chaque partie ont été prélevés, pesés et séchés (pour l'estimation de la biomasse sèche des troncs).

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

Tableau 15 - Liste des clones utilisés

N° clone*	Site de plantation	Type d'hybride	Cultivar et pays d'origine
3230	*Caillé & Latreille*	*P. trichocarpa x deltoides*	*cv. 'Boelare'; Belgique*
3308	*Caillé*	*P. deltoides x nigra*	*cv. 'Regenerata Bâtard d'Hauterive'; France*
3570	*Caillé & Latreille*	*P. deltoides x nigra*	*Belgique*
4118	*Latreille*	*P. deltoides*	*MRN, Québec*
4679	*Caillé*	*P. deltoides x ?*	*MRN, Québec*
915508	*Caillé & Latreille*	*P. (deltoides x nigra) x maximowiczii*	*MRN, Québec*

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

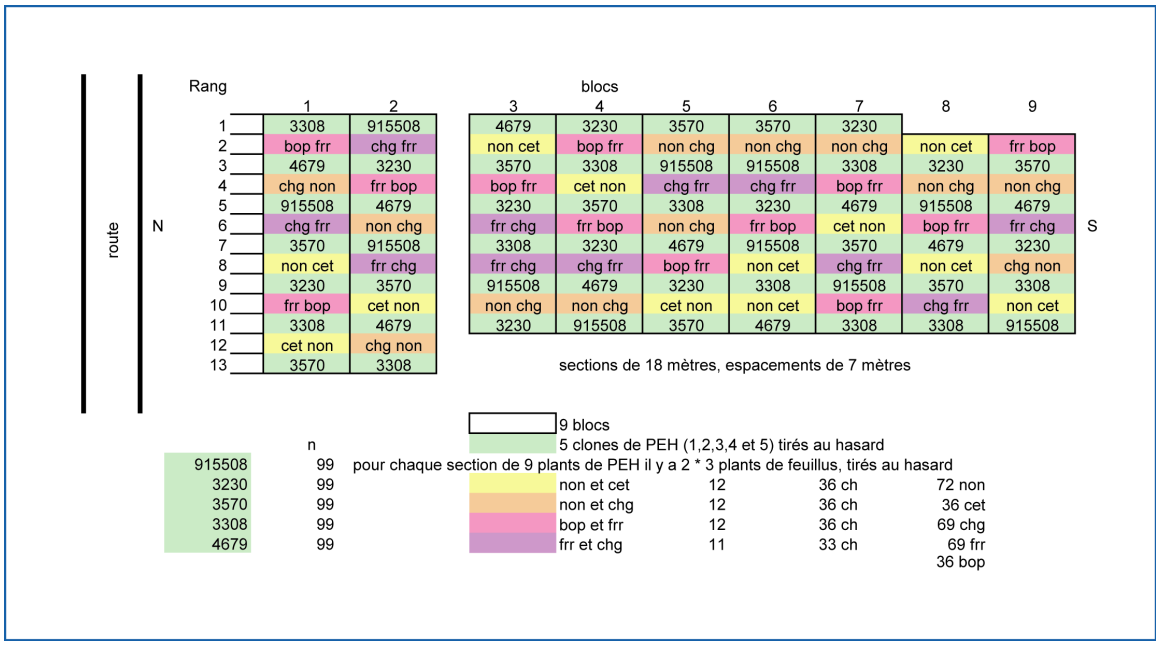


Figure 19 - Plan du site sur dépôt glaciaire (Site Caillé, 1.7 ha)

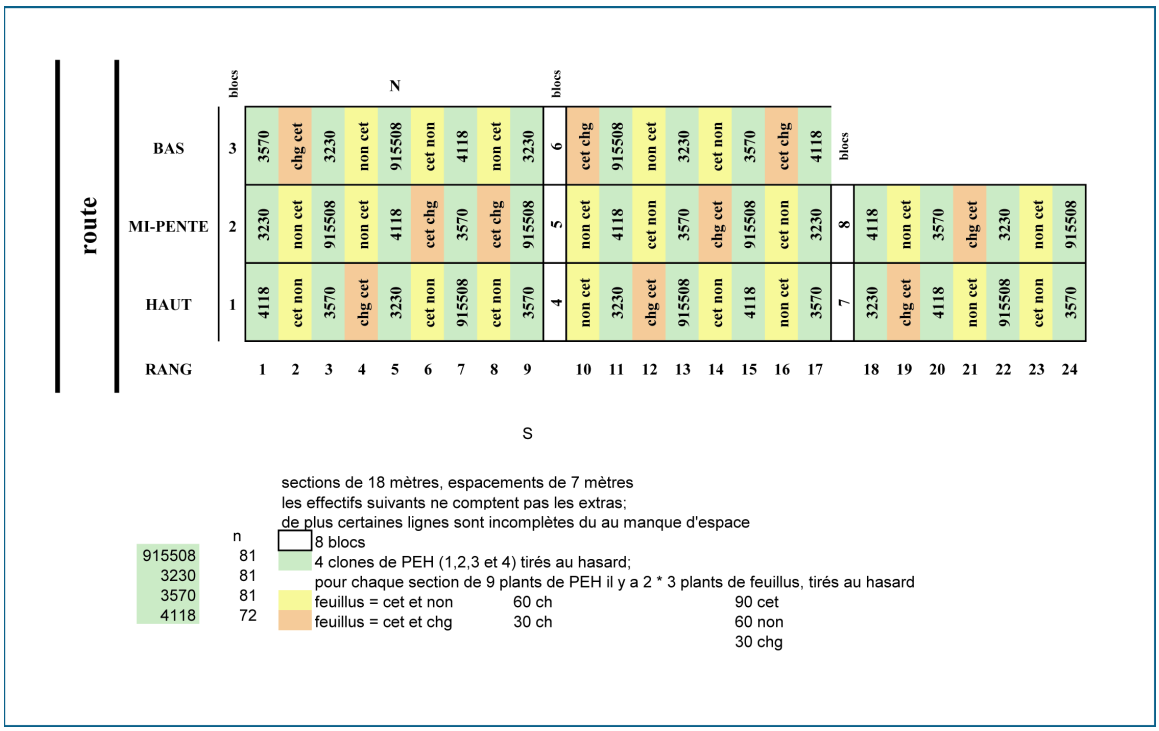


Figure 20 - Plan du site sur dépôt littoral (Site Latreille, 1.0 ha)

Résultats

Analyses des sols

L'analyse des sols des deux sites, présentée au Tableau **16**, brosse un portrait très similaire au site précédent « Verteneuil ». L'analyse du pH tampon du sol, soit l'acidité potentielle du sol, par opposition aux fluctuations de pH en solution, confirme le caractère modérément alcalin du site littoral Latreille, sans conséquence pour la croissance des arbres sauf peut-être une légère réduction dans la disponibilité des oligo-éléments du sol, par opposition à la neutralité du site glaciaire. Le phosphore (P) atteint des niveaux très faibles dans les deux sites, environ 5% des concentrations minimales requises selon Doucet (1992), tout comme pour le site de Verteneuil. On peut ici aussi supposer que l'historique agricole du site, combiné aux concentrations en aluminium, ait réduit la disponibilité du P des deux sites.

Tableau 16 - Concentration en éléments nutritifs des sols des deux sites (Caillé et Latreille)

	Caillé	Latreille	Référence (Doucet 1992)
pH tampon	6.87	7.75	
Phosphore (P) (kg/ha)	**17.0**	**13.1**	288 – 720
Potassium (K) (kg/ha)	**172.1**	**169.1**	360 – 720
Magnésium (Mg) (kg/ha)	868.3	1580.0	> 125
Calcium (Ca) (kg/ha)	4135.0	4812.5	> 2500
Aluminium (Al) (ppm)	893.7	489.5	
Sat. P (% P/AI)	0.90	2.76	
Sat. K (% mEq/CEC)	**1.08**	**1.15**	2.5 – 3.5
Sat. Mg (%mEq/CEC)	**18.32**	**35.01**	10 – 12
Sat. Ca (%mEq/CEC)	**51.09**	63.85	60 – 70
Sat. K-Ca-Mg (% mEq/CEC)	70.49	100	
C.E.C. (mEq/100g)	18.5	16.8	Fertilité moyenne: 15 – 20
Rapport $\frac{Ca}{Mg}$	2.86	1.83	Acceptable: 1 – 2 Optimal: 2 – 9
Rapport $\frac{K}{Mg}$	0.061	**0.033**	Acceptable: 0.05 – 0.10 Insuffisant: < 0.05
Rapport $\frac{Ca+Mg}{K}$	**63.41**	**86.08**	Optimal : 15 – 30 Trop fort : > 40

Sat. = taux de saturation; CEC = capacité d'échange cationique. 1 échantillon de sol par bloc et par rang de PEH prélevés à 15 cm de profondeur ont été analysés pour un total de 54 au site glaciaire (Caillé) et 35 sur le littoral (Latreille). Les concentrations dépassant le cadre des valeurs de référence sont présentées en caractère gras.

Le magnésium (Mg) et le Calcium (Ca) sont très abondants, quoique la concentration de Mg double sur le site littoral, passant de 868 kg/ha (Caillé) à 1580 kg/ha (Latreille). On peut avancer, tel que supposé pour justifier des concentrations similaires chez Verteneuil, que le caractère en partie dolomitique de la roche-mère peut expliquer ces concentrations élevées en Mg et Ca. Par contre, les teneurs en potassium (K) sont trop faibles, représentant moins de 50% des concentrations minimales toujours selon Doucet (1992). Les rapports entre ces éléments nutritifs, présentés au bas du tableau 8, vont dans le même sens que chez Verteneuil (se référer à la section précédente pour des explications plus élaborées).

Premièrement, le rapport Ca/Mg ne révèle pas de déséquilibre entre ces deux éléments. Les deux sites présentent d'ailleurs des niveaux à peu près similaires. Par contre, l'introduction du K dans les rapports K/Mg et (Ca+Mg)/K vient déstabiliser les relations entre ces éléments. Le rapport K/Mg est faible mais acceptable chez Caillé et insuffisant chez Latreille. Finalement, le rapport (Ca+Mg)/K est beaucoup trop fort chez les deux sites, encore une fois à cause du déséquilibre entre la faiblesse du K d'un côté et la force du Mg et du Ca de l'autre, illustré par leurs taux de saturation extrêmes. Il est à noter que malgré les concentrations élevées de Ca, le taux de saturation de cet élément dans le sol du site glaciaire (Caillé) est trop faible : la concentration élevée de Al sur ce même site (894 ppm) entrave certainement sa disponibilité (Doucet 1992). Cependant, la capacité d'échange cationique sur nos deux sites révèle une fertilité générale satisfaisante.

Les conclusions à tirer de ces résultats d'analyse de sol sont les mêmes que chez Verteneuil : on pourrait envisager de compenser des concentrations insuffisantes en nutriments, notamment le phosphore et le potassium, et travailler à la sélection de cultivars adaptés à ce patron de disponibilité des éléments qui pourrait conduire à certaines carences nutritionnelles et qui apparaît être typique des surfaces agricoles marginales et aujourd'hui abandonnées de la région du sud du Québec.

Croissance et survie

La survie des peupliers est très satisfaisante dans l'ensemble, un peu moins pour les *P. deltoides* 4679 et 4118, qui présentent davantage de difficultés d'établissement (voir Tableau 17).

Tableau 17 - Succès d'établissement des arbres à la fin de la saison de croissance 2005, selon le site et l'espèce ou le cultivar à l'étude; Non : Noyer noir; Bop : Bouleau à papier; Cet : Cerisier tardif; Chg : Chêne à gros fruits; Frr : Frêne rouge.

Caillé

	3230	**3570**	**3308**	**4679**	**915508**	**Non**	**Bop**	**Cet**	**Chg**	**Frr**
%survie	97.0	98.0	95.0	82.2	93.9	81.2	88.9	94.4	97.1	98.6
effectif	99	99	99	99	99	72	36	36	69	69

Latreille

	3230	**3570**	**3308**	**4118**	**915508**	**Non**	**Bop**	**Cet**	**Chg**	**Frr**
%survie	93.8	86.4	-	75.0	92.6	86.7	-	73.0	96.7	-
effectif	81	81	-	72	81	60	-	90	30	-

Les croissances, tout comme les survies d'ailleurs, se sont révélées supérieures sur sol loameux (Caillé) pour l'ensemble des cultivars de peupliers (voir Figure **21**) et tableau 17). Le cultivar 4118 (site Latreille) présentait trop de croissances négatives pour être inclus dans les résultats.

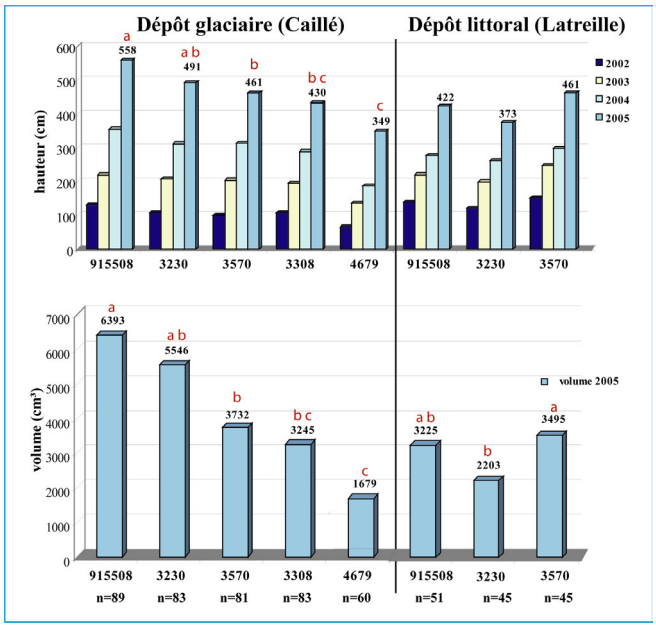


Figure 21 – Valeurs moyennes des hauteurs et volumes des cultivars de peupliers 915508, 3230, 3570, 3308 et 4679 sur les dépôts glaciaires (Caillé) et littoraux (Latreille).

Les lettres au-dessus des valeurs de hauteur et de volume indiquent des différences significatives à $p<0.05$, sauf pour les volume sur dépôt littoral, dont les différences sont significatives à $p=0,07$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs (dommages ponctuels non généralisés). De plus, le cultivar 4118 (site Latreille) présentait trop de croissances négatives pour être inclus dans les résultats.

Le 915508 s'est démarqué des autres par ses performances, présentant chez Caillé un accroissement en 2005 de plus de 2m (2,03 m). Le 915508 présente les hauteurs ainsi que les diamètres les plus élevés sur les deux sites, suivi par le 3230 (5,58 m et 4,91 m respectivement). À noter que statistiquement, les 3230 et 915508 ne se distinguent pas en termes de hauteur ou de diamètre, mais des analyses de variance qui comparent uniquement les 3 espèces communes aux deux sites (3230, 915508 et 3570, résultats non présentés ici) ont montré que la croissance en hauteur du 915508 était statistiquement plus élevée que celle du 3230. Le 3570 semble aussi bien adapté au loam limoneux (Caillé) qu'au loam franc (Latreille) (figure 21). Ce cultivar présente les mêmes performances sur les deux types de sols (4,61m sur loam et sur loam limoneux) et tolère mieux le loam limoneux alors que les 915508 et 3230 ont réduit leur croissance de plus d'1 m sur le sol plus limoneux de Latreille (4,22m et 3,73m respectivement, contre 5,57m et 4,91m chez Caillé). Notons que la mortalité est légèrement supérieure sur dépôt littoral pour le 3570, en comparaison avec les autres cultivars. Le 3230 est davantage affecté par les caractéristiques physiques et chimiques du site Latreille que les autres hybrides alors qu'il est significativement moins performant en volume que le 3570 sur ce dépôt littoral (Figure 21). Le cultivar *P. deltoides x ?* 4679 à faible niveau d'hybridation, uniquement représenté sur ce dispositif, présente les plus faibles hauteurs et diamètres cumulatifs. Cependant, il sera à surveiller dans les années suivantes car sa croissance moyenne durant la saison 2005 a dépassé celle des 3308 et 3570. Dans un contexte agricole où la prédation des plants par le chevreuil est importante, cette croissance initiale lente pourrait se révéler un sérieux désavantage.

Les biomasses sèches présentées à la Figure 22 se distinguent quelque peu des volumes présentés à la Figure 21. En effet, sur dépôt littoral (Latreille), le DNxM 915508 a les plus faibles biomasses alors qu'elles sont similaires en volume au 3570. Le faible effectif (6 arbres utilisés pour mesurer la biomasse du 915508) pourrait expliquer cet écart important.

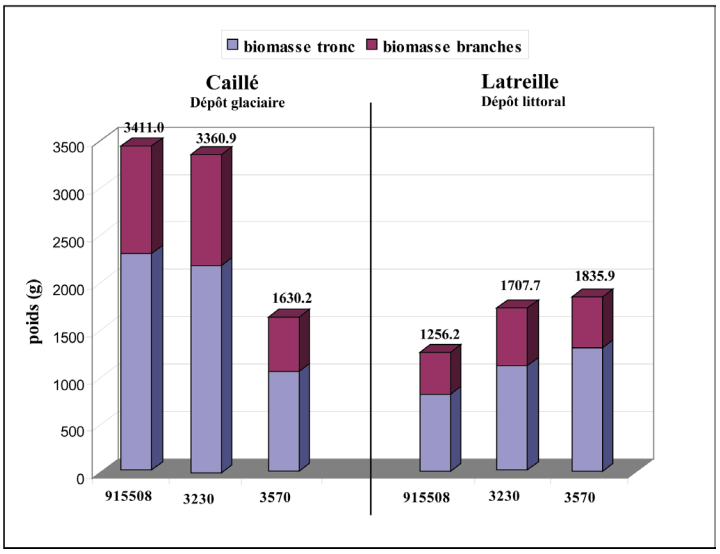


Figure 22 - Biomasse sèche moyenne estimée du tronc et des branches pour des arbres correspondant aux dimensions moyennes de chaque cultivar de PEH sur les sites Caillé et Latreille; les valeurs affichées au-dessus de chacune des barres d'histogramme correspondent à la biomasse sèche totale (branches + tronc en grammes).

Sur dépôt glaciaire (Caillé), le bouleau à papier (*Betula papyrifera*) et le frêne rouge (*Fraxinus pennsylvanica*) ont montré après 4 années les meilleures croissances verticales (279 et 255 cm respectivement) et radiales (43 et 44 mm respectivement, voir Figure 23. Le cerisier tardif (*Prunus serotina*), une espèce pionnière à croissance rapide, a montré une croissance en hauteur satisfaisante quoique inférieure au frêne rouge et au bouleau blanc (194 cm après 4 années de croissance) mais présente une croissance radiale importante, le diamètre étant statistiquement semblable à celui du frêne rouge et du bouleau blanc (40 mm). Cette caractéristique nous apparaît associée à une faible dominance apicale, pouvant être le résultat de sa réaction aux dommages sur la pousse terminale, parfois occasionnée par l'herbivorie attribuable au chevreuil : des pousses multiples prennent le relais à ces occasions. Autant chez Caillé que chez Latreille, le chêne à gros fruits a présenté une croissance verticale faible (120 cm et 105 cm respectivement), ce qui correspond à son profil d'espèce à croissance plus lente (Burns & Honkala 1990). Finalement, le noyer noir (*Juglans nigra*), avec un lent démarrage, n'exprime pas pleinement son potentiel d'essence à croissance rapide (hauteur de 109cm

sur dépôt glaciaire et 101 cm sur dépôt littoral), autant sur un sol franc comme Caillé que sur un loam pierreux comme Latreille.

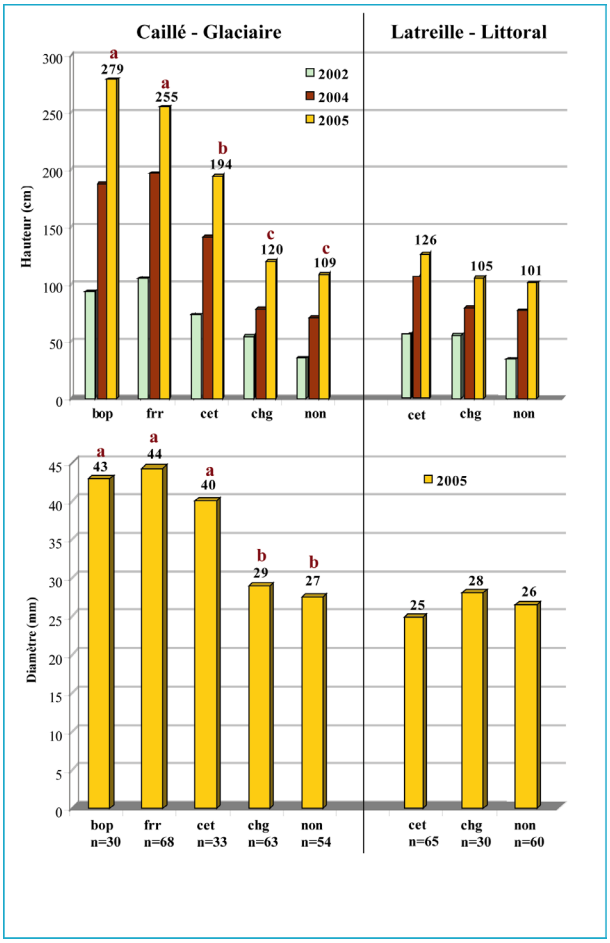


Figure 23 - Hauteurs et diamètres à la souche des plants de bouleau à papier (bop), frêne rouge (frr), cerisier tardif (cet), chêne à gros fruits (chg) et de noyer noir (non) sur un sol d'origine glaciaire (Caillé) vs littoral (Latreille), de 2002 à 2005

Les informations pour l'année 2003 ne sont pas disponibles. Les lettres au-dessus des valeurs de hauteur et de diamètre 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.

Site Thibodeau 2003-2005 (3 ans)

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 une argile lourde. 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.

Figure 24 - 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

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, fauchage, mesures de croissance, ont été appliqués en 2003 (entretien par hersage du sol en 2004 et 2005). 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, mais ici, des plants ont été utilisés (plutôt que des boutures) (voir Tableau 18). Cette fois, les rangs de PEH alternent avec des rangs composés d'une alternance de PEH et de feuillus sur le rang (Figure 24). 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 sera 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 (voir Tableau 18) 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 à essence 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). 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).

Tableau 18 - Liste des clones utilisés

N° clone*	Type d'hybride	Cultivar et pays d'origine
3230	*P. trichocarpa x deltoides*	*cv. 'Boelare'; Belgique*
3570	*P. deltoides x nigra*	*Belgique*
3729	*P. nigra x maximowiczii*	*cv. 'NM6'; Allemagne*
915508	*P. (deltoides x nigra) x maximowiczii*	*MRN, Québec*
915311	*P. maximowiczii x balsamifera*	*MRN, Québec*
Essais de Plançons avec les cultivars ci-haut mentionnés additionnés du suivant		
3308	*P. deltoides x nigra*	*cv. 'Regenerata Bâtard d'Hauterive'; France*

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

Résultats

Analyses de sols

Ce site, situé sur un dépôt lourd d'origine marine, recèle peut-être le meilleur potentiel de croissance de l'ensemble de nos dispositifs expérimentaux. Avec un pH moyen de 7.0 (voir tableau 19), cet ancien marécage présente une concentration d'ions H+ faible, à l'avantage des peupliers en croissance.

Tableau 19**- Concentration en éléments nutritifs du sol chez Thibodeau; Sat. = taux de saturation; CEC = capacité d'échange cationique.**

	Sol lourd (Thibodeau)	Référence (Doucet 1992)
pH tampon	7.0	
Phosphore (P) (kg/ha)	**25.6**	288 – 720
Potassium (K) (kg/ha)	**285.0**	360 – 720
Magnésium (Mg) (kg/ha)	924.9	> 125
Calcium (Ca) (kg/ha)	8419.4	> 2500
Aluminium (Al) (ppm)	692.9	
Sat. P (% P/AI)	1.6	
Sat. K (% mEq/CEC)	**1.3**	2.5
Sat. Mg (%mEq/CEC)	**13.2**	10 – 15
Sat. Ca (%mEq/CEC)	**68.8**	80 – 95
Sat. K-Ca-Mg (% mEq/CEC)	83.3	
C.E.C. (mEq/100g)	27.5	Fertilité faible: 25 – 30
Rapport $\frac{Ca}{Mg}$	5.5	Acceptable: 1 – 2 Optimal: 2 – 9
Rapport $\frac{K}{Mg}$	0.09	Acceptable: 0.05 – 0.10 Insuffisant: < 0.05
Rapport $\frac{Ca+Mg}{K}$	**68.2**	Optimal : 15 – 30 Trop fort : > 40

18 échantillons, pris à 3 profondeurs différentes, répartis sur les 3 blocs. Les concentrations dépassant le cadre des valeurs de référence sont présentées en caractère gras.

Comme il arrive souvent avec les anciennes cultures agricoles, la quantité de phosphore présent est très faible, soit près de 9% du taux minimum conseillé par Doucet (1992). Le potassium est légèrement en deçà des moyennes conseillées, et le magnésium est présent en grande quantité. La quantité de calcium est très importante, ce qui crée un déséquilibre dans les relations entre cations basiques tel qu'exprimé par le rapport Ca+Mg/K, qui atteint une valeur de 68.2, ce qui dépasse les limites conseillées par Doucet (1992). En général, bien que ce site présente un coefficient d'échange cationique (C.E.C.) faible d'après les standards associés aux sols lourds (Doucet 1992), son sol présente un excellent potentiel pour la production de peuplier hybride grâce à une bonne alimentation en eau et en éléments nutritifs.

Tableau 20 - Succès d'établissement des arbres à la fin de la saison de croissance 2005.

	Plants		**Plançons**		**Feuillus nobles**	
	Survie	*Effectif*	*Survie*	*Effectif*	*Survie*	*Effectif*
3230	88.6 %	79	79.3 %	29	-	-
3308	-	-	17.2 %	29	-	-
3570	90.8 %	79	71.4 %	29	-	-
3729	94.9 %	79	57.1 %	28	-	-
915508	86.1 %	79	86.2 %	29	-	-
915311	88.6 %	79	71.4 %	28	-	-
Frêne rouge	-	-	-	-	100 %	59
Frêne d'Amérique	-	-	-	-	95.2 %	62
Chêne à gros fruits	-	-	-	-	96.6 %	59

Croissance et survie

Après trois années de croissance (2003 à 2005), la survie des clones était supérieure à 86% (voir Tableau 20). Bien que les taux inférieurs à 90% aient été rares dans les diverses expérimentations que nous avons conduites par le passé en utilisant des boutures, les résultats sont satisfaisants et similaires pour tous les clones. Un peuplier sur deux devrait être éliminé dans un proche avenir afin de produire des espacements définitifs de 7 m sur les rangs de peupliers.

La croissance annuelle en hauteur des plants durant la troisième année en plantation (2005) a varié d'un minimum de 191 cm (3230) à un maximum de 250 cm (915508) (Figure 25). Le patron de croissance de la troisième année est assez fidèle à celui obtenu en 2004 pour l'ensemble des cultivars. La croissance du clone 3230 répond moins bien à ce jour aux caractéristiques du site. Avec un volume et une hauteur moyens de 7570 cm³ et de 500cm respectivement, ce clone est significativement moins performant sur ce type de sol lourd jusqu'à maintenant. Les autres cultivars ne présentent pas de différences significatives de croissance, malgré que le 915508 présente les moyennes les plus élevées avec notamment un volume du tronc de 16693 cm³, supérieur de plus de 3000 cm³ au clone 3729 qui s'en approche le plus.

L'essai avec des plançons a produit des taux de survie variables et inférieurs à la plantation traditionnelle (Tableau 20). Le succès d'établissement du 3308 en plançons est

un échec, avec un taux de survie de 17.2%. Le 3729 présente certaines difficultés également, avec un taux de survie de 57.1%. Tous les autres cultivars ont survécu à plus de 70%, et la survie des cultivars est corrélée à leur croissance verticale (voir le 915508 et le 3230). Notons que l'effectif original des plançons est très faible (28 ou 29 individus par clone), ce qui limite la portée de nos résultats mais l'initiative permet d'explorer cette avenue de propagation.

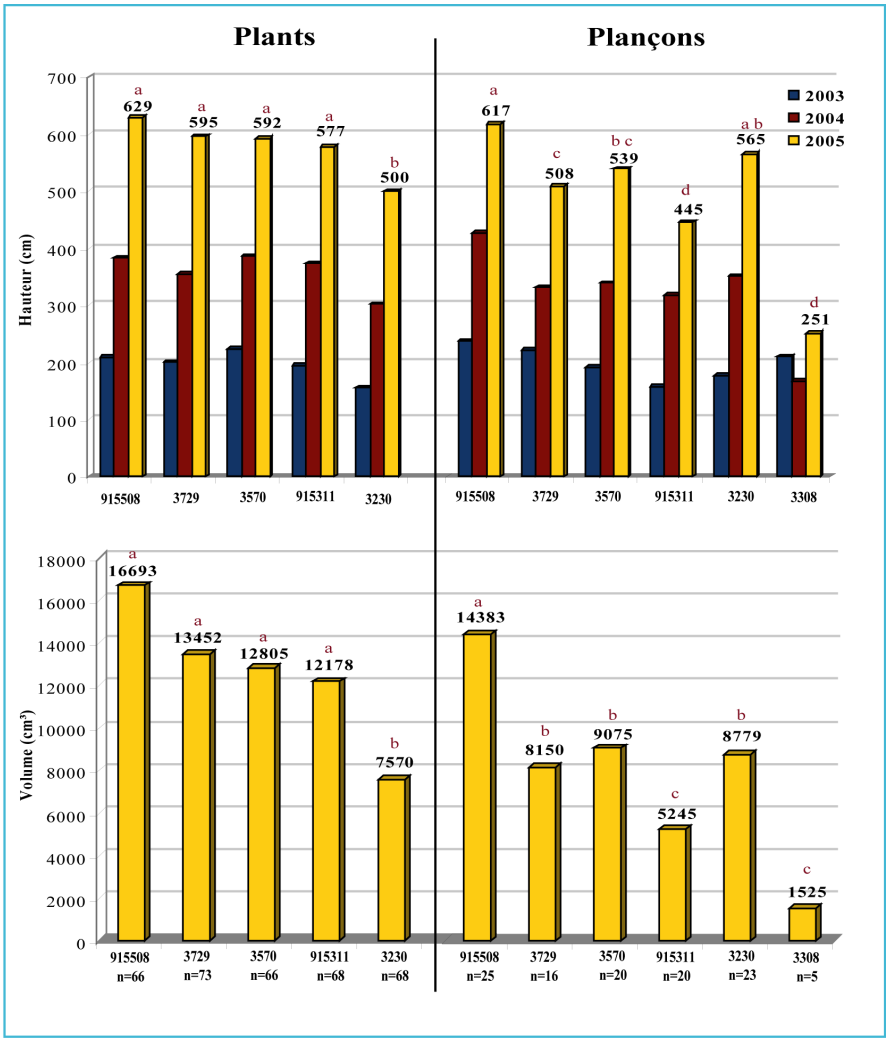


Figure 25 – Hauteurs et volumes des plants et plançons de peupliers 3230, 3308, 3570, 3729, 915508 et 915311 sur sol lourd, en 2005. Les lettres au-dessus des valeurs de hauteur et de volume indiquent des différences significatives à $p<0.05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

La croissance des plançons a été beaucoup plus variable entre les cultivars que ce qui fut mesuré pour les plants (Figure 25). La pratique du plançon est généralisée actuellement en France où la production de plançons est cependant conduite avec beaucoup d'efficacité. La taille des plançons produits en une année est notamment supérieure à celle utilisée dans le présent essai (4-5 m). Les sols sont également profondément travaillés en France, alors que nous n'avons pas ici modifié la structure de l'argile par le

travail mécanique, essentiel selon nous. Un des principaux intérêts d'utiliser le plançon réside dans leur taille initiale élevée, principalement dans le but de produire une cime qui, dès la première saison, pourrait être inaccessible aux brouteurs. Pour bénéficier de cet avantage, les plançons devront présenter des tailles supérieures à ceux utilisés ici. Le plançon peut également assurer une plus grande rectitude d'une portion de tronc au démarrage.

Les résultats présentent l'intérêt de souligner des cultivars qui ont présenté des facilités particulières à s'établir par le plançon malgré des conditions de sol de haute densité. Arrive en tête le 915508, qui, sous forme de plançon, dépasse tous les autres clones d'au moins 50cm (voir figure 25). Développant un diamètre élevé, le 915508 voit son volume moyen (14383 cm³) significativement supérieur d'un tiers à celui des autres plançons ($p<0.05$). À 617 cm en hauteur après 3 années de croissance, il dépasse de plus de 50cm en moyenne le 3230, qui semble également très performant sur sol lourd, malgré un démarrage plus difficile. Les cultivars 3729, 3570 et 3230 présentent un volume semblable, alors que les plançons les moins performants sont les 915311 et 3308.

Feuillus- La survie des feuillus est quasi-parfaite (voir Tableau 20). Le contexte de plantation dans un horizon organique inquiétait au départ à cause des fluctuations du taux d'humidité saisonnier dans un tel horizon, pouvant être particulièrement sec en surface l'été. Le frêne rouge s'est démarqué du frêne d'Amérique et du chêne à gros fruits autant en hauteur qu'en diamètre ($p<0.05$). Avec une hauteur de 178 cm et un diamètre de 28 mm, il semble le mieux adapté aux conditions de sol organique sur argile (Figure 26). La disposition des feuillus nobles par rapport aux peupliers hybrides, intercalés sur des rangs de peupliers et bordés de rangs de peupliers, est différente de ce qui a été proposé dans les autres dispositifs et offrira de nouvelles informations concernant l'agencement idéal.

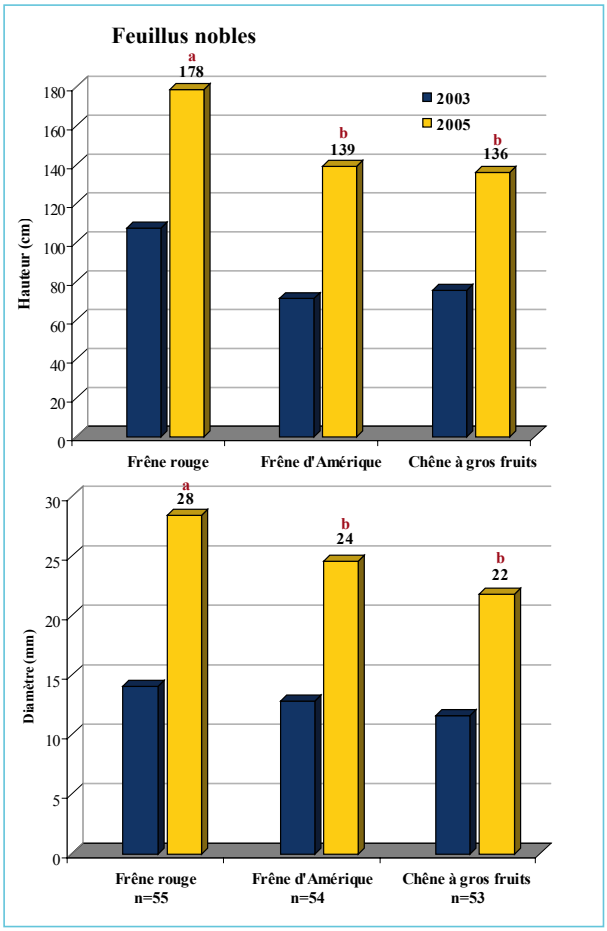


Figure 26- Hauteurs et diamètres à la souche des plants de frêne rouge, frêne d'Amérique et de chêne à gros fruits sur sol lourd au mauvais drainage, en 2005. Les lettres au-dessus des valeurs de hauteur et de diamètre indiquent des différences significatives à $p<0,05$. Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs.

Site Leblanc McCormick 2003-2005 (3 ans)

Méthodologie

Ce dispositif permet d'analyser les capacités de prélèvement des éléments nutritifs du sol de cinq cultivars de peupliers hybrides, en associant les caractéristiques chimiques des sols avec la croissance des peupliers. 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 des deux sites varie de modéré à imparfait. 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 21. 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 21 - 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, intégrés dans un dispositif expérimental à trois blocs aléatoires complets. Chaque bloc comprend cinq rangs de peupliers, chacun occupé par un des cultivars à l'essai (Tableau 22).

Tableau 22 **- Liste des clones utilisés**

N° clone*	Type d'hybride	Cultivar et pays d'origine
3230	*P. trichocarpa x deltoides*	*cv. 'Boelare'; Belgique*
3729	*P. nigra x maximowiczii*	*cv. 'NM6'; Allemagne*
3570	*P. deltoides x nigra*	*Belgique*
915508	*P. (deltoides x nigra) x maximowiczii*	*MRN, Québec*
915311	*P. maximowiczii x balsamifera*	*MRN, Québec*

Selon les recommandations du MRN, les cultivars 3230 et 3570 ne devraient être plantés que dans les sous-régions écologiques 1 et 2. La sous-région écologique 3d est la limite de plantation pour les cultivars 3729 et 915508. Le cultivar 915311 a une rusticité élevée et peut être utilisé jusqu'à la sous-région écologique 4h. ***** *liste des clones recommandés de peuplier hybride au Québec, DRF, Forêt Québec*

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 (Figure 27). 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.

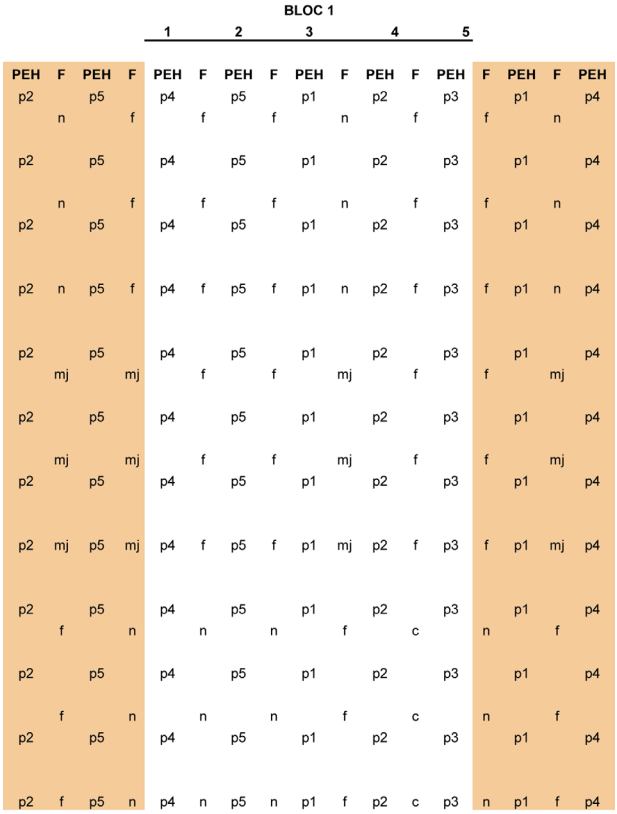


Figure 27- Parcelle expérimentale comprise dans le bloc 1. Les rangées marginales ne sont pas mesurées mais servent à border les rangées expérimentales 1 à 5. Les cultivars 915508 (p1), 915311 (p2), 3729 (p3), 3230 (p4) et 3570 (p5) sont ici représentés, ainsi que le frêne d'Amérique (f), le chêne rouge (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.

Au champ, des échantillons de sols ont été prélevés au début de l'expérimentation au cours de l'été 2003 (août). L'horizon Ap (perturbé par le passé agricole) et l'horizon B sous-jacent (Ap=10-30 cm et B=30-60 m) sont analysés à partir d'échantillons prélevés dans des profils de sols creusés dans chaque bloc (n=3) de chaque site (n=2) et pour deux positions topographiques (n=2) de haut (entre les arbres 5-6) et de bas (entre les arbres 25-26) de versant et ce, pour chacun des cinq (5) cultivars. Les analyses suivantes ont été réalisées : pH, NO_3, NH_4, P assimilable, Al, Ca, K, Na, Mg, et Mn échangeables.
Le pH des échantillons a été déterminé dans une solution 2 : 1 d'eau et de sol avec une électrode en verre d'un pH-mètre. Les cations ont été mesurés en utilisant l'acétate d'ammonium (Carter 1993) et les concentrations ont été déterminées avec le spectrophotomètre à absorption atomique. La capacité d'échange cationique (CEC) fut mesurée avec la méthode de Mehlich III (Carter 1993). Les concentrations de NO3, NH4 et PO4 ont été déterminées selon la méthode de Mehlich par colorimétrie (Carter 1993). La saturation en base (SB) fut calculée à partir de la somme des concentrations de Ca, Mg, K et Na sur la capacité d'échange cationique et multiplié par 100 (Lafond *et al.* 1992).

L'échantillonnage des branches et du tronc s'est déroulé au mois de décembre, après la chute des feuilles, pour s'assurer que la translocation des nutriments des feuilles dans d'autres organes des plants ait été complétée. L'effectif d'échantillonnage était composé de deux arbres de haut de pente et deux arbres de bas de la pente, choisis pour leur similitude avec les moyennes de hauteur par clone. Chaque arbre a été abattu au niveau du sol, puis ébranché. L'ensemble des branches a été pesé sur place. Pour chaque individu, une branche sur quatre parmi toutes les branches disposées en ordre croissant de taille a été sélectionnée pour en extraire un sous-échantillon de 14cm de longueur du milieu de la branche que nous avons pesé et séché (pour l'estimation de la biomasse sèche des branches). Le tronc de l'arbre a été divisé en trois parts égales. Chaque tiers a été pesé individuellement, puis les 14 cm du centre de chaque partie ont été prélevés, pesés et séchés (pour l'estimation de la biomasse sèche des troncs). Ces échantillons de quatre arbres par cultivar (5) par bloc (3) par site (2) (total 120), permettront des notamment de préciser la biomasse moyenne produite par cultivar en 3 ans.

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 ainsi que d'analyses de corrélations de Pearson. Les valeurs ont été transformées en rang afin de garantir la normalité.

Résultats

Analyses des sols

Chez McCormick, le matériel parental qui a façonné le sol est principalement constitué de grès. Le grès est une roche sédimentaire dure et lisse composée de petits grains, en majorité du quartz et du feldzpath, cimentés les uns aux autres en grande partie par du matériel siliceux. La réaction de l'altération chimique du grès fait en sorte de libérer une quantité relativement grande d'ions H^+ dans le sol (Bohn *et al.* 1979) et ceci explique pourquoi le pH du sol chez McCormick est plus acide (tableau 23). Par conséquent, l'Al échangeable est en plus grande concentration, car celui-ci devient plus mobile avec une baisse du pH (1201.4 ppm) (Bohn *et al.* 1979; Timmer 1985). Comme on le voit chez McCormick, le pH faible ainsi que le fait que l'Al soit l'élément avec la plus forte concentration explique pourquoi la SB est plus faible que chez Leblanc (16.5% et 67.5% respectivement). L'Al^{3+} et les ions H^+ font en sorte de diminuer la concentration des cations basiques échangeables provoqué par le lessivage comme c'est le cas avec le calcium (940.8 kg/ha, alors qu'il en faudrait au moins 2500, d'après Doucet 1992) (Sumner 2000). C'est parce que la force d'échange, qui est surtout en fonction de la valence, est supérieure pour Al^{3+} provoquant le déplacement de Ca^{2+} et Mg^{2+} (Duchaufour 1991). Étant donné que le taux de saturation des bases échangeables inclut tous les cations sauf H+, et que la concentration en H+ de McCormick est élevée (pH = 5.7 vs Leblanc pH=7.5), il est probable que les H+ accaparent une grande partie du complexe d'adsorption du sol chez McCormick au détriment de la disponibilité des autres cations essentiels. En effet, une fois les ions H+ inclus dans le calcul de la capacité d'échange cationique, on voit la fertilité du sol chez McCormick retrouver un niveau raisonnable (17.5 mEq/100g) similaire quoique inférieur à Leblanc (19.0 mEq/100g). Les concentrations de Ca et Mg dans le sol contribuent fortement à cette meilleure capacité d'échange cationique (CEC) chez Leblanc.

Le site alcalin Leblanc (pH = 7.5) présente une très forte concentration en Mg (1189.6 kg/ha) ainsi qu'une forte concentration en Ca (3822.9 kg/ha). Comme c'est le cas pour les sites de Verteneuil, Caillé et Latreille, on peut supposer que le caractère en partie dolomitique de la roche-mère explique ces concentrations. En effet, plusieurs signalent que les sols sur des dépôts dolomitiques [Ca Mg $(CO_3)_2$] ont des taux plus élevés de carbonates de calcium et magnésium, ainsi qu'un pH plus élevés dû à la présence de $CaCO_3$ dans le sol, qui joue un rôle « tampon » et a pour effet de maintenir le pH entre des valeurs de 7.5-8.5 unités pH (Donohue *et al.* 1983).

Tableau 23 - Concentration en éléments nutritifs des sols des deux sites (Leblanc et McCormick); Sat. = taux de saturation; CEC = capacité d'échange cationique. N=30 échantillons par site, pris à 2 profondeurs (Ap et B) à 2 positions topographiques (haut et bas de pente) sur 3 blocs/site. Les concentrations dépassant le cadre des valeurs de référence sont présentées en caractère gras.

	Leblanc	**McCormick**	Référence (Doucet 1992)
pH eau	7.5	5.7	
Sodium (Na) (mEq/100g)	12.4	21.9	
Potassium (K) (kg/ha)	**115.7**	**172.1**	360 - 720
Magnésium (Mg) (kg/ha)	1189.6	163.3	> 125
Manganèse (Mn) (mEq/100g)	0.68	0.23	
Calcium (Ca) (kg/ha)	3822.9	**940.8**	> 2500
Aluminium (Al) (ppm)	437.4	1201.4	
Matière organique (%)	6.17	4.77	
C organique (%)	3.58	2.77	
$CaCO_3$ (%)	12.90	1.10	
C inorganique (%)	1.55	0.13	
Sat. Bases (%)	67.5	**16.5**	Fertilité faible : 15 – 40 Fertilité élevée : 60 - 85
C.E.C. (mEq/100g)	19.0	17.5	Fertilité moyenne: 15 - 20
Rapport $\frac{Ca}{Mg}$	1.93	3.44	Acceptable: 1 – 2 Optimal: 2 – 9
Rapport $\frac{K}{Mg}$	**0.029**	0.33	Optimal: 0.1 – 0.5 Insuffisant: < 0.05
Rapport $\frac{Ca+Mg}{K}$	**99.69**	13.55	Acceptable : 12 - 15 Trop fort : > 40
PO_4 (P kg/ha)	**5.38**	**34.52**	360 - 500
NO_3(N kg/ha)	74.21	36.98	
NH_4 (N kg/ha)	5.00	26.88	

Les rapports entre les éléments nutritifs K, Mg et Ca, présentés au tableau 23, se révèlent extrêmement pertinents pour évaluer la fertilité des sols. En général, il se produit un échange entre ces éléments lors de l'assimilation par les plantes : un niveau de K_2O faible, comme c'est le cas autant chez Leblanc que chez McCormick, se traduit par une assimilation plus forte du MgO et du CaO par compensation. De plus, dans un sol dont la solution contient beaucoup de Mg et de Ca, l'assimilation du K est entravée. Doucet (1992) précise qu'un sol agricole riche doit viser un rapport de 2 K pour 1 Mg, ce qui n'est pas le cas autant chez Leblanc que chez McCormick. Premièrement, examinons le rapport Ca/Mg. Chez Leblanc, une concentration très élevée de Mg conjuguée au calcium ne révèle pas de déséquilibre entre ces deux éléments. Par contre, l'introduction du K dans les rapports K/Mg et (Ca+Mg)/K vient déstabiliser les relations entre ces éléments. Les deux sites ont une concentration de K qui est faible, néanmoins le site McCormick est celui avec la plus élevée. Ce peut-être associé à l'altération des feldspaths-K, contenus dans la fraction sableuse du grès. La concentration faible de K chez Leblanc, même si le site possède une plus grande CEC, vient du fait que les sols

dont le pH est supérieur à 6, ont un lessivage accru de K (Camiré & Brazeau 1998). Puisque le K est un élément essentiel majeur et étant donné que la concentration du K est faible sur les deux sites, il sera important de vérifier s'il devient un facteur limitant pour la croissance des espèces. La surabondance du Mg conjuguée à un trop faible taux de K rendent insuffisant le rapport K/Mg chez Leblanc (ces résultats sont typiques aux sites dolomitiques comme Verteneuil, Caillé ou Latreille). L'ajout du Ca, très élevé chez Leblanc, vient accentuer ce déséquilibre dans le rapport Ca+Mg/K. Chez McCormick par contre, un sol gréseux, les taux de K sont plus élevés que chez Leblanc, quoique encore trop faibles, alors que les concentrations de Mg sont normales, ce qui produit un rapport K/Mg optimal. Bien que les concentrations en Ca soient faibles, le rapport Ca+Mg/K demeure acceptable.

L'azote, le phosphore et le potassium sont des éléments essentiels majeurs, qui ont des fonctions importantes dans les plantes, autant sur le plan constitutif que physiologique (Lafond et al., 1992). L'azote organique ne peut être assimilé directement par les plantes, il doit être minéralisé en NO_3 ou en NH_4 échangeable, par les microorganismes (Sumner, 2000). La concentration de NO_3 ne varie pas significativement entre les deux sites, mais montre une tendance à être supérieure chez Leblanc, tandis que c'est NH_4 qui domine chez McCormick. Lafond et al. (1992) évoquent que la décomposition de la matière organique par les microorganismes libère de l'ammoniaque (NH_3) comme sous-produit et cet ammoniaque peut demeurer dans le sol sous forme de NH_4 si le milieu est acide ou être transformé en NO_3 si le milieu est bien aéré et riche en ion Ca^{2+}. Ils mentionnent également que la nitrification, assurée par des bactéries autotrophes et aérobies, est optimale lorsque le pH se situe entre 7.5 et 8.0. Pais et Jones (2000) ont remarqué que NH_4 est généralement la forme dominante de N dans les sols acides, tandis que c'est NO_3 qui prédomine dans les sols alcalins. De plus, certains rappellent que la minéralisation de N et le pH sont positivement corrélés (Boxman *et al.* 1994). Donc, tout ceci porte à croire que la tendance à une plus grande concentration de NO_3 chez Leblanc est conforme aux conditions de richesse en ion Ca^{2+} et aux niveaux de pH élevés de 7,54. Le pH relativement acide chez McCormick cause une accumulation de NH_4, car l'activité des microorganismes est ralentie, atténuant la nitrification.

Les concentrations de P disponible sont extrêmement basses autant chez Leblanc que chez McCormick, ce qui est typique des anciens champs de culture non fertilisés (van den Driessche 2000). Le PO_4, la forme la plus assimilable du phosphore, est en plus grande concentration chez McCormick. La concentration plus faible de PO_4 chez Leblanc s'explique en partie par le pH supérieur à 6 qui provoque une rétroversion du P (Camiré & Brazeau 1998). De plus, Marschner (1986) mentionne que des déficiences en P sont fréquemment associées aux sols alcalins alors qu'une disponibilité réduite en P peut également être reliée à la présence de carbonates de calcium (Berthelot *et al.* 2000).

Croissance et survie

Les cultivars montrent tous un taux de mortalité très faible (moins de 10%, voir Tableau 24). La mortalité est systématiquement inférieure chez Leblanc, un site au pH nettement alcalin (7,5). Sur ce site, trois cultivars présentent une excellente croissance verticale : il s'agit des 3729, 915508 et 3570 (Figure 28). Les 3 années de croissance cumulées tendent à démontrer que le 3729 favorise une croissance verticale supérieure, tandis que le 3570, légèrement moins performant en hauteur, obtient un diamètre plus important que son voisin. De son côté, le 915508 applique une stratégie intermédiaire. Au final, ces trois clones ont produit un volume de tige équivalent sur le site Leblanc. À l'opposé, le 3230 ainsi que le 915311 ont été jusqu'à maintenant significativement moins performants sur ce site (hauteurs moyennes après 3 ans de 424 cm et 450 cm respectivement, alors que le cultivar 3729 présente une hauteur moyenne de 526 cm).

Tableau 24 **- Succès d'établissement des arbres à la fin de la saison de croissance 2005, selon le site et l'espèce ou le cultivar à l'étude**

Leblanc					
	3230	**3570**	**3729**	**915508**	**915311**
%survie	97.7	95.3	100	97.7	97.7
effectif	86	86	86	86	86
McCormick					
	3230	**3570**	**3729**	**915508**	**915311**
%survie	94.3	93.2	98.9	92.1	95.4
effectif	88	88	88	87	88

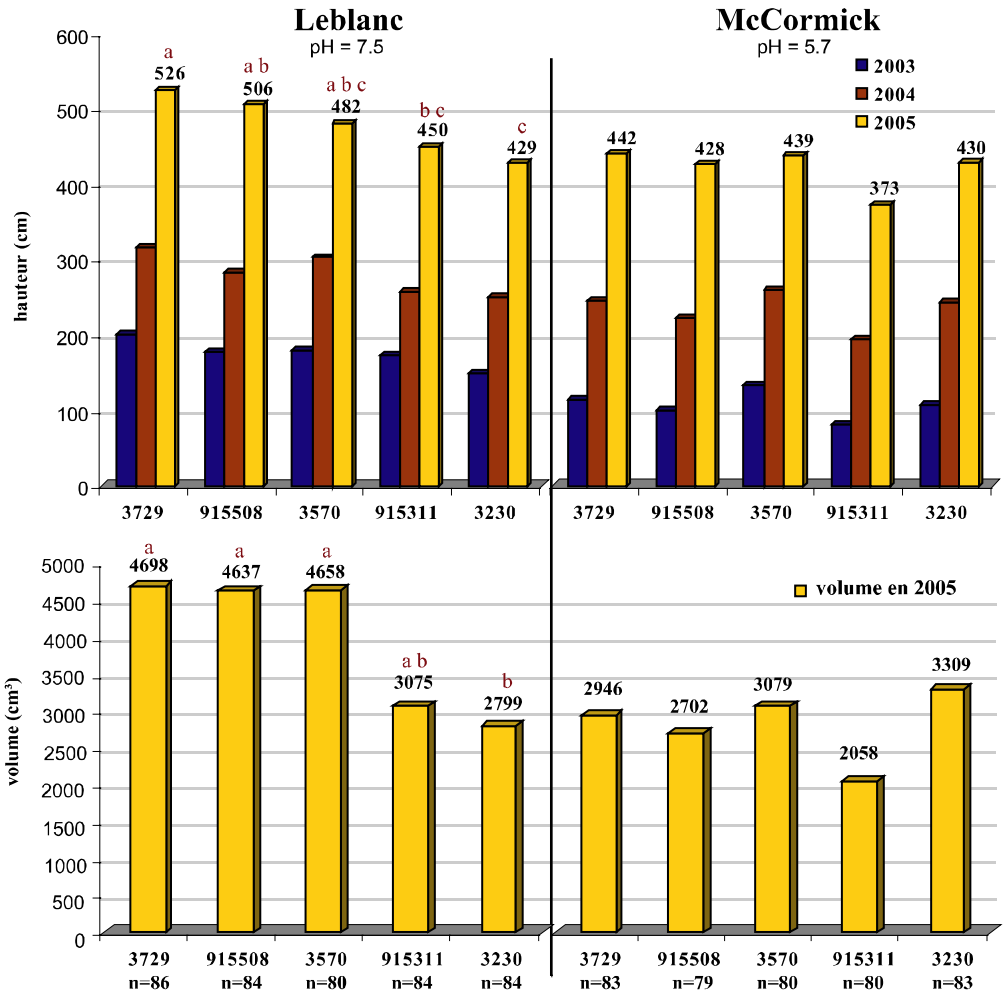


Figure 28 – Hauteurs et volumes des cultivars de peupliers 3230, 3570, 3729, 915508 et 915311 sur les sites acide (McCormick) et alcalin (Leblanc) en 2005. Les lettres au-dessus des valeurs de hauteur et de volume indiquent des différences significatives à $p<0.05$; il est à noter que les hauteurs chez McCormick se sont révélées différentes ($p<0.05$) mais le test de Tuckey n'a pas décelé de distinction entre les clones. Cela s'explique par une forte interaction bloc*clone ($p<0.0001$); enfin, les volumes chez McCormick ne sont pas différents ($p=0.14$). Les plants morts ou dont la croissance était sérieusement compromise n'ont pas été inclus dans les calculs; n = nombre de plants retenus pour l'ANOVA

Chez McCormick (pH = 5,7), le site plus acide, la productivité des peupliers y est moindre. Nous n'avons pas décelé de différence significative entre les cultivars, bien que le 915311 montre une moyenne en hauteur comme en volume inférieure à la productivité des autres cultivars. Le 3230, bon dernier sur pH alcalin, tend à dominer ces mêmes cultivars sur pH acide en termes de volume. La variabilité des résultats de croissance est nettement supérieure sur ce site, limitant la détection des différences interclonales. Ces

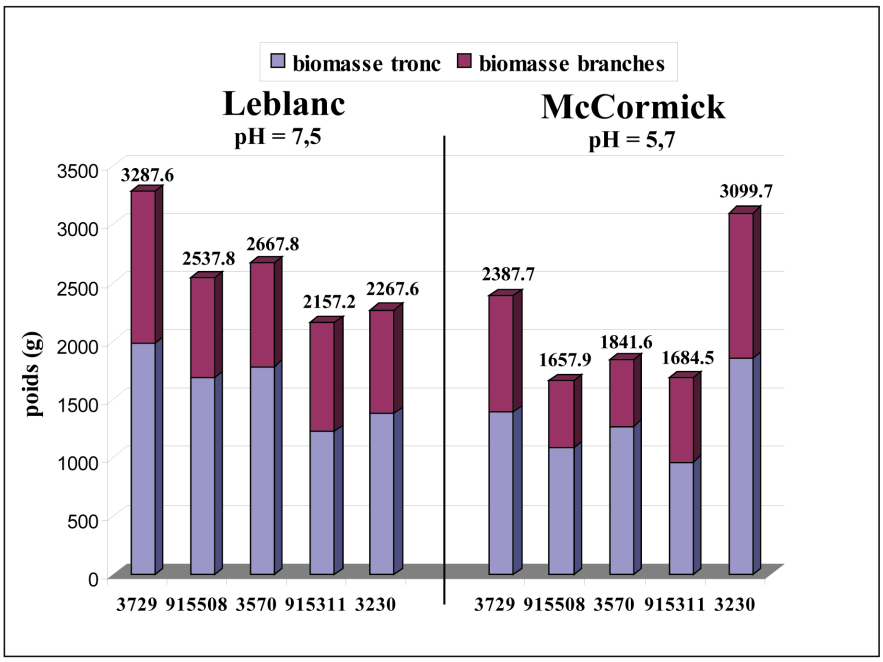


Figure 29- Biomasse sèche moyenne estimée du tronc et des branches pour chaque cultivar de PEH sur les sites Leblanc et McCormick; les valeurs affichées au-dessus de chacune des barres d'histogramme correspondent à la biomasse sèche totale (branches + tronc en grammes).

résultats démontrent que la productivité de tous les cultivars sauf le 3230 a été supérieure chez Leblanc, le site où le sol contient une plus grande quantité d'éléments minéraux essentiels pour la croissance. La figure des biomasses sèches (Figure 29) va dans le même sens : les clones montrent à peu près les mêmes tendances sur pH acide ou alcalin, sauf pour le TxD 3230 qui se démarque des autres sur sol acide. En général, les autres clones montrent une productivité beaucoup moindre chez McCormick.

Discussion

La productivité d'un écosystème ou d'une plantation d'arbres est le résultat d'interactions complexes entre le génotype des individus et leur environnement biotique et abiotique. La maximisation de cette productivité, objectif avoué de la populiculture, peut être atteinte soit par la sélection de cultivars performants, l'optimisation des méthodes de production, ou la combinaison de ces deux méthodes (Ceulemans & Deraedt 1999). Nos dispositifs expérimentaux combinent à la fois une gamme de plusieurs hybrides interaméricains, eurasiens, euraméricains et certaines combinaisons multiples, que nous confrontons à une vaste palette de sols reflétant les réalités du sud-ouest québécois et à différentes méthodes de culture, que ce soit par l'espacement entre les rangées d'arbres ou la production intercalaire. De plus, le choix de nos sites et de nos cultivars a été guidé par la nécessité de permettre les comparaisons strictes entre ces sites. Cela permettra d'enrichir de manière déterminante le bassin de connaissances lié aux aspects sylvicoles en populiculture au Québec.

Âge des sites

Avant d'aller plus avant dans l'analyse de nos résultats, il faut se rappeler que les dispositifs de plantation analysés dans ce rapport sont encore jeunes. Bien que certains clones se démarquent par leur vigueur et leurs qualités d'adaptation, plusieurs autres cultivars restent difficiles à distinguer pour le moment. Il est connu que les différences de productivité entre cultivars sont nettement plus évidentes lorsque les arbres deviennent plus matures (Heilman & Stettler 1985). En effet, nos plantations débutent un stade de croissance accéléré, soit la première partie de la courbe sigmoïde classique utilisée pour exprimer la croissance des plantations de peuplier (Camiré & Brazeau 1998), et les contrastes adaptatifs entre les clones étudiés devraient s'accentuer avec chaque nouvelle année de croissance et nous révéleront certainement davantage d'informations sur les clones de peupliers disponibles dans les années à venir.

Classe texturale des sols

Une grande variété de types de sols peut être utilisée pour les plantations de peupliers (Ceulemans & Deraedt 1999). Cependant, il est essentiel que le choix des espèces plantées tienne compte des conditions édaphiques qui dominent sur les sites de plantation (Cogliastro 1997, 2003). En effet, plusieurs échecs en plantations par le passé ont été causés par un mauvais choix de cultivars (Balandier & Dupraz 1999). Notre dispositif de plantations est constitué de six sites aux textures de sol variables afin de discriminer les cultivars selon leurs adaptations. À une extrémité du spectre granulométrique se trouve le site Thibodeau, constitué d'un sol plus lourd, argileux, le plus favorable à une populiculture d'après plusieurs (Chauret *et al.* 1999). Vient ensuite le site Verteneuil (une ancienne terre de culture à fort potentiel). Ces deux sites peuvent être considérés comme très performants.

Notre volonté d'explorer des situations édaphiques plus marginales a justifié la création des dispositifs Caillé, Latreille, Leblanc et McCormick. Les sites Caillé et Latreille sont tous deux définis comme des loams dont la proportion de sable ne dépasse jamais 50%, quoique le site Latreille contienne une forte proportion de gravier dans son sol et donc un volume de sol prospectable réduit. Ces sites ont un passé agricole qui a affecté la disponibilité des ressources du sol. Les sites Leblanc et McCormick, d'origine glaciaire caractérisés par un loam sableux, contiennent environ 5% de matière organique, ce qui permet d'accroître la rétention d'eau et d'éléments nutritifs (Camiré & Brazeau 1998). Ces deux sites présentent d'ailleurs une plus grande disponibilité en eau que les sites Caillé et Latreille, et globalement un meilleur potentiel sylvicole quand on compare les résultats de croissance des deux groupes de sites ensemble (à âge égal). D'ailleurs, ces résultats confirment que le site littoral Latreille (plus graveleux) offre les moins bonnes conditions de croissance de l'ensemble de nos dispositifs.

Espacement

L'espacement entre les plants influence non seulement la productivité des individus mais aussi leur forme. Alors que de l'espacement souvent conseillé au Québec est de 3 m x 3 m (Camiré & Brazeau 1998), notre dispositif de double production peupliers et de feuillus nobles s'en distingue en proposant des espacements entre les rangs qui sont définitifs et qui permettent l'accès à la pleine lumière pour les feuillus et peupliers. Nos dispositifs d'espacement rappellent davantage ceux des systèmes de culture intercalaire, comme ceux incluant la production de noyers noirs où les espacements entre les rangées se situent autour de 12,5 m (Garret *et al.* 1991). Nos dispositifs sont conçus pour une production de bois de qualité sciage et déroulage et ne se conçoivent pas selon une planification qui comprendrait un stade de récolte d'une partie de la biomasse pour du bois à pâte (ou tout autre usage commun à une biomasse ligneuse de faible qualité). Nous croyons que la populiculture pratiquée sur de petites superficies en territoire privé ne pourrait rentabiliser une phase de récolte d'un faible volume de bois de faible qualité. Nous croyons également que cet objectif intermédiaire pourrait compromettre l'objectif final de production de bois de qualité sciage et déroulage (hétérogénéité des espacements, soins d'élagage mal répartis, reprise incertaine à l'éclaircie et irrégularité de croissance, etc.).

À ce stade de développement de nos arbres, l'espacement de 6 m entre les rangs induit une productivité supérieure à celui de 8m (site Verteneuil) autant pour les peupliers que pour les feuillus. Nos résultats montrent un accroissement du diamètre et de la hauteur avec une diminution de l'espacement entre les rangées de peupliers, ce qui va à l'encontre des résultats présentés dans la littérature scientifique. Les arbres feuillus plantés à large espacement ont tendance à développer un plus grand diamètre ainsi qu'un plus large houppier mais manifestent moins de dominance apicale (Cabanettes *et al.* 1999), ce qui n'est pas un problème dans le cas de peupliers qui ont intrinsèquement une très forte dominance apicale. Le système de comparaison des effets de l'espacement est toutefois encore jeune.

Il est intéressant de noter que non seulement les hauteurs et diamètres de nos arbres, mais également les ratios hauteur/diamètre, sont plus faibles à 8 m (16m entre les peupliers) qu'à 6 m (12 m entre les peupliers). Cela semble confirmer qu'à des espacements plus importants, la croissance radiale est favorisée. C'est aussi ce qu'a trouvé Bonduelle (1990) en étudiant plusieurs cultivars interaméricains P.trichocarpa x P.deltoides dont le 3230. Il est également possible que les conditions de drainage entre les pièces A (espacement 6m) et B (espacement 8m) diffèrent. En effet, le frêne d'Amérique présente une mortalité de 20% plus importante dans la pièce B (8m) que dans la pièce A (6m), alors que la survie du noyer noir, toujours plus faible que celle du frêne, ne se distingue pas entre les deux pièces. Cela pourrait suggérer que certaines caractéristiques édaphiques non mesurées varient entre les deux pièces.

Cultures intercalaires

La production de peuplier en culture intercalaire de feuillus n'est pas chose fréquente et les études manquent afin de mettre nos premiers résultats en perspective. Néanmoins, une étude produite en France comparant des feuillus plantés en culture intercalaire (densités de 400 tiges/ha) et en plantation classique (1100 tiges/ha) a démontré que certaines espèces d'arbres étaient significativement plus productifs (hauteur et diamètre) en culture intercalaire qu'en plantation classique, alors que d'autres ne montraient pas de différence significative (Balandier & Dupraz 1999). Mais cette variation de productivité peut autant être due à l'effet de la culture interbandes qu'à l'espacement.

Sur le site Verteneuil de la présente étude, la culture de soya entre les bandes a pour conséquence d'accroître la croissance radiale des peupliers. L'effet pourrait être d'origines multiples. Tout d'abord, il est démontré que le soya, comme plusieurs autres légumineuses fixatrices d'azote, a un effet bénéfique sur la croissance d'arbres (Van Sambeek *et al.* 1986), et l'analyse chimique des sols a montré que les niveaux d'azote total étaient bas et donc pourraient être considérés comme limitants. De plus, l'application de fertilisants qui accompagne l'ensemencement du soya a enrichi le sol. D'après une revue de littérature produite par Ceulemans & Deraedt (1999), l'application de fertilisants a pour conséquence d'augmenter la productivité des peupliers, mais il n'y a pas de différence dans la réponse aux fertilisants entre les cultivars de peupliers. Enfin, l'effet de l'herbicide appliqué afin de favoriser le soya a pu être bénéfique aux arbres en plantation en limitant la compétition en bordure des paillis de plastique, comme cela a été constaté récemment avec des plantations de noyer hybrides en France testant l'effet de l'application d'herbicides sur leur croissance (Chifflot *et al.* 2006).

Génétique et productivité des cultivars

La majorité des études de productivité en populiculture ont intégré à leurs dispositifs différents hybrides interaméricains *Populus trichocarpa* x *P. deltoides* (TxD) réputés être très productifs (Ceulemans & Deraedt 1999). Ces hybrides ont souvent montré une supériorité évidente vis-à-vis du P. trichocarpa pur (Heilman et al.1994) ou des hybrides euraméricains comme *P. deltoides x P. nigra* (DxN) (Hervé et Carlemesn 1996, Barigah et al., 1994). Ces peupliers interaméricains semblent davantage adaptés à des milieux variés, autant les milieux alluviaux que les situations hors-vallée, contrairement aux euraméricains comme le DxN (Souleres 1992).

Pour simplifier, nous avons hiérarchisé nos clones selon leur productivité moyenne, sans se limiter aux distinctions statistiquement significatives, selon le pH, la texture et l'origine du dépôt. Ces classements des cultivars par rangs, présentés aux Tableau 25, Tableau 26 et Tableau 27, permettent une meilleure comparaison entre eux mais ne doivent pas être pris isolément des résultats plus détaillés présentés dans les sections précédentes.

Le site de Verteneuil, un loam sablo-argileux présentant une bonne fertilité (C.E.C. > 20 en moyenne), permet au 3230 (TxD) de se démarquer des 3308 (DxN) et 3729 (NxM).

C'est sur ce site aux caractères optimaux pour la croissance des peupliers que le cultivar 3230 montre les plus fortes croissances verticales et radiales : après 6 saisons de croissance, il atteint 10,72 m de hauteur et 10,9 cm de diamètre, pour un espacement de 6m entre les rangées. Le 3230 performe d'ailleurs aussi bien chez Caillé et Latreille, deux loams majoritairement argileux et limoneux également propices à la croissance des peupliers, ainsi que chez McCormick, un loam plus sableux au pH acide (5,7), alors qu'il présente de nettes difficultés de croissance sur un loam sableux alcalin (7,5) comme Leblanc. Cela suggère que ce cultivar serait intolérant à des pH basiques. Enfin, on pourrait expliquer la mauvaise performance du 3230 chez Thibodeau (Tableau 25) un site argileux lourd mais riche, par une intolérance aux conditions de drainage mauvais ou imparfait, bien que les interaméricains TxD soient traditionnellement considérés comme mieux adaptés que les euraméricains aux sols argileux (Souleres 1992). D'autres facteurs pourraient cependant être en jeu puisque une autre étude québécoise a montré que le 3230 poussait très bien dans un site lourd (40% d'argile), produisant après 3 ans des hauteurs significativement supérieures aux 915508, 3570, 915311 et 3308 (Zhang *et al.* 2003).

Tableau 25- Mise en rang des cultivars de PEH selon leur productivité dans un sol argileux; Les résultats de productivité proviennent du site Thibodeau.

	3230	3729	3570	915508	915311
Dépôt marin (sol argileux)	3	2	2	1	2

Le 915508, un hybride *P.deltoides x nigra* x *P. maximowiczii* (DNxM) montre également d'excellentes performances. D'après Périnet et al. (2001), le 915508 convient sur des sols fertiles (loams) à moyennement fertiles (sables loameux). Il semble effectivement très bien adapté aux sols francs comme les loams et loams limoneux chez Caillé et Latreille ainsi que les loams sableux comme chez Leblanc et McCormick. Il présente également une très bonne productivité sur sol lourd argileux comme chez Thibodeau, contrairement au TxD 3230. Ce cultivar semble un des mieux adaptés aux diverses conditions de sol testées dans nos dispositifs de croissance, malgré qu'un pH de sol acide semble limiter sa croissance (Tableau 26).

Tableau 26- Mise en rang des cultivars de PEH selon leur productivité en fonction de l'acidité du sol; Les résultats de productivité proviennent des sites Leblanc (alcalin) et McCormick (acide).

		3230	3729	3570	915508	915311
pH	Acide (5,7)	1	2	2	3	4
	Alcalin (7,5)	4	1	2	2	3

Le MxB 915311 réagit très mal aux conditions de croissance de loams sableux, autant acides (McCormick) qu'alcalins (Leblanc), et performe mieux sur des sols aux textures fines.

De son côté, le DxN 3308, considéré moins bien adapté aux milieux hors-vallée comme tous les DxN (Souleres 1992), se montre beaucoup plus compétitif sur un loam riche et fertile comme Verteneuil que sur un loam plus pauvre comme Caillé ou plus mal drainé comme Thibodeau. Bien que son élongation terminale soit inférieure à d'autres cultivars comme le TxD 3230 ou le NxM 3729 (voir Verteneuil), le 3308 présente de bons volumes étant donnée sa forte croissance radiale. Un autre DxN, le 3570, semble être plus

versatile que le 3308. Tout comme celui-ci, le 3570 présente de bons résultats sur loams francs, en plus de très bien réagir aux sols plus lourd comme un loam limoneux (Latreille), aux sols argileux (Thibodeau) ou aux sols plus sableux (Leblanc et McCormick). Ce croisement d'origine belge est un généraliste très compétitif sur des sols appauvris, notamment en phosphore et potassium (voir Tableau 27).

Tableau 27- Mise en rang des cultivars de PEH selon leur productivité en fonction de l'origine du dépôt (glaciaire ou littoral); Les résultats de productivité proviennent des sites Caillé (loam d'origine glaciaire) et Latreille (loam limoneux graveleux d'origine littorale).

		3230	3570	915508	3308
dépôt	glaciaire	2	3	1	4
	Littoral (graveleux)	3	1	2	-

Le NxM 3729 favorise un ratio hauteur/diamètre plus élevé que les autres cultivars étudiés, ce qui engendrera une production en volume inférieure aux attentes en regard de sa croissance verticale, si cette tendance se maintient dans les années qui viennent. Cependant, cette stratégie lui permet de se mettre plus rapidement à l'abri des brouteurs comme le chevreuil. Ce cultivar semble également bien tolérer les drainages imparfaits : il a présenté une bonne survie chez Thibodeau ainsi qu'une bonne croissance.

Conclusion

La comparaison de différentes méthodes de culture déployées sur nos dispositifs de plantation présente plusieurs résultats intéressants. À ce stade de développement de nos arbres, l'espacement de 12 m entre les rangs de peupliers induit une productivité supérieure à celui de 16m. Pour ce qui est des feuillus intercalés entre les rangées de peupliers, ils présentent également un accroissement du diamètre et de la hauteur avec une diminution de l'espacement entre les rangées de peupliers. Cependant, des conditions de drainage particulières pourraient varier entre les pièces expérimentales servant à comparer les espacements. Ces conditions et leurs effets seront examinés ultérieurement.

Nous avons également mesuré que la culture de soya entre les bandes a pour conséquence d'accroître la croissance radiale des peupliers. Plusieurs raisons peuvent expliquer ça : d'abord l'effet bénéfique sur un sol pauvre en azote qu'aurait le soya, plante fixatrice d'azote; ensuite l'application de fertilisants qui accompagne l'ensemencement du soya, qui a enrichi le sol; enfin, l'effet de l'herbicide appliqué afin de favoriser le soya a pu être bénéfique aux arbres en plantation en limitant la compétition en bordure des paillis de plastique, comme cela a été constaté récemment avec des plantations de noyer hybrides en France (Chifflot *et al.* 2006).

Bien que nos plantations soient encore jeunes, plusieurs cultivars se démarquent déjà des autres. Le TxD 3230 montre d'excellentes productivités sur des textures de sols moyennes à grossières, mais est intolérant aux sols argileux mal drainés ainsi qu'aux pH

alcalins. Le DNxM 915508 s'est montré le mieux adapté aux diverses conditions de sol testées dans nos dispositifs de croissance, autant sur des loams que sur des sols argileux, contrairement au 3230, mais semble moins bien performer sur sol acide. Le NxM 3729 favorise un ratio hauteur/diamètre plus élevé que les autres cultivars étudiés, et cela diminue sa production de volume de tige. Cependant, cette stratégie lui permet de se mettre plus rapidement à l'abri des brouteurs comme le chevreuil. Ce cultivar semble également bien tolérer les drainages imparfaits, autant en survie qu'en croissance. De son côté, le MxB 915311 a mal réagi aux conditions de croissance associées aux loams sableux, autant acides qu'alcalins. Le DxN 3308, considéré moins bien adapté aux milieux dits hors-vallée comme tous les DxN (Souleres 1992), se montre beaucoup plus compétitif sur un loam riche et fertile comme Verteneuil que sur un loam plus pauvre comme Caillé ou moins bien drainé comme Thibodeau. Sa croissance est caractérisée par une forte allocation de la biomasse aérienne à la croissance radiale, au détriment de sa croissance verticale. Un autre DxN, le 3570, semble être plus versatile que le 3308. Tout comme celui-ci, le 3570 présente de bons résultats sur loams francs, en plus de très bien réagir aux sols plus lourd ou aux sols pauvres sableux. On peut considérer ce croisement d'origine belge comme un généraliste très compétitif sur des sols appauvris, notamment en phosphore et potassium.

Sachant que la culture intensive de peupliers à des fins de production de bois de qualité est possible sur un horizon de 15 à 20 ans, nous croyons essentiel de poursuivre la mise en place d'un véritable réseau d'expérimentations associé à un programme de suivi à moyen terme. Un tel programme aurait pour mission de conclure sur la qualité des produits obtenus, après un cycle complet de production, d'une gamme étendue de clones de peupliers, installés dans de bonnes conditions de sol et répartis dans plusieurs régions à fort potentiel du Québec. Le présent document initie cet objectif par la comparaison d'une diversité de clones et de conditions de croissance et par la synthèse des résultats obtenus jusqu'ici. Il faudra suivre nos plantations jusqu'à la complétion de leur cycle de croissance et de récolte afin d'obtenir un bilan final de production.

Bibliographie

Balandier, P. et C. Dupraz (1999). "Growth of widely spaced trees. A case study from young agroforestry plantations in France." Agrofor. Syst. **43**: 151-167.

Balleux, P. et P. van Lerberghe (2001). Le boisement des terres agricoles. Paris, Institut du développement forestier.128

Bariteau, L. (1988). La carte géomorphologique au 1:20 000 de modelés polygéniques: un exemple des basses terres du Saint-Laurent. Montréal, Université de Montréal**:** 185.

Becquey, J. (1997). Les noyers à bois. Paris, 3rd edition, Les Guides du Sylviculteur, Institut pour le développement forestier.144

Becquey, J. (1997). "Plantations de noyers avec accompagnement ligneux: quelques recommandations." Forêt entreprise **118**: 16-20.

Belvisi, J. (2005). Portrait des pertes de superficies forestières en Montérégie entre 1999 et 2004. Géomont, Agence forestière de la Montérégie, Ministère des ressources naturelles et de la faune du Québec, 29 pages.

Berthelot, A., J. Ranger et D. Gelhaye (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.

Bohn, H. L., B. L. McNeal et G. A. O'Connor (1979). Soil chemistry. New York, John Wiley & Sons.329

Boxman, A. W., P. L. W. Cobben et J. G. M. Roelofs (1994). "Does (K+Mg+Ca+P) Fertilization Lead to Recovery of Tree Health in a Nitrogen Stressed Quercus rubra L Stand." Environmental Pollution **85**(3): 297-303.

Burns, R. M. et B. H. Honkala (1990). Silvics of North America: 2. Hardwoods. Washington, DC, U.S. Department of Agriculture, Forest Service.877

Cabanettes, A., D. Auclair et W. Imam (1999). "Diameter and height growth curves for widely-spaced trees in European agroforestry." Agrofor. Syst. **43**: 169-182.

Camiré, C. et M. Brazeau (1998). Culture des genres *populus* et *Larix* au Québec: sols, exigences nutritionnelles et productivité. Québec, Déposé au MRN, CRBF, Université Laval**:** 132.

Carter, M. R., Editor, Ed. (1993). Soil sampling and methods of analysis. Boca Raton, Florida, Lewis Publishers.

Ceulemans, R. et W. Deraedt (1999). "Production physiology and growth potential of poplars under short-rotation forestry culture." Forest Ecology and Management **121**(1): 9-23.

Chauret, G., A. Koubaa et T. Zhang (1999). Caractéristiques et utilisation du bois des clones de peuplier hybrides. Forintek Canada Corp.**:** 53

Chifflot, V., G. Bertoni, A. Cabanettes et A. Gavaland (2006). "Beneficial Effects of Intercropping on the Growth and Nitrogen Status of Young Wild Cherry and Hybrid Walnut Trees." Agrofor. Syst. **66**(1): 13-21.

Cogliastro, A., D. Gagnon et A. Bouchard (1997). "Experimental determination of soil characteristics optimal for the growth of ten hardwoods planted on abandoned farmland." Forest Ecology and Management **96**: 49-63.

Coulombe, G., J. Huot, J. Arsenault, E. Bauce, J.-T. Bernard, A. Bouchard, M. A. Liboiron et G. Szaraz (2004). Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise. G. d. Québec. Québec.

Dickman, D. I., J. G. Isebrands, J. E. Eckenwalder et J. Richadson (2002). Poplar culture in north america, NRC.397

Donohue, R. L., R. W. Miller et J. C. Shickluna (1983). Soils; an introduction to soils and plant growth, 5ed. Englewood clifs, New-Jersey, Prentice-Hall, inc.667

Doucet, R. (1992). La science agricole: climats, sols et productions végétales du Québec. Eastman, Éditions Berger.699

Duchaufour, P. (1991). Pédologie: sol, végétation, environnement. Paris, Masson.289

Dupraz, C., V. Simorte, M. Dauzat, G. Bertoni, A. Bernadac et P. Masson (1999). "Growth and nitrogen status of young walnuts as affected by intercropped legumes in a Mediterranean climate." Agrofor Syst **43**: 71-80.

Garret, H. E., J. E. Jones, W. B. Kurtz et J. P. Slusher (1991). "Black Walnut (*Juglans nigra* L.) agroforestry - its design and potential as a land-use alternative." Forestry Chronicle **67**: 213-218.

Haines, S. G., L. W. Haines et G. White (1978). "Leguminous plants increase sycamore growth in Northern Alabama." Soil Sci Soc Am **42**: 130-132.

Heilman, P. E. et R. F. Stettler (1985). "Genetic variation and productivity of *Populus trichocarpa* and its hybrids. II. Biomass production in a 4-year plantation." Canadian Journal of Forest Research **15**: 384-388.

Lafond, R., C. Cauchon et J.-P. Ducruc (1992). Pédologie forestière. Mont-Royal, Canada, Modulo.146

Marschner, H. (1995). Mineral nutrition of higher plants. Toronto, Academic Press.889

Paillassa, E. (2002). Fiches techniques des principaux cultivars de peupliers. Paris, Réseau expérimentation peuplier de la forêt privée française, IDF

Pais, I. et J. B. Jones (1997). The handbook of trace elements, St. Lucie Press, Boca Raton, Florida.223

Pan, D., G. Domon, S. de Blois et A. Bouchard (1999). "Temporal (1958-1993) and spatial patterns of land use changes in Haut-Saint-Laurent (Quebec, Canada) and their relation to landscape physical attributes." Landscape Ecology **14**: 35-52.

Périnet, P., H. Gagnon et S. Morin (2001). Liste des clones recommandés de peuplier hybride par sous-région écologique au Québec. (MRN) MRNFP, Québec.

Salisbury, F. B. et C. W. Ross (1992). Plant physiology. Belmont, CA, Wadsworth Publishing Company, Inc.682

Souleres, G. (1992). Les milieux de la populiculture. Paris, Institut pour le développement forestier.309

Sumner, M. E. (2000). Handbook of soil science. Boca Raton, Florida, CRC Press.2048

Thevathasan, N. V. et A. M. Gordon (2004). "Ecology of tree intercropping systems in the North temperate region: experiences from southern Ontario, Canada." Agrofor Syst **61**: 257-268.

Timmer, V. R. (1985). "Response of hybrid poplar clone to soil acidification and liming." Canadian Journal of Soil Science **65**: 727-735.

van den Driessche, R. (2000). "Phosphorus, copper and zinc supply levels influence growth and nutrition of a young *Populus tricocharpa* (Torr. & Gray) x *P. deltoides* (Bartr. ex Marsh) hybrid." New Forests **19**: 143-157.

Van Sambeek, J. W., F. Ponder, Jr. et W. J. Rietveld (1986). "Legumes increase growth and alter foliar nutrient levels of black walnut saplings." Forest Ecology and Management **17**: 159-167.

Zhang, S. Y., Q. Yu, G. Chauret et A. Koubaa (2003). "Selection for both growth and wood properties in hybrid poplar clones." Forest Science **49**(6): 901-908.

Modélisation des conditions lumineuses en fonction des clones de peupliers, des espacements, et du temps

Par Alain Paquette, André Ménard, Christian Messier et Alain Cogliastro

Un dispositif de 2,6 ha a été établi en 2000 à Saint-Rémi (Verteneuil) dans le but d'y tester trois cultivars recommandés par le MRN (3230, 3308 et 3729) en combinaison à deux feuillus nobles (noyer noir et frêne blanc) (voir Méthodologie du Site Verteneuil 2000-2005 (6 ans)). Les rangs de peuplier alternent avec les rangs de feuillus. Le dispositif est scindé de manière à comparer des espacements de 12 m (pièce A) et de 16 m (pièce B) entre les rangs de PEH.

Le modèle sylvicole de double rotation de PEH et de feuillus durs doit pouvoir optimiser les conditions de lumière pour une production intensive. La lumière parvenant aux feuillus nobles variera au cours du temps, et ce, en fonction des espacements et possiblement des cultivars utilisés selon leur croissance et la morphologie de la cime.

Dans un premier temps, nous avons mesuré la lumière disponible sur le site pour préciser des différences entre les cultivars et les espacements. Nous avons aussi cherché à anticiper la quantité de lumière résiduelle disponible sous une canopée de PEH par la simulation. Le modèle de simulation SORTIE-ND (Canham et Murphy 2005), centré sur l'arbre et spatialement explicite, a été utilisé. Cette technique nous permet d'accélérer l'acquisition de connaissance en passant rapidement de la simulation au terrain, et vice-versa, de façon à identifier rapidement les combinaisons les plus performantes.

Méthodologie

SORTIE-ND requiert un ensemble de paramètres pour effectuer les calculs de lumière disponible :

- Une carte du site avec la position exacte de chacun des arbres, l'espèce (cultivar), et son DHP.
- Pour chacune des espèces, des relations allométriques prédictives en fonction du DHP de la hauteur de l'arbre, de la hauteur de cime, et du rayon de cime.
- Pour chacune des espèces, un coefficient de transmission de la lumière dans la cime.
- Un ensemble de paramètres décrivant le site, la saison de croissance, etc.

À l'été 2005 (juillet), des photos hémisphériques ont été prises de chaque côté du rang central de PEH (3) du bloc 2 (sur 4) dans chacune des pièces du site, de façon à être centré sur les dispositifs pour éviter les effets de bordure. Deux transects (est et ouest) ont été tracés de façon perpendiculaire au rang, à partir du plant central de chacun des trois cultivars. Les rangs sont orientés à 310°, et les transects sont donc respectivement à 40° et à 220°. Les photos ont été prises à 1 et 2 m du sol, à 1, 2, 3, et 4 m du rang, lorsque le soleil était masqué par un nuage ou par le rang de PEH pour limiter les éclats de lumière. Ces images ont été traitées pour la correction des éclats de lumière et binéarisées, puis les indices GLI (Global Light Index) calculés à l'aide du logiciel Gap Light Analyzer (GLA) (Frazer et al. 2000).

Deux photos des cimes des trois cultivars ont aussi été prises de chaque côté des rangs (au total quatre photos par cultivar). Une cime complète a été isolée par image, binéarisée, puis son coefficient de transmission de la lumière calculé comme le ratio de pixel blancs sur le total.

Au même moment (juillet 2005), les DHP et la hauteur des arbres ont été mesurés, de même que la hauteur des cimes et leur largeur (dans l'axe du rang et perpendiculairement au rang). Chacun des arbres était catégorisé selon qu'il avait été élagué (au moins une fois) ou pas dans le passé. Les paramètres suivants ont ainsi pu être calculés pour chacun des cultivars :

- Hauteur totale en fonction du DHP.
- Rayon de cime en fonction du DHP.
- Longueur de cime en fonction de la hauteur totale.

La hauteur totale en fonction du DHP a été calculée à l'aide des données de diamètre et de hauteur de 2002 à 2005. Ces paramètres ont été intégrés dans SORTIE et des valeurs de GLI ont ainsi pu être calculées pour les mêmes points où les photos ont été prises.

Résultats

Paramètres des cultivars et relations allométriques

La porosité des cimes (coefficient de transmission de la lumière) varie significativement avec le cultivar (Tableau 28). La cime la plus poreuse étant celle du cultivar 3729, et la plus dense celle du 3308. Les diamètres de cime sur le rang de tous les cultivars (2.5 à 2.7 m) sont plus grands que l'espace disponible entre les arbres (2 m), indiquant que les cimes se chevauchent sur les rangs. Cette compétition amène les arbres à former des cimes asymétriques avec des diamètres plus importants d'environ 1m dans l'axe perpendiculaire au rang pour tous les cultivars (Tableau 28).

Tableau 28- Moyennes (écart-type) des paramètres des cultivars des sections cibles et tests de comparaison multiples.

Cultivar	Porosité (%)	D. rang (m)	D. perp. (m)	DHP (cm)	H. tot. (cm)	H. cime (m)
3230	11.7 (5.2) AB	2.7 (0.4) A	3.9 (0.7) A	10.3 (1.7) A	8.4 (1.8) A	7.0 (1.7) A
3308	10.8 (3.5) B	2.5 (0.3) A	3.2 (0.4) B	9.4 (1.5) AB	7.9 (0.4) A	6.3 (0.6) A
3729	16.8 (3.2) A	2.7 (0.4) A	3.5 (0.7) AB	9.0 (1.6) B	8.2 (0.9) A	6.2 (0.9) A
n	23	54	54	54	54	39 *

Note : * Pour les arbres élagués seulement. La hauteur de cime des arbres non élagués est égale à la hauteur totale.

Les arbres des trois cultivars dans les zones cibles avaient des hauteurs totales comparables, mais les DHP variaient significativement entre eux, de 10.3 cm pour le 3230 à 9.0 cm pour le 3729 (Tableau 28). La longueur des cimes des arbres jamais élagués est égale à leur hauteur totale; celle des arbres élagués est plus petite mais ne varie pas en fonction du cultivar.

Ces données ont été utilisées pour construire les équations allométriques requises par le modèle pour l'estimation des GLI (Tableau 29-30-31). Nous avons retenu le modèle linéaire pour la relation hauteur – DHP puisque nous ne considérons ici que la période la plus productive des PEH, qui seront probablement coupés alors qu'ils seront encore en accroissement constant en hauteur. Le modèle classique, une équation asymptotique de type Michaelis-Menten, n'a pas

donné de meilleur rendement (en terme de réduction de la somme des carrés des erreurs) et présentait une forme linéaire avec des hauteurs maximales irréalistes. Ces équations (Tableau 29) ont été construites à l'aide des mesures de hauteur et de DHP de la plantation depuis 2002 et couvrent donc très bien cette période (de 2 à 14 m de hauteur environ). Leur robustesse et linéarité (aucun changement de pente n'est perceptible pour chacun des cultivars) permet une extrapolation conservatrice jusqu'à au moins 20 m de hauteur (Figure **30**).

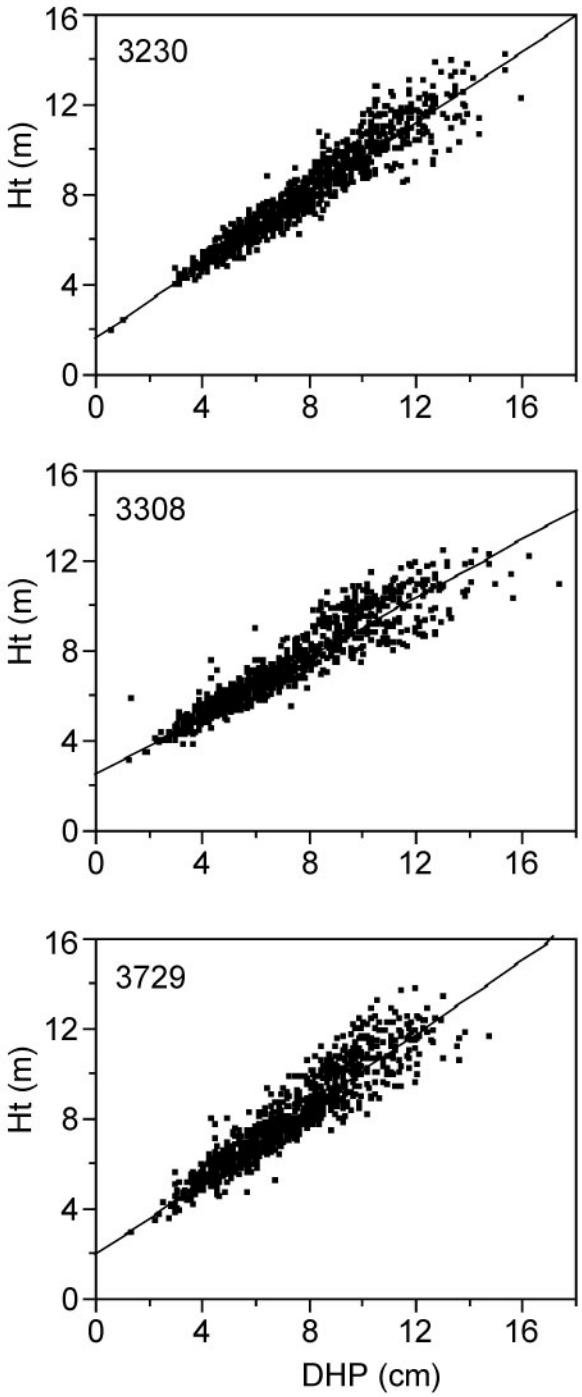


Figure 30- Relations hauteur totale (Ht) – diamètre à hauteur de poitrine (DHP) pour chacun des

cultivars. Note : les équations sont données au Tableau 29.

Trois équations de la largeur de cime en fonction du DHP ont été produites, soit dans le sens du rang, soit perpendiculairement au rang, et enfin un rayon moyen (Tableau **30**; seul le rayon moyen est présenté). La hauteur de la cime était toujours en 2005 égale à la hauteur totale pour les arbres n'ayant jamais été élagués (aucun élagage naturel). Nous avons donc produit deux équations de prédiction de la hauteur de cime en fonction de la hauteur totale selon que les arbres étaient élagués ou pas (Tableau **31**).

Tableau 29- Équation prédictive de la hauteur totale (m) en fonction du DHP (cm).

Cultivar	a	b	SCE	R^2	n
3230	1.68	0.796	399	0.91	962
3308	2.53	0.653	449	0.87	966
3729	1.91	0.826	548	0.86	957

Note : Équation de la forme « hauteur = a + b*DHP ». SCE : somme des carrés des erreurs. Calculé à l'aide des mesures des arbres de la plantation de 2002 à 2005.

Tableau 30- Équation prédictive du rayon moyen de cime (m) en fonction du DHP (cm).

Cultivar	C_1	a	SCE	n
3230	0.264	0.784	0.37	18
3308	0.633	0.364	0.27	18
3729	0.526	0.492	0.7	18

Note : Équation de type « rayon = C_1 * DHP^a »

Tableau 31- Équation prédictive de la hauteur de cime (m) en fonction de la hauteur totale (m) pour les arbres élagués.

Cultivar	C_2	b	SCE	n
3230	0.879	0.988	10.3	15
3308	0.294	1.48	0.58	13
3729	0.366	1.36	0.28	11

Note : Équation de type « hauteur de cime = C_2 * DHP^b ». Les deux coefficients sont simplement portés à 1 pour les arbres non élagués.

Climat lumineux en fonction des espacements et du cultivar:

a) Mesures directes

Plusieurs facteurs doivent être considérés dans l'élaboration d'un modèle de lumière disponible dans un dispositif de double rotation avec alternance des bandes. Ultimement, nous sommes intéressés par la quantité de lumière disponible au niveau de la cime des plants de feuillus nobles, à mi-chemin entre les rangs de PEH. Pour le moment, cette ressource est abondante, puis elle diminuera à mesure que les PEH prendront de l'espace. C'est cette diminution de la lumière dans le temps, selon les cultivars et les espacements, que nous tentons de prévoir à l'aide de modèles (voir section suivante). Mais déjà il est possible de noter des différences significatives plus près des rangs de PEH, et une augmentation de la lumière avec la distance. La lumière disponible peut varier en fonction du cultivar, des espacements entre les rangs (12 m et 16 m), et sur le rang (fixe à 2 m), de la distance au rang, de la hauteur à partir du sol, et du côté du rang (« est » 040°, et « ouest » 220°).

En moyenne pour les deux côtés et pour tous les clones, à 2 m des rangs, les indices GLI étaient de 47 et 50 à 1 m et 2 m du sol, respectivement, avec un espacement de 12 m, et de 59 et 62, respectivement, avec 16 m d'espacement entre les rangs. Ces différences, soit environ 3% de plus de lumière à 2 m qu'à 1m, se maintiennent avec la distance et les clones pour les deux espacements. Les résultats présentés à la suite ne concernent donc que les valeurs mesurées à 1 m pour alléger le texte (les résultats des tests sont les mêmes aux deux hauteurs).

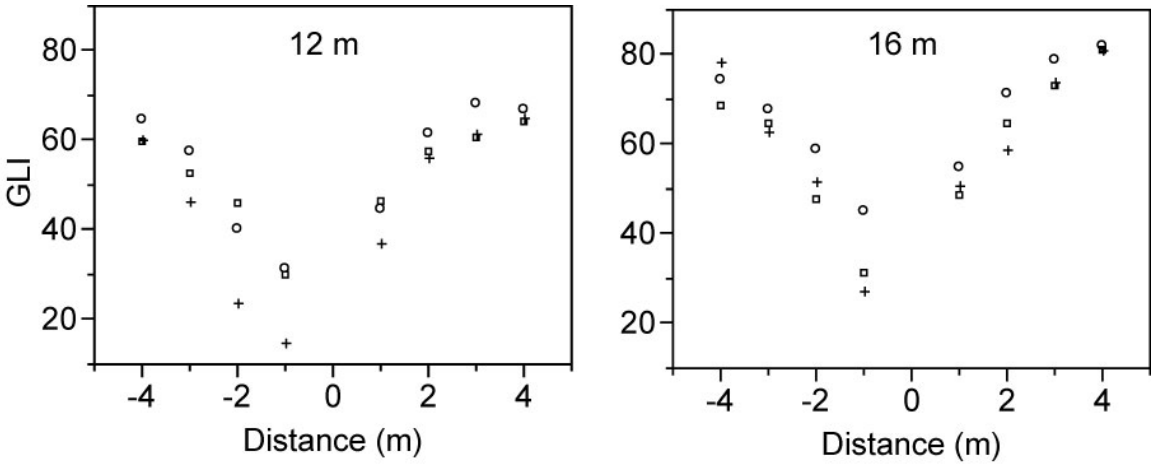


Figure 31- Indice GLI observé à 1 m du sol en fonction de la distance au rang de PEH, du cultivar, et de l'espacement des rangs.
Note : (+) 3230 ; (o) 3308 ; (□) 3729. Distance entre les rangs de PEH = 12 m sur le graph de gauche, et 16 m sur celui de droite. La distance au rang est positive vers l'est (040°) et négative vers l'ouest (220°).

La lumière disponible (GLI) varie significativement ($p<0.05$) avec l'espacement entre les rangs, le cultivar, le côté du rang, et bien-sûr avec la distance au rang (Tableau **32**). De plus, l'effet des

cultivars et du côté varient avec la distance. La Figure 31 présente ces relations en fonction de la distance. Sauf exceptions, l'ordre des cultivars est préservé à toutes les distances, dans les deux espacements testés, des deux côtés des rangs, et aux deux hauteurs de mesure (non présenté). Le cultivar 3308 laisse passer significativement plus de lumière que les deux autres (test de Tukey, non présenté). Il s'agit pourtant du cultivar le plus opaque du groupe (Tableau 28), signifiant que les paramètres de cime (hauteur et surtout largeur) et la hauteur de l'arbre sont des paramètres plus importants pour la lumière.

Tableau 32- Indices GLI à 1 m en fonction de l'espacement (12 m et 16 m), de la distance au rang, du côté du rang (« est » et « ouest ») et du cultivar.

Effect	d.l.	p>F
Espacement	1	**<0.0001**
Cultivar	2	**<0.0001**
Côté	1	**<0.0001**
Distance	1	**<0.0001**
Espacement*Cultivar	2	0.0761
Espacement*Côté	1	0.4716
Espacement*Distance	1	0.1431
Cultivar*Côté	2	0.4214
Cultivar*Distance	2	**0.0234**
Côté*Distance	1	**0.0009**
Espacement*Cultivar*Côté	2	0.2061
Espacement*Cultivar*Distance	2	0.2586
Espacement*Côté*Distance	1	0.3483
Cultivar*Côté*Distance	2	0.2976
Espacement*Cultivar*Côté*Distance	2	0.8872
Modèle (R^2 = 0.97)	23	<0.0001

b) Validation du modèle et de scénarios sylvicoles dans le temps

Nous avons tenté quelques simulations sur le modèle SORTIE-ND dans lequel nous avons introduit les trois cultivars à l'étude et des cartes des dispositifs (12 m et 16 m d'espacement). Pour chaque cultivar, deux « espèces » ont été créées dans SORTIE selon qu'ils étaient élagués ou pas; seules les équations de hauteur de cime (Tableau 31) étaient ainsi modifiées. Les simulations de valeurs de GLI pour les mêmes points donnent pour le moment des résultats très intéressants et largement conformes aux valeurs observées (Figure 32-33).

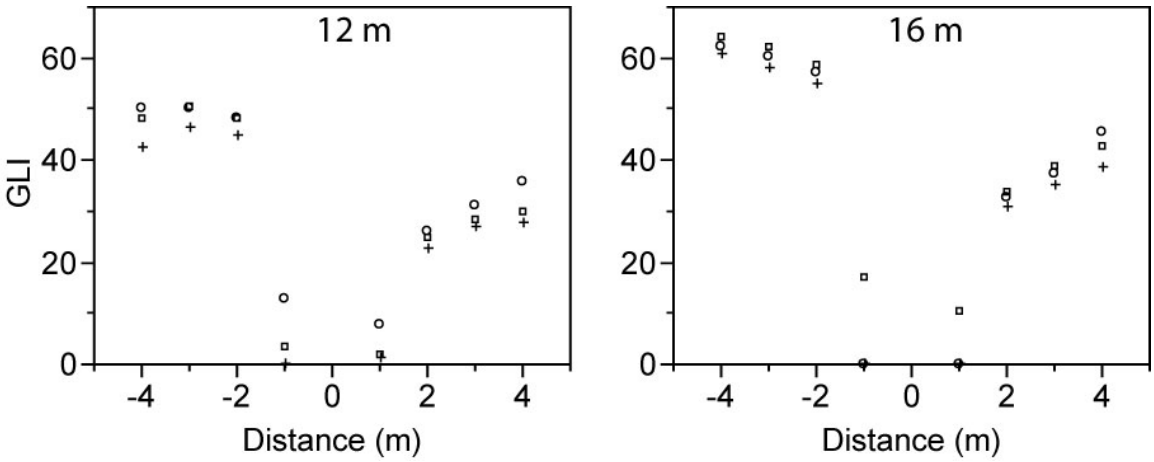


Figure 32- Indice GLI simulé à 1 m du sol en fonction de la distance au rang de PEH, du cultivar, et de l'espacement des rangs, pour un diamètre de cime moyen ; Fraction directe (*Beam Fraction*) = 0.5 (la même que celle utilisée pour l'analyses des photos hémisphériques).
Note : (+) 3230 ; (o) 3308 ; (□) 3729. Distance entre les rangs de PEH = 12 m sur le graph de gauche, et 16 m sur celui de droite. La distance au rang est positive vers l'est (040°) et négative vers l'ouest (220°).

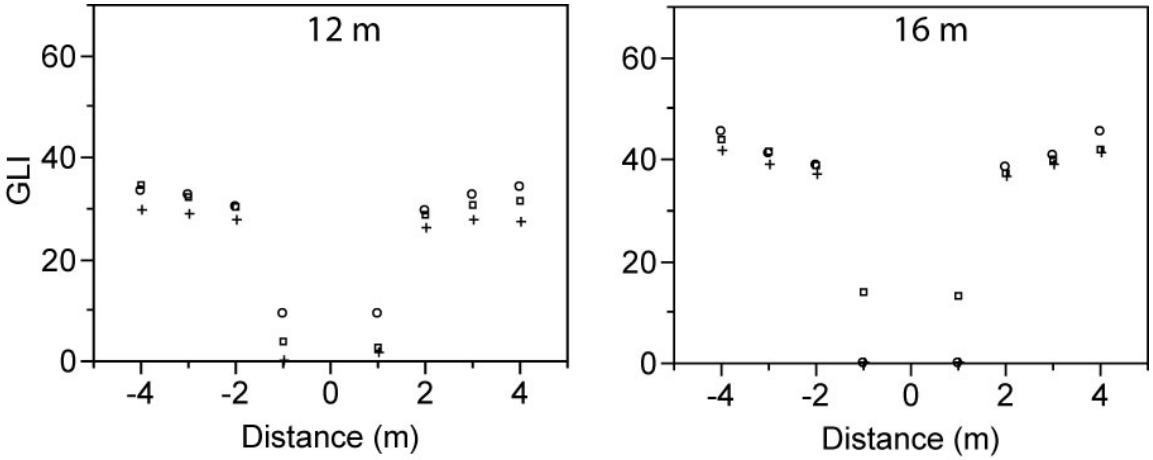


Figure 33- Indice GLI simulé à 1 m du sol en fonction de la distance au rang de PEH, du cultivar, et de l'espacement des rangs, pour un diamètre de cime moyen ; Fraction directe (*Beam Fraction*) = 0 (pas de lumière directe).
Note : (+) 3230 ; (o) 3308 ; (□) 3729. Distance entre les rangs de PEH = 12 m sur le graph de gauche, et 16 m sur celui de droite. La distance au rang est positive vers l'est (040°) et négative vers l'ouest (220°).

Quelques problèmes restent cependant à résoudre pour lesquels les pistes de solution suivantes seront investiguées dans les mois à venir :

- Les valeurs prédites par le modèle sont systématiquement plus faibles (environ 30%) que les valeurs observées :
  - Le modèle double probablement les coefficients d'atténuation de la lumière dans l'espace où deux cimes adjacentes se confondent. Cependant, nos analyses démontrent plutôt que pour ces espèces les deux cimes contribuent chacune pour environ la moitié de la surface foliaire.

  - Les valeurs moyennes prédites sont encore plus faibles avec l'utilisation des diamètres de cime perpendiculaires au rang; les valeurs moyennes (donnant sensiblement le même résultat que les valeurs prises sur le rang), ont donc été utilisées.
- Les valeurs prédites du côté « ouest » (220°) ne suivent pas la même relation avec la distance qu'à l'est (040°) (Figure 32), alors que les valeurs observées présentent un profil semblable des deux côtés (Figure 31).
  - Nous avons refait des simulations sans apport en lumière directe (Beam Fraction = 0) (Figure 33), selon l'hypothèse, confirmée, que cela est relié à la dynamique de la fraction directe de la lumière incidente, plus élevée de ce côté qui est orienté en partie au sud.
  - Les photos hémisphériques ont été analysées (GLA) avec la même configuration de site et de fractionnement de la lumière, et auraient donc dû présenter les mêmes relations avec la distance, ce qui n'est pas le cas.
  - Nous avions configuré GLA avec un indice d'ennuagement de 0.5 approprié pour la forêt tempérée, or ce paramètre n'existe pas dans SORTIE, expliquant peut-être la différence

Remerciements

Nos remerciements à Daniel Lesieur et Pascal Rochon pour le traitement des images hémisphériques et de cimes, de même que les premiers essais de simulation sur SORTIE. Merci à André-Jean Lalanne et à Loïc d'Orangeville pour la prise des mesures sur le terrain et l'organisation des données. Merci aussi à M. Dany Verteneuil, propriétaire du site.

Canham, C. D., et Murphy, L. E. 2005. SORTIE-ND. Institute of Ecosystem Studies, Millbrook (NY). http://www.sortie-nd.org.

Frazer, G. W., Canham, C. D., et Lerstzan, K. P. 2000. Gap light analyzer version 2.0. Bulletin of the Ecological Society of America **81**:191-197.

Biomasse des peupliers hybrides

Sur le site Verteneuil, installé en 2000, les peupliers de 6 ans (issus de boutures), de 3 clones, élagués ou non, ont été récoltés pour en évaluer la biomasse Figure 34. 18 arbres (6 par clones) ont été abattus, séparés en tige principale et branches et pesés humide au champ. Un sous échantillonnage des différentes sections de l'arbre a été réalisé par estimer le contenu en eau.

Les valeurs obtenues permettent de détenir une référence à cet âge et selon les données dendrométriques de la production en biomasse sèche des différents cultivars (élagués ou non).

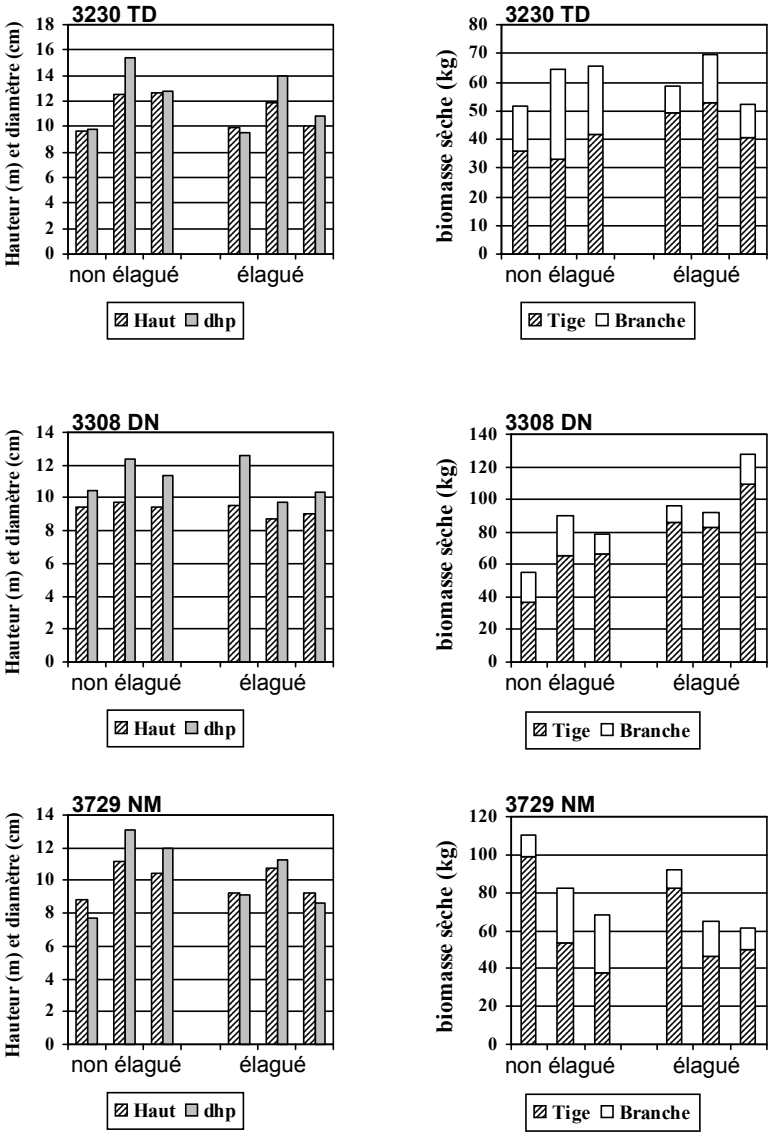


Figure 34 Hauteur, diamètre (dhp) et biomasse de 3 clones de peupliers hybrides de six ans

Les peuplements de feuillus intolérants

La forêt décidue du nord-est de l'Amérique du Nord a été grandement transformée par l'activité humaine depuis les quatre derniers siècles, après la colonisation européenne. Récoltée pour le bois d'œuvre, puis pour la transformation et pour faire place aux terres agricoles, la forêt a commencé a reprendre du terrain perdu durant le 20^{e} siècle, principalement grâce à la réduction des activités agricoles sur des terres ayant peu de valeurs (Brooks 2003; Litvaitis 2003b; Lorimer et White 2003). La reprise forestière, composée de jeunes peuplements de feuillus intolérants, qui a colonisé ces terrains abandonnés est très différente de la forêt primaire, de laquelle seulement quelques fragments subsistent toujours (Bouchard et Domon 1997; Brisson et Bouchard 2003; de Blois et al. 2001; Foster 1992; Litvaitis 2003a; Simard et Bouchard 1996). Les communautés qui résultent de cet abandon agricole, et qui sont toujours perçus négativement (Askins 2001; Luginbühl 1999), nous apparaissent comme de nouvelles opportunités de réinstaurer une forêt décidue productive. Plusieurs de ces jeunes peuplements, mais pas tous, montrent d'importants problèmes de régénération, et ce, même quelques décennies après l'abandon agricole. Cette étude concerne cette problématique, ou la régénération naturelle d'une composition forestière de haute valeur commerciale "sera probablement trop lente et imprévisible pour approvisionner les produits et services forestiers requis par une population sans cesse grandissante " (Kozlowski 2002).

Le problème de régénération et la faible valeur économique des forêts évoluant dans les environnements agricoles sont particulièrement présents dans le sud-ouest du Québec (Montérégie), Canada, ou les mêmes procédés (déforestation, agriculture, abandon) ont créé un grand nombre de ces peuplements (Pan et al. 1999; Soucy-Gonthier et al. 2003). Bien que les activités autochtones ont certainement eu un effet sur la forêt avant l'arrivée des Européens (Foster 1992; Litvaitis 2003a; Lorimer et White 2003), de fortes preuves nous portent à croire que les plus gros changements survenus dans le paysage de la Montérégie se sont produits après l'arrivée des Européens. En effet, l'établissement de ces derniers a provoqué une sévère déforestation couplée d'un aménagement territorial, un drainage des terres, un pâturage de bétail et de nombreuses fluctuations à la hausse et à la baisse des activités agricoles. (Bouchard et Domon 1997; Brisson et Bouchard 2003).

Les peuplements qui en découlent sont souvent déficients en termes de qualité et de quantité d'espèces de milieu et de fin de succession. Des espèces qui étaient jadis abondantes sont désormais disparues et la régénération, dans plusieurs cas, est sévèrement hypothéquée par l'absence d'arbres matures dans ces environnements (Brisson et Bouchard 2003). De récents rapports sur l'aménagement de la forêt au Québec (Commission d'étude sur la gestion de la forêt publique québécoise 2004) ainsi qu'un récent épisode d'augmentation d'activités agricoles amenant une rapide perte d'aires boisées dans la région (Savoie et al. 2002; Soucy-Gonthier et al. 2003), démontrent le besoin d'une approche de réhabilitation des peuplements feuillus plus intensive.

L'enrichissement en sous étage a récemment été proposé pour ramener une production forestière de valeur dans les peuplements de feuillus dégradés (AFM 1999; Truax et al. 2000). Cependant, très peu d'information est disponible au sujet de jeunes peuplements quant à i) la préparation requise pour le site, ii) le besoin de récurrence d'interventions sylvicoles, iii) les résultats potentiels de croissance et iv) le choix des espèces à utiliser.

Dispositif établi en 1998

Un premier dispositif expérimental (deux sites : Bourdeau, Laplante) a été mis en place en 2000 à partir d'une activité d'enrichissement qui a eu lieu en 1998 (René Dulude, Ing. F.) Les terrains ont été enrichis selon la méthode dite « sous couvert » présentée dans le cahier d'instruction du programme d'aide à la mise en valeur de la forêt privée, secteur Montérégie (Agence forestière de la Montérégie, 1999), et qui prévoit la préparation du terrain à enrichir à l'aide d'une coupe pré-commerciale qui vise à diminuer la densité du peuplement de 30% environ. L'instruction précise que ceci doit procéder sans créer de trouées importantes dans le couvert et être réalisé de manière à favoriser le dégagement des tiges d'avenir présentes. Dans certains cas, aucune coupe n'a été nécessaire puisque le peuplement visé était jugé déjà suffisamment ouvert pour satisfaire à la méthode d'enrichissement. Cependant, les instructions ne précisent pas de façon formelle les critères relatifs à de futures interventions d'éclaircie pour maintenir une croissance vigoureuse des plants d'arbres introduits.

Avec l'appui de la Direction de la recherche forestière nous avons proposé de poursuivre l'étude par l'analyse, en conditions réelles, de l'effet du dégagement, combiné à une évaluation de l'effet de la répression des compétiteurs herbacées et arbustifs en périphérie immédiate du plants (si la maîtrise s'avérait nécessaire). Les terrains considérés pour la présente étude, dont la superficie traitée est d'environ 3ha chacun, ont été enrichis en 1998 à l'aide de chênes rouges, cerisiers tardifs et bouleaux jaunes. L'un des sites a été préparé à l'aide d'une éclaircie pré-commerciale et un autre n'a pas été préparé parce que jugé suffisamment ouvert.

MÉTHODOLOGIE

Établissement au printemps 2000 des placettes échantillon permanentes (PEP) d'au moins 400m2 et des microsites échantillons (un plant de reboisement représente un microsite) à l'intérieur des PEP. Tous les plants échantillonnés à l'intérieur d'une PEP ont reçu le même traitement, de façon à éliminer la contamination lumineuse d'un traitement sur un autre. Pour la même raison, les PEP sont séparées entre elles par un tampon d'au moins 10 mètres. Les PEP sont identifiées à l'aide de piquets d'arpentage et d'étiquettes, les microsites à l'aide de tiges métalliques et d'étiquettes. Le dispositif comprend environ 1000 plants de reboisement, distribués sur 18 PEP, réparties sur deux sites. Le chêne rouge et le cerisier tardif sont communs aux deux sites ; le bouleau jaune n'est présent que sur le site de Ste-Clotilde (PL).

Les placettes sont réparties de la façon suivante :

0. le traitement témoin; les plants dans ces PEP n'ont reçu aucun traitement;

1. un dégagement complet (1m de rayon) autour du plant de façon à percer une trouée de même diamètre dans le couvert forestier intolérant. Les tiges d'avenir dominantes, si présentes, ne sont pas visées et sont préservées.

Le dégagement partiel a été effectué en périphérie de 1100 plants à l'hectare, à raison de 3m² d'ouverture par plants, ce qui correspond à une éclaircie d'environ 30% du couvert forestier continu. En moyenne, la lumière dans les parcelle traitement est passée d'environ 10% à 22% à un mètre du sol après l'intervention. La croissance des plants a été mesurée à la fin de chacune des saisons de croissance.

Un article scientifique a été accepté pour publication dans la revue « Annals of forest science » à paraître en 2006.

La présence section du rapport compte présenter les données de base relatives aux effet de la dernière intervention de dégagement. En effet, au cours de l'hiver 2004-05, les blocs du site de Ste-Clotilde (Site Laplante) ont partiellement été dégagés. Les blocs de St-Chrysostome (Site Bourdeau) ont été dégagés en avril 2005, à l'exception du bloc St-Chrys56 qui a été dégagé au début de l'hiver 2005.

Au cours des mois de juillet et août 2004, des mesures de disponibilité de la lumière ont été effectuées, avec le BF2. Au fil du mois de septembre 2004, les mesures de croissance en hauteur ont été prises, perpendiculairement au sol, jusqu'au bourgeon terminal, et sans redresser les tiges.

Le 22 avril 2005, une visite afin de libérer les plants d'arbres écrasés par les débris du dégagement. Par la même occasion, les arbres cassés ont été rabattus (entre 0 et 10cm du sol) ainsi que les chênes rouges grugés à 50% ou plus par le lièvre à Ste-Clothilde. Des spirales anti-rongeurs ont été installées sur les chênes non rabattus. Les plus beaux rejets des chênes rabattus ont été protégés de la même façon le 29 septembre 2005. À St-Chrysostome, c'est le 4 mai 2005 que le rabattage des arbres écrasés s'est déroulé. Le Tableau 33 présente les effectifs par espèces, pour chaque bloc, site et traitement; cetr et chrr représentent les cerisiers tardifs et les chênes rouges rabattus qui ont été analysés comme des espèces distinctes.

Tableau 33 Effectifs présents par espèces pour chaque bloc, site, traitement.

bloc	trait	cet	cetr	chr	chrr	All
StChrysE	1	66	1	20	.	87
	0	25	1	59	5	90
	All	91	2	79	5	177
StChrysW	1	40	2	28	.	70
StChrys56	0	47	.	2	.	49
SteCloE	1	66	.	3	6	75
	0	122	3	2	4	131
	All	188	3	5	10	206
SteCloW	1	46	3	8	3	60
	0	11	.	3	7	21
	All	57	3	11	10	81
All	1	218	6	59	9	292
	0	205	4	66	16	291
	All	423	10	125	25	583

À la mi-août 2005, les données de disponibilité de lumière ont été prises au BF2. De plus, des inventaires floristiques et forestiers ont été conduits sur les deux sites. Les inventaires floristiques consistaient en quatre quadrants d'un mètre carré, à un mètre de distance du centre de chaque placette, dans chaque direction cardinale. Dans ce mètre carré, la quantité de recouvrement en pourcentage était relevée, de même que la hauteur moyenne de ce recouvrement et les espèces dominantes qui formaient 50% du recouvrement du quadrat. De plus, un recensement de semis (tous les arbres de DHP <1cm d'une espèce arborescente commerciale), par espèces et par classe de grandeur (**<**50cm et **>**50cm) a été effectué par quadrat. Les inventaires forestiers consistaient à prendre en note les espèces et DHP des arbres qui se trouvaient dans une placette circulaire de 100m^2. Les arbres devaient avoir un DHP de 1cm ou plus pour être retenus.

RÉSULTATS

Recouvrement de la strate herbacé et semis d'arbres

Le pourcentage de recouvrement d'herbacées dans les placettes échantillonnées est encore affecté par le dégagement effectué en 2000. En effet, autant sur le site de St-Chrysostome que celui de Ste-Clotilde, la différence entre les bloc dégagés et témoins est de l'ordre d'environ 40% (Figure 35). Parallèlement, les blocs qui ont été dégagé en 2000 présentent un recouvrement qui, en moyenne, est un peu plus haut que celui retrouvé dans les blocs témoin (Figure 35). La disponibilité de la lumière aurait donc stimulé l'établissement des compétiteurs herbacés. Cependant, le bloc SteCloW présente une moyenne de recouvrement supérieure aux autres blocs; nous pouvons penser que cela est du a la grande concentration de *rubus sp.*et de *Carpinus caroliniana* présents dans ce bloc et qui atteignent une hauteur importante.

La densité moyenne de semis, au mètre carré est plus importante dans les blocs témoin (Figure 36). La seule exception à cette règle est le bloc SteCloW dégagé en 2000, qui

présente une densité de semis (dépassant 50cm) plus élevée que le bloc témoin (Figure 36). En effet, une grande quantité de semis de frêne se retrouve dans ce bloc.

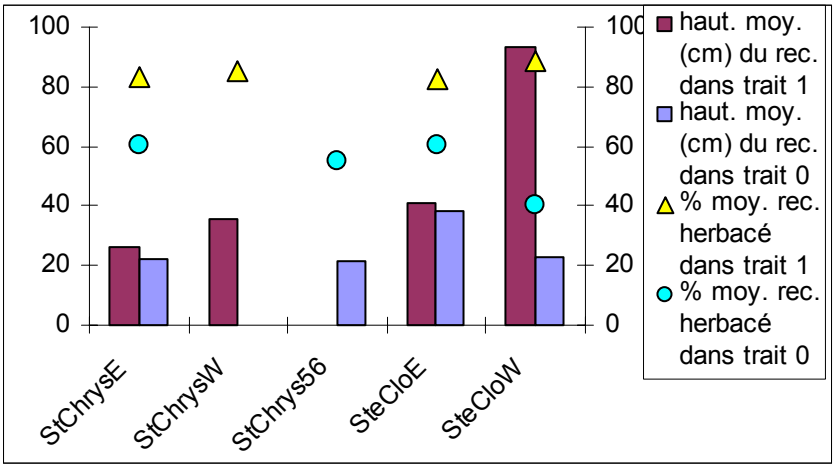


Figure 35 Pourcentage de recouvrement herbacé et hauteur moyennes dans les différents traitements, selon le site.

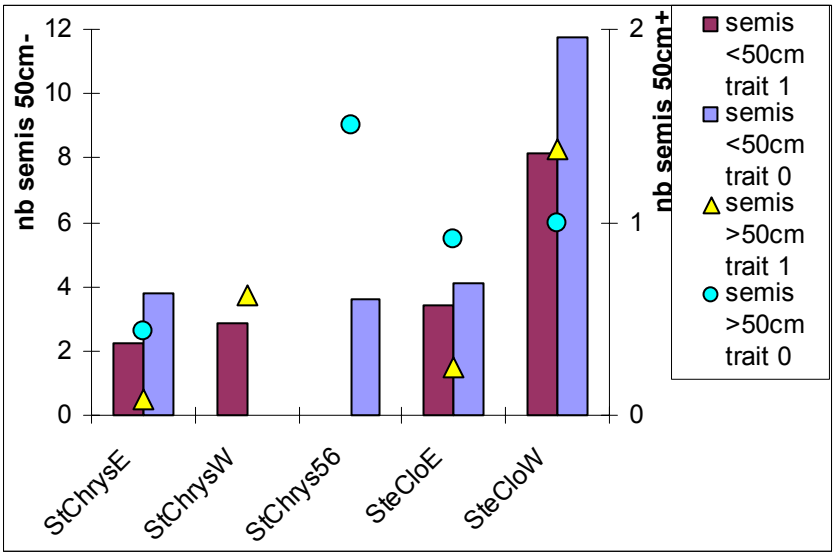


Figure 36 Nombre de semis moyen de moins de 50cm et de plus de 50cm,

Les deux ou trois espèces dominantes des relevés floristiques ont été regroupées dans le **Tableau 34**. Il n'est pas étonnant de voir une domination des *rubus* dans les blocs dégagés en 2000 (**Tableau 34**). En effet, ces espèces sont peu tolérantes à l'ombre et poussent donc mieux en sol bien éclairé. Les blocs témoin présentent une plus grande variabilité dans les compétiteurs dominants. La variabilité entre les sites semble aussi plus grande dans les blocs témoins (**Tableau 34**).

Tableau 34 Plantes herbacées dominantes retrouvées dans les relevés floristiques.

	Bloc StChrysE	**Bloc StChrysW**	**Bloc SteCloE**	**Bloc SteCloW**
Espèces herbacées dominantes (bloc dégagé 2000)	Graminea sp. Rubus idaeus Carex sp.	Rubus allenghensis Carex sp.	Parthenocissus quinquefolia Rubus idaeus	Rubus idaeus Carex sp.
Espèces herbacées dominantes (bloc témoin 2000)	Fragaria Geum	Amphicarpa bracteata Pyrole éleptique Carex sp.	Parthenocissus quinquefolia Carpinus caroliniana	Rubus idaeus Carpinus caroliniana

Les espèces de semis les plus souvent retrouvées dans chaque bloc ont été regroupées dans le Tableau 35. Ainsi, peu importe que les blocs eurent été traités ou non en 2000, l'ostryer de Virginie et le frêne d'Amérique se retrouvent abondamment sur les deux sites (Tableau 35).

Tableau 35 Espèces dominantes de semis retrouvées dans les relevés floristiques.

	Bloc StChrysE	**Bloc StChrysW**	**Bloc SteCloE**	**Bloc SteCloW**
Espèces de semis dominants (bloc dégagé 2000)	Ostryer de Virginie Frêne d'Amérique	Ostryer de Virginie	Frêne d'Amérique Ostryer de Virginie	Frêne d'Amérique Cerisier tardif
Espèces de semis dominants (bloc témoin 2000)	Ostryer de Virginie Érable rouge	Érable à sucre Frêne d'Amérique	Frêne d'Amérique Ostryer de Virginie	Frêne d'Amérique Ostryer de Virginie

Croissance des arbres plantés

La croissance moyenne des cerisiers tardifs (cet) est positive pour tous les blocs, mais est plus importante sur le site de St-Chrysostome (Figure 37). Les chênes rouges montrent une croissance moyenne intéressante et dans l'ensemble, supérieure à celle des cerisiers. Cependant, au site SteClo, dans les blocs témoins (0), les chênes subissent une descente de hauteur assez marquée, parfois jusqu'à la moitié de la hauteur 2004 (Figure 37). Comme il était permis de s'y attendre, la hauteur moyenne des arbres rabattus (cetr et chrr) diminue en 2005 par rapport à 2004. Cependant, les cerisiers rabattus (n=3) de SteCloW dégagé ont presque rattrapé le terrain perdu en une saison de croissance.

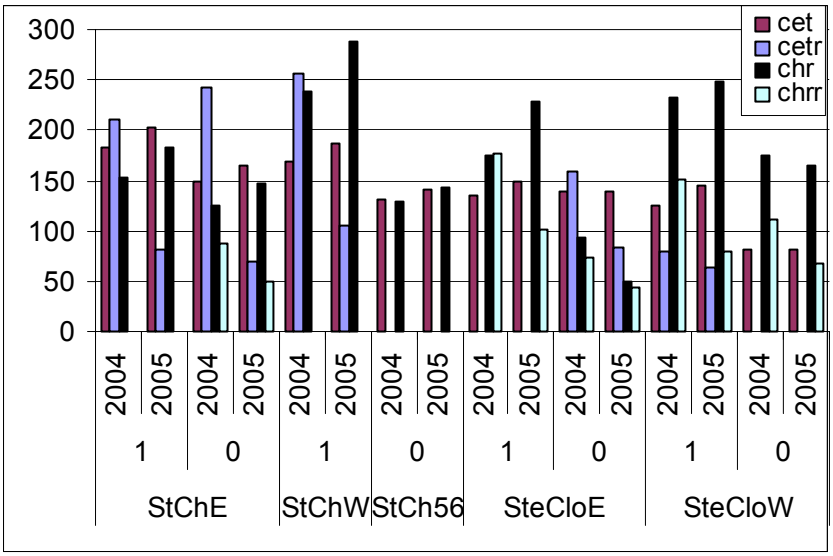


Figure 37 Hauteurs moyennes des arbres selon les espèces, pour chaque bloc, traitement et site.

Lumière disponible

L'éclaircie pratiquée au cours de l'hiver 2004-2005 a définitivement permis l'augmentation de la lumière disponible pour les arbres (Figure 38), mais cette augmentation est plus prononcée à Ste-Clothilde. En effet, la quantité de lumière disponible, à 1m en 2005 sur ce site dépasse, de beaucoup, la quantité de lumière disponible à 2m en 2004 (Figure 38). Les blocs qui avaient été dégagées en 2000 présentent des moyennes de disponibilité de lumière supérieures à celles des blocs témoins (Figure 38).

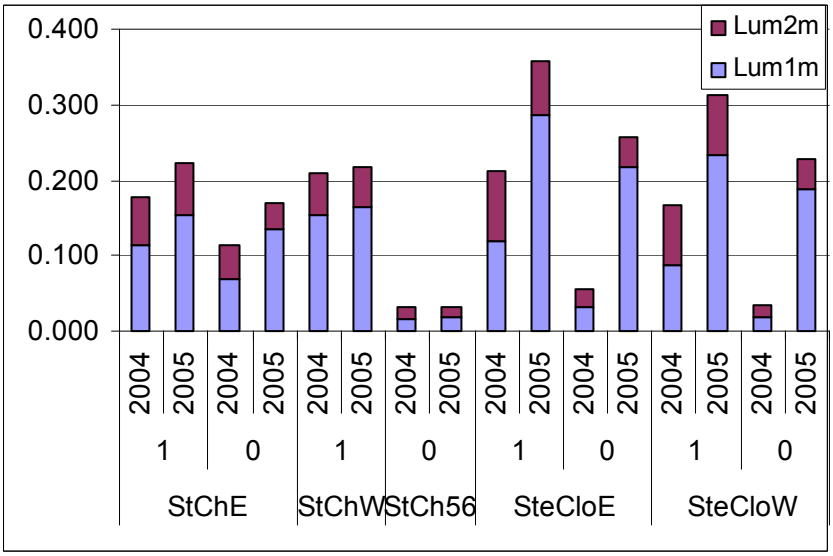


Figure 38 Évolution, sur deux ans de la disponibilité moyenne de la lumière à 1m et 2m en fonction des blocs, traitements et sites.

La lumière disponible à la cime des arbres plantés en enrichissement, 5 ans après le dégagement initial, est toujours régie par ce dernier. En effet, la lumière à la cime est toujours plus importante dans les blocs dégagés en 2000 que dans les blocs témoins (Figure 39A-B). L'effet du dégagement de l'hiver 2004-2005 sur la lumière disponible est encore une fois très marquée (Figures 38 et 39). Les valeurs élevées de lumière disponible à la cime des chênes dans les blocs dégagés à Ste-Clothilde ainsi qu'à St-Chrysostome peuvent être expliqués en partie par la hauteur importante atteinte par ces arbres (Figures 37 et 38). Il arrive que plus de lumière soit disponible à la cime des arbres rabattus, mais les effectifs de ces arbres sont très minimes pour effectuer des comparaisons valables (n=1 dans le cas de cetr StChE1 et n=4 dans le cas du chrr à SteCloE0).

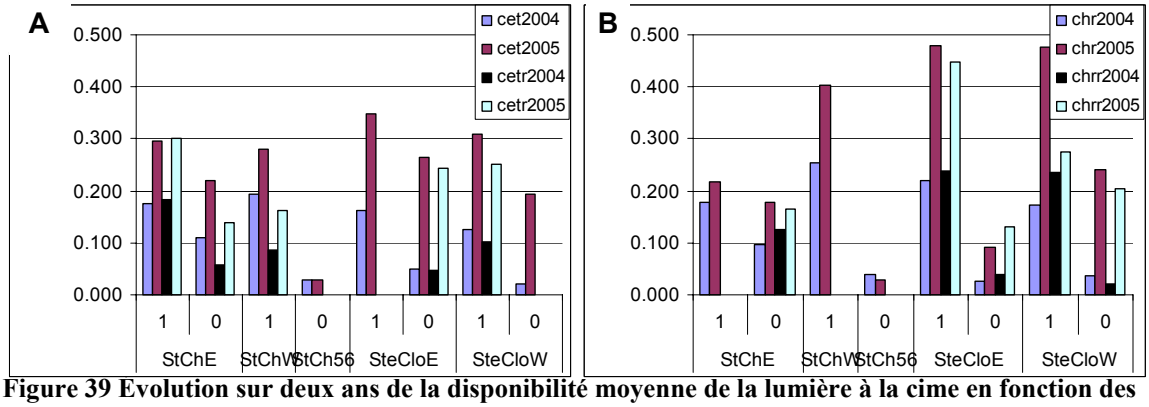


Figure 39 Évolution sur deux ans de la disponibilité moyenne de la lumière à la cime en fonction des blocs, traitements et sites pour les cerisiers ; B pour les chênes.

Dispositif établi en 2005

La plantation sous couvert aux fins d'enrichissement des peuplements de feuillus intolérants : la croissance, l'allocation en biomasse et la morphologie durant la phase d'établissement de 5 espèces de feuillus

Projet de recherche réalisé dans le cadre des études de maîtrise de Mélanie Lapointe, encadrées par Alain Cogliastro et André Bouchard

** Le PMVRMF-Volet II 2005-2006 a contribué à l'assistance à l'échantillonnage et aux déplacements pour la mise en place de ce nouveau dispositif de plantation sous couvert installé au printemps de 2005. Le financement principal provient du FQRNT-Actions concertées.

Méthodologie

Un second dispositif expérimental visant à analyser la technique de l'enrichissement par la plantation sous couvert a été installé en Montérégie en 2005. Le suivi de la première année permet de d'établir les données de base à l'évaluation.

Description des sites

Au début du printemps 2005, six sites représentatifs de la région Montérégienne ont été choisis en fonction des études faites par Loïc D'Orangeville et de l'intérêt des propriétaires : Grenier 1, Grenier 2, Bergerie, Bourdeau, Laplante et McNair. Les sites sont tous situés dans le domaine bioclimatique de l'érablière à caryer dans le sud-ouest du Québec, au nord de l'État de New York et au sud du fleuve St-Laurent. Les sites Grenier 1 et 2 se trouvent dans la Municipalité Régionale de Comté (MRC) d'Acton alors que les autres sites sont tous situés dans la MRC du Haut-St-Laurent (Figure 40). Les températures annuelles moyennes sont de 6,5 ºC et de 6,2 ºC avec des moyennes mensuelles de 20,9 ºC et 21,1ºC en juillet et de -9,6 ºC et -10,5 ºC en janvier pour les MRC du Haut-St-Laurent et d'Acton respectivement (Environnement Canada). La moyenne des précipitations totales annuelles se situe autour de 989 mm pour la région du Haut-St-Laurent et de 1233 mm pour la région d'Acton.

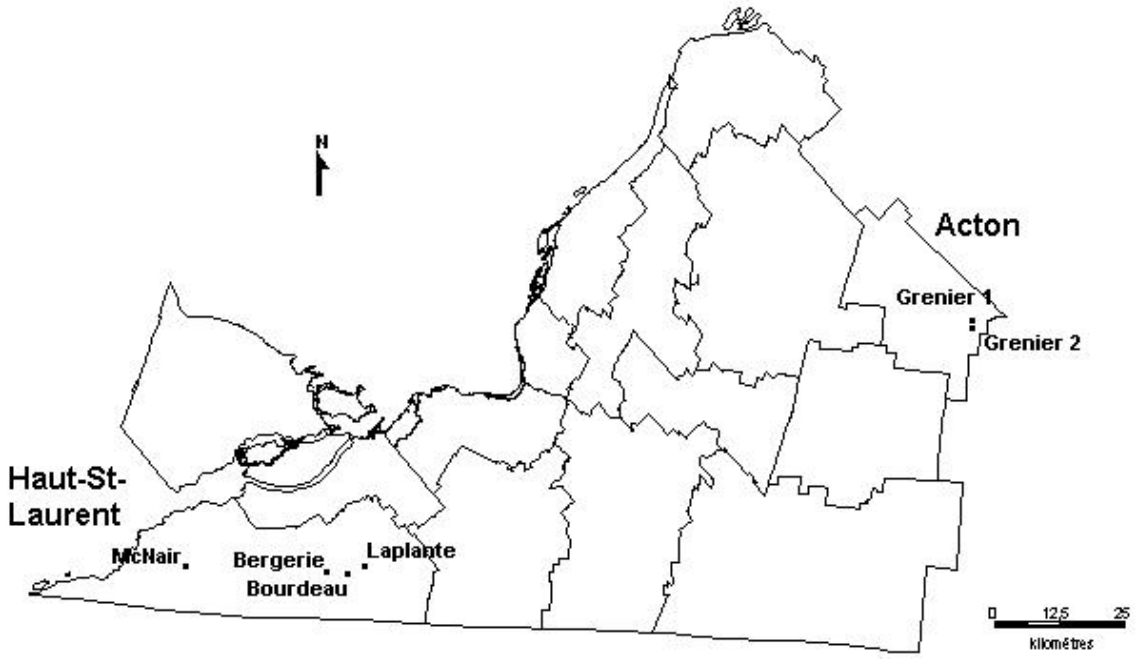


Figure 40 Emplacement des sites d'étude. Modifiée de l'Institut de la Statistique du Québec, 2001.

Trois sites ont subi des travaux d'éclaircies l'hiver précédant la plantation et le début de l'échantillonnage. Il s'agit des sites Bourdeau, Laplante et Bergerie. Les 3 autres sites ont été laissés à l'état naturel. Nous ne savons pas si nous allons pouvoir poursuivre les travaux de recherche sur le site Bergerie puisque les plants d'arbres ont subi une forte prédation par un énorme troupeau de chèvres délinquantes et affamées à l'été 2005. De plus, il est important de souligner que les sites Bourdeau et Laplante ont déjà reçu des travaux d'enrichissement en 1998 et ont subi une éclaircie à l'hiver 2004-2005 pour favoriser la croissance de cette régénération artificielle.

À l'été 2005, la végétation de chaque site a été échantillonnée pour déterminer la composition en espèces de la strate arborescente, arbustive et herbacée. Pour estimer la surface terrière et la densité de tiges de chaque site, des placettes circulaires de 100 m^2, centrées sur un arbre planté, ont été délimitées. Dans chaque placette, tous les arbres ont été identifiés et le diamètre à hauteur de poitrine (DHP) de tous les individus ayant un DHP d'un centimètre et plus a été mesuré. Ces mesures ont été prises sur 10 placettes de 100 m^2 par hectare. Afin d'évaluer la hauteur moyenne du peuplement, la hauteur de plusieurs arbres dominants de chaque placette a été déterminée à l'aide d'un clinomètre. Le recouvrement des herbacées et des arbustes (DHP < 1 cm) a été évalué à l'intérieur de quadrats d'un mètre carré, centrés sur les arbres plantés au printemps 2005. En moyenne, cette estimation a été réalisée sur 160 quadrats par hectare distribués aléatoirement sur chaque site. Tous ces échantillonnages ont été centrés sur un arbre et furent insérés les uns dans les autres. De plus, la régénération naturelle a été quantifiée

en dénombrant tous les semis (DHP < 1 cm) d'arbres, de 50 cm et moins et de plus de 50 cm, présents dans un quadrat d'un mètre carré situé entre les rangs d'arbres plantés. Pour ce faire, nous avons étudié en moyenne 90 quadrats par hectare.

Des pédons d'un mètre de profond ont été creusés sur chaque site pour déterminer le type de drainage, la pierrosité, la profondeur de l'horizon A et de l'horizon B et la profondeur des racines. Des échantillons de sols des horizons A et B ont été récoltés et des analyses de pH et de granulométrie ont aussi été faites. À l'été 2006, l'humidité du sol de tous les sites sera mesurée à l'aide de la méthode gravimétrique 3 jours suivants de fortes précipitations et après une période plus sèche, soit après au moins 7 jours sans pluie.

Les 5 peuplements de feuillus intolérants choisis se distinguent par des communautés végétales différentes (Tableau 36) issues de conditions environnementales et historiques propres à chacun des sites. Ils représentent adéquatement la diversité des peuplements de feuillus intolérants présents en Montérégie. Selon les résultats obtenus et les critères de l'Agence forestière de la Montérégie, la régénération naturelle en espèces tolérantes et semi-tolérantes d'intérêt économique n'est pas présente en quantité suffisante sur tous les sites choisis.

Tableau 36 Résumé des caractéristiques des différents sites choisis

	Grenier 1	Grenier 2	McNair	Bourdeau	Laplante
Dimension	**1 ha**	**0,5 ha**	**0,5 ha**	**0,2 ha**	**0,2 ha**
Surface terrière (m^2/ha) *	**18,9**	**16,8**	**28,3**	**18,4**	**14,8**
Densité (tiges/ha) *	**7456**	**5075**	**6375**	**4250**	**3300**
Hauteur moyenne du peuplement	**9,6 m**	**12,5 m**	**15,7 m**	**13,1 m**	**13,5 m**
Composition de la strate arborescente	***Betula populifolia***	***Populus tremuloides*, *Betula populifolia***	***Populus grandidentata*, *Acer saccharum*, *Fraxinus americana***	***Ostrya virginiana*, *Betula populifolia*, *Acer rubrum***	***Carpinus caroliniana*, *Ostrya virginiana***
Composition de la strate herbacée et arbustive	***Spirea latifolia*, *Rubus idaeus*, *Solidago* sp.**	***Onoclea sensibilis*, *Rubus idaeus*, *Solidago* sp.**	***Zanthoxyllum americanum*, *Cornus alternifolia*, *Vitis riparia***	***Rubus idaeus*, *Rubus alleghaniensis*, *Fragaria* sp.**	***Parthenocissus quinquefolia*, *Vitis riparia*, *Rubus idaeus***
Lumière disponible à 1 m (écart-type)	**13% (4,9%)**	**14% (7,8%)**	**7% (5,0%)**	**13% (7,0%)**	**11% (5,7%)**
pH du sol	**4,59-5,22**	**4,62-4,95**	**7,00-7,36**	**4,97-5,12**	**5,32-6,50**

* Tous les arbres et arbustes ayant un DHP de plus de 1cm

Dispositif expérimental

La plantation a eu lieu au printemps 2005 sur les six sites choisis. Notons que deux sites (McNair et Grenier 2) présentaient un sous-étage arbustif impénétrable ou dangereux que nous avons jugé nécessaire de réduire sur les rangs de plantation par débroussaillement de bande de 1 mètre de large. Environ 700 plants de chênes à gros fruits, de cerisiers tardifs, d'érables à sucre et de noyers noirs et 175 plants de chênes rouges ont été plantés sur les 6 sites (incluant la Bergerie), totalisant 2954 plants (Tableau 37). Le chêne rouge a été planté en plus petite proportion parce qu'il était peu disponible au printemps 2005 suite à une faible production de glands en 2004. Tous les plants provenaient de la pépinière de Berthier (Ministère des Ressources naturelles et de la Faune, Québec). Il s'agissait de plants à racines nues de deux ans pour les érables et les chênes (2+0) et d'un an pour les cerisiers et les noyers (1+0). Les arbres ont été plantés en rangées parallèles à 3 m de distance entre les plants et entre les rangs en évitant les sites de plantation inadéquats (dépressions, proximités des troncs d'arbres, etc.). Cela équivaut à une densité d'environ 1000 plants à l'hectare. Les espèces sont représentées par groupe de trois plants (triplets) se succédant sur le rang. Ces triplets ont été distribués aléatoirement dans des blocs expérimentaux et selon la proportion relative de plants disponibles pour chaque espèce. Chaque site contient entre 2 à 8 blocs expérimentaux dépendamment de sa taille. Tous les plants ont reçu au moins trois applications de répulsif à chevreuils (Plant Skydd) au cours de l'été 2005 et cette protection sera poursuivie à l'été 2006. Les variables analysées sont inscrites au Tableau 38.

Tableau 37 Répartition des plants par sites (n'incluant pas la Bergerie).

	Taille du site (ha)	Cerisier tardif	Chêne à gros fruits	Chêne rouge	Érable à sucre	Noyer noir	Total
Grenier1	1	239	243	53	240	235	1010
Grenier2	0,5	97	100	23	98	95	413
Bourdeau	0,2	47	47	15	41	46	196
Laplante	0,2	41	47	15	43	50	196
McNair	0,5	123	123	30	125	119	520
Total	2,4	547	560	136	547	545	2335

Tableau 38 Variables explicatives et variables réponses qui seront analysées

	Variables explicatives	Variables réponses
Volet I	Lumière Recouvrement et hauteur de la végétation périphérique Sites (5)	Croissance en hauteur et en diamètre Pousse annuelle Ratio Hauteur : Diamètre
Volet II	Lumière Présence/absence de compétition Sites (2)	Croissance en hauteur et en diamètre Pousse annuelle Ratio Hauteur : Diamètre
Volet III	Lumière Présence/absence de compétition Biomasse racinaire des compétiteurs	Croissance en hauteur et en diamètre Pousse annuelle Ratio Hauteur : Diamètre Surface foliaire Surface foliaire spécifique Répartition de la biomasse Morphologie racinaire

Résultats préliminaires

Voici dans les figures qui suivent les résultats préliminaires provenant des données récoltées à l'été 2005. Le taux de survie des arbres plantés a été très élevé sur tous les sites pour la première saison de croissance (97% en moyenne). Ces résultats seront complétés par une seconde année de suivi qui comprendra l'analyse de la croissance, l'allocation en biomasse et la morphologie durant la phase d'établissement de 5 espèces de feuillus

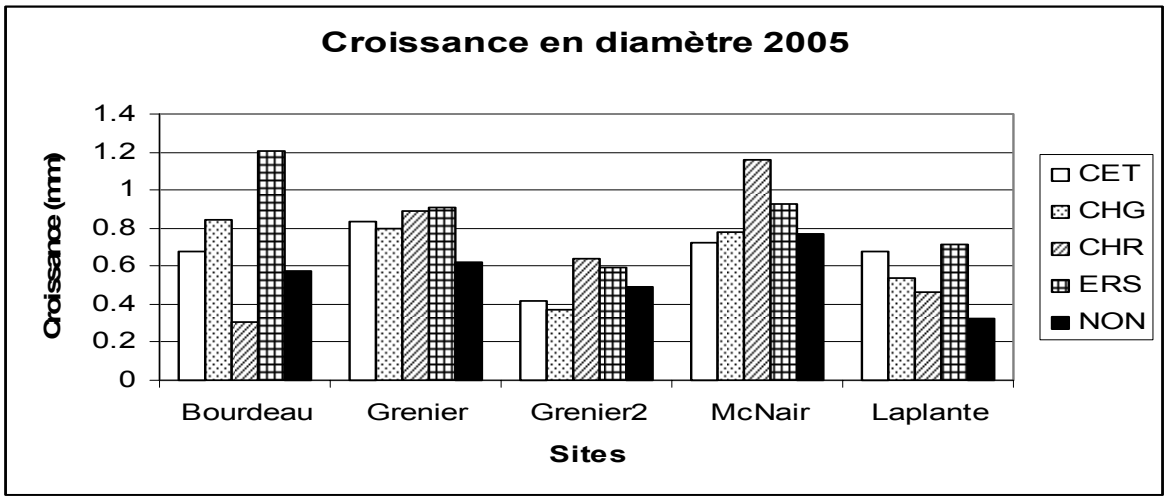


Figure 41 Moyenne des accroissements en diamètre des arbres plantés sur les 5 sites d'études.

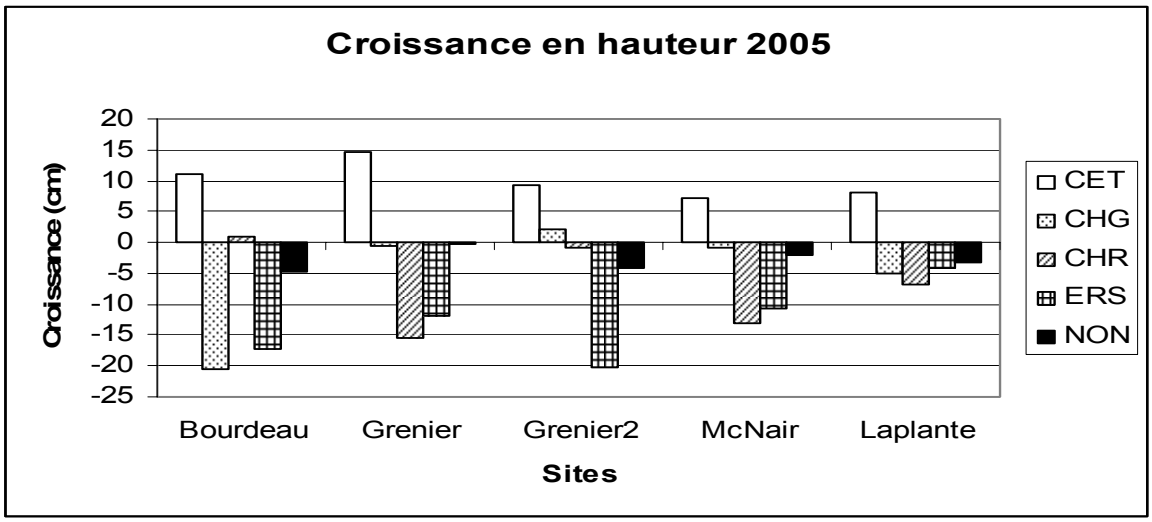


Figure 42 Moyenne des accroissements en hauteur des arbres plantés sur les 5 sites d'étude. Les croissances en hauteur négatives sont dues à des descentes de cime

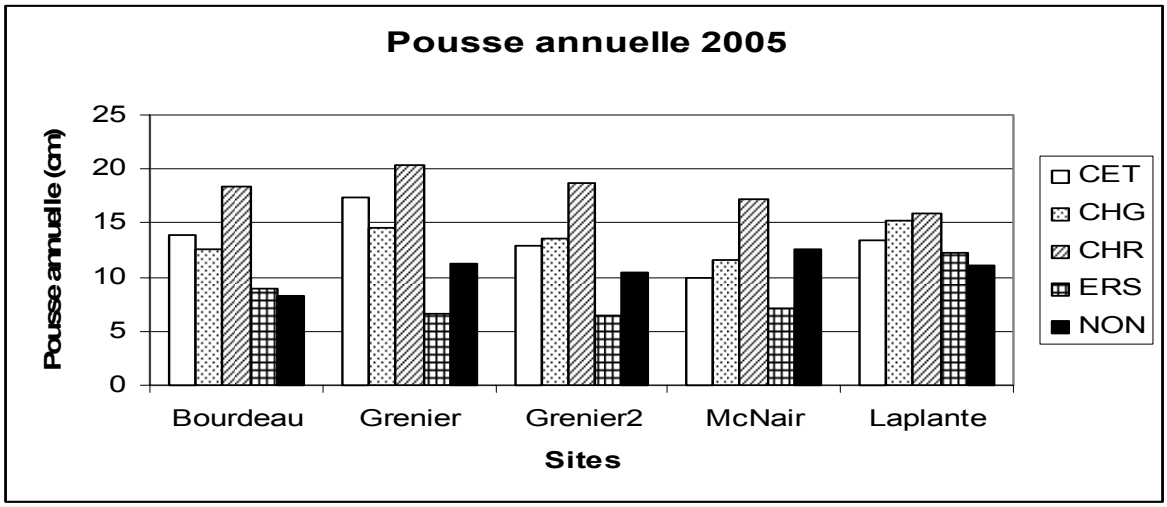


Figure 43 Moyenne de la longueur de la pousse annuelle des arbres plantés sur les 5 sites d'étude.

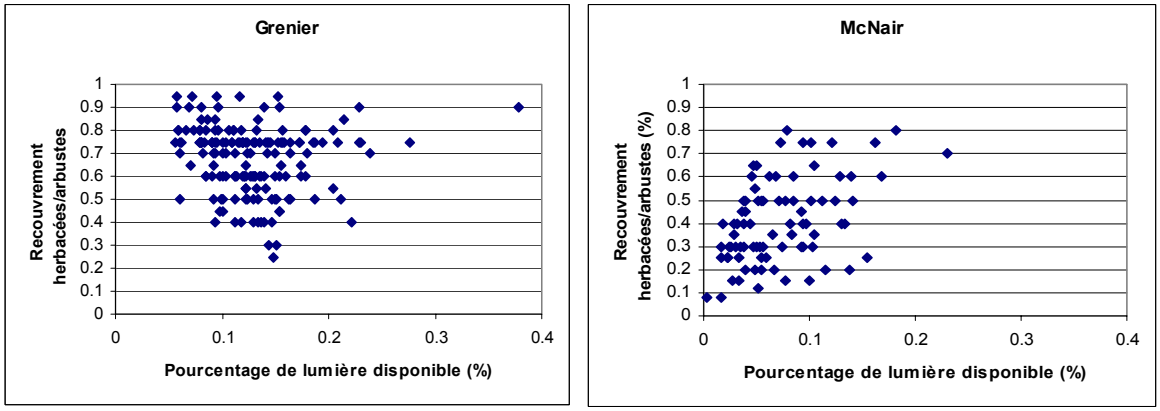
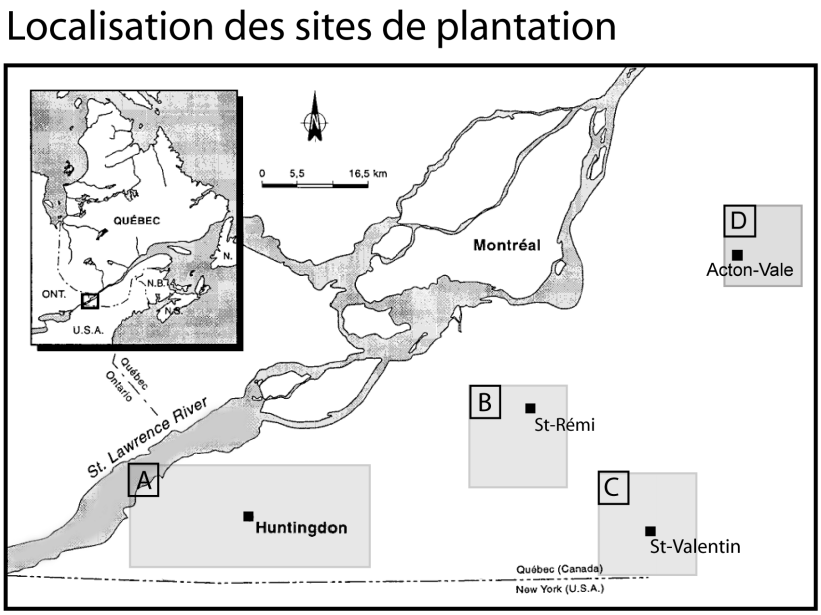
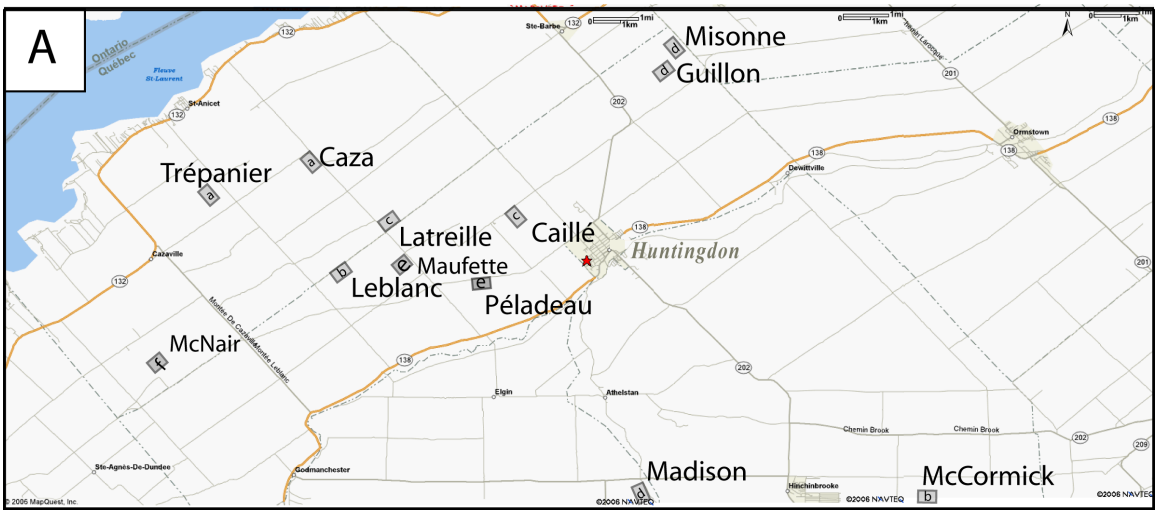


Figure 44 Pourcentage de recouvrement d'herbacées et d'arbustes autour des plants en fonction de la lumière disponible à 1 m.

Annexe Localisation des sites étudiés





Annexe 1a- Localisation des dispositifs expérimentaux de plantation.

A (Caza-Trépanier) – plantations initiées en 2002 : enrichissement d'arbustaies par bandes (voir Couture, G. 2005. Effets de l'accompagnement sur l'établissement d'espèces d'arbres feuillus en plantation sur friches arbustives. Université de Montréal, 69 p.)
B (Leblanc-McCormick) – plantations de peh combinés à des feuillus initiées en 2003 (voir chapitre IV du présent rapport).
C (Caillé-Latreille) – plantations de peh combinés à des feuillus initiées en 2002 (voir chapitre II du présent rapport).
D (Madison-Guillon-Misonne) – plantations initiées en 1998 : enrichissement d'arbustaies par débroussaillement par bandes vs débroussaillement total (voir Cogliastro, A., Benjamin, K. and Bouchard, A. sous presse. Effects of full and partial clearing, with and without herbicide, on weed cover, light availability, and establishment success of white ash in shrub communities of abandoned pastureland in

southwestern Quebec, Canada. New Forests; voir aussi Fournier, A., Bouchard, A. and Cogliastro, A. sous presse. Artificial regeneration of hardwoods in early successional shrub communities using two clearing intensities and herbicide application. North. J. Appl. For.).
E (Péladeau-Maufette) - plantation de feuillus en milieu ouvert, soumis à divers degrés d'accompagnement par des espèces arbustives et du pin blanc (voir chapitre ?? du présent rapport).
F (Grenier-McNair) -

Annexe 45b- Localisation des dispositifs expérimentaux de plantation (suite).

G (Bourdeau-Laplante) – plantation de feuillus sous couvert initiée en 1998 (voir chapitre ?? du présent rapport; voir aussi Paquette, A., Bouchard, A. et Cogliastro, A. sous presse. Successful under-planting of red oak and black cherry in early-successional deciduous forests of North America. Annals of forest science).
H (Verteneuil) – plantations de peh combinés à des feuillus initiées en 2000 (voir chapitre I du présent rapport).
I (Thibodeau) – plantation de peh combinés à des feuillus initiée en 2003 (voir chapitre III du présent rapport).